serie Bachiller

FÍSICA general

Héctor Pérez Montiel



4a Edición revisada

GRUPO EDITORIAL PATRIA

FÍSICA

GENERAL

HÉCTOR PÉREZ MONTIEL

PRIMERA EDICIÓN EBOOK
MÉXICO, 2014

GRUPO EDITORIAL PATRIA

Para establecer comunicación con nosotros puede utilizar estos medios:

Correo:

Renacimiento 180,
Col. San Juan Tlihuaca,
Azcapotzalco, C. P. 02400,
México, D. F.

e-mail:

info@editorialpatria.com.mx

Fax pedidos:

(0155) 5354 9109 • 5354 9102

Sitio web:

www.editorialpatria.com.mx

Teléfono:

(0155) 53 54 91 00

Grupo Editorial Patria®

División Bachillerato, Universitario y Profesional

Dirección editorial: Javier Enrique Callejas

Coordinación editorial: Alma Sámano Castillo

Diseño de interiores y portada: Juan Bernardo Rosado Solís

Supervisión de producción: Miguel Ángel Morales Verdugo

Diagramación: Juan Castro Salgado

Fotografías: Júpiter Images Unlimited

Ilustraciones: Jorge Antonio Jiménez / Gustavo Vargas Martínez / Carlos Enrique León Chávez



FÍSICA GENERAL

Derechos reservados:
© 2014 Héctor Pérez Montiel
© 2014 GRUPO EDITORIAL PATRIA, S.A. DE C.V.

ISBN ebook: 978-607-744-063-5

Renacimiento 180, Col. San Juan Tlihuaca,
Delegación Azcapotzalco, Código Postal 02400, México, D.F.
Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana
Registro núm. 43

Queda prohibida la reproducción o transmisión total o parcial del contenido de la presente obra en cualesquiera formas, sean electrónicas o mecánicas, sin el consentimiento previo y por escrito del editor.

Impreso en México / Printed in Mexico

Primera edición ebook: 2014

UNIDAD 1 Introducción al conocimiento de la Física 2



- Definición de la Física ... 4
- Historia de la Física ... 5
- División de la Física ... 6
- Concepto de ciencia ... 7
- Ciencias formales y ciencias factuales ... 7
  - Ciencias formales ... 7
  - Ciencias factuales ... 7
- Juicios deductivos e inductivos ... 7
- El método científico en la construcción de la ciencia ... 8
  - Características del método científico ... 8
  - Método científico experimental ... 9
- Actividad experimental 1:
  - Obtención de una ley física ... 10
- Actividad experimental 2:
  - Caída libre de los cuerpos ... 11
- Resumen ... 12
- Autoevaluación ... 12
- Coevaluación ... 13
- Glosario ... 13

UNIDAD 2 Unidades y mediciones 14



- Definiciones de magnitud, medir y unidad de medida ... 16
  - Magnitud ... 16
  - Medir ... 16
  - Unidad de medida ... 16
- Desarrollo histórico de las unidades de medida y de los sistemas de unidades ... 16
  - Sistema Métrico Decimal ... 17
  - Sistema Cegesimal o CGS ... 18
  - Sistema MKS ... 18
  - Sistema Internacional de Unidades (SI) ... 18
- Magnitudes fundamentales y derivadas ... 19
- Sistemas de Unidades Absolutos ... 19
- Sistemas de Unidades Técnicos o Gravitacionales ... 21
- Transformación de unidades de un sistema a otro ... 22
- Ecuaciones y análisis dimensionales ... 26
- Medición de diferentes magnitudes con métodos directos e indirectos ... 27
- Análisis de errores en la medición ... 27
  - Causas de error en las mediciones ... 28
  - Cuantificación del error en las mediciones ... 28
- Estadística elemental en el análisis de mediciones ... 30
  - Actividad experimental 3:
  - Medición de longitudes con el vernier y el palmer o tornillo micrométrico ... 32
- Resumen ... 34
- Autoevaluación ... 35
- Coevaluación ... 36
- Glosario ... 36

UNIDAD 3 Vectores 38



- Características de un vector ... 40
- Cómo establecer la escala de un vector ... 40
- Vectores coplanares, no coplanares, deslizantes y libres ... 41
- Sistema de vectores colineales ... 41
- Sistema de vectores concurrentes o angulares ... 41
- Resultante y equilibrante de un sistema de vectores ... 42
- Propiedades de los vectores ... 42
  - Igualdad de dos vectores ... 42
  - Adición ... 42
  - Negativo de un vector ... 42
  - Ley conmutativa de la adición de vectores ... 42
  - Propiedad de transmisibilidad del punto de aplicación ... 42
  - Propiedad de los vectores libres ... 43
- Suma de vectores ... 43
- Composición y descomposición rectangular de vectores por métodos gráficos ... 45
  - Solución por el método gráfico y analíticos ... 45
  - Solución por el método analítico ... 46
- Vectores unitarios ... 49
- Suma de dos vectores angulares o concurrentes ... 50
  - Método gráfico ... 50
  - Método analítico ... 50
- Suma de más de dos vectores concurrentes o angulares ... 53
  - Método gráfico del polígono ... 53
- Método del triángulo ... 55
- Producto de un vector por un escalar ... 56
- Producto escalar de dos vectores ... 57
- Producto vectorial de dos vectores ... 57
- Actividad experimental 4:
  - Equilibrio de fuerzas colineales y de fuerzas angulares o concurrentes ... 58
- Resumen ... 60
- Autoevaluación ... 61
- Coevaluación ... 62
- Glosario ... 63

UNIDAD 4 Cinemática 64



- Importancia del estudio de la cinemática ... 66
- Concepto de partícula material en movimiento e interpretación de su trayectoria ... 66
- Sistemas de referencia ... 66
  - Sistemas de coordenadas cartesianas o coordenadas rectangulares ... 67
  - Localización de una partícula en el espacio utilizando un vector de posición ... 67
- Distancia, desplazamiento, velocidad y rapidez ... 68
  - Distancia y desplazamiento ... 68
  - Velocidad y rapidez ... 68
- Movimiento rectilíneo uniforme (MRU) ... 70
- Velocidad media ... 71
- Velocidad instantánea ... 73
- Interpretación de gráficas de la magnitud de desplazamiento-tiempo y magnitud de la velocidad-tiempo ... 74
- Aceleración y movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA) ... 78
  - Aceleración ... 78
  - Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA) ... 79
  - Aceleración media ... 79
  - Aceleración instantánea ... 79
  - Gráficas de magnitud del desplazamiento-tiempo, magnitud de desplazamiento-tiempo al cuadrado, magnitud de lavelocidad-tiempo y magnitud de la aceleración-tiempo, para el MRUA ... 79
  - Deducción de las ecuaciones utilizadas en el MRUA ... 81
  - Caída libre de los cuerpos y tiro vertical ... 86
  - Efectos ocasionados por la resistencia del aire sobre los cuerpos durante su caída ... 87
- Tiro parabólico ... 90
  - Tiro parabólico horizontal ... 90
  - Tiro parabólico oblicuo ... 91
- Movimiento circular ... 95
  - Ángulo ... 96
  - Radián ... 96
  - Vector de posición y desplazamiento angular ... 96
  - Periodo y frecuencia ... 96
  - Velocidad angular ... 97

- Velocidad angular media 97
- Movimiento circular uniforme (MCU) 97
- Interpretación de gráficas de la magnitud de desplazamiento angular-tiempo y magnitud de la velocidad angular-tiempo en el MCU 97

Movimiento circular uniformemente acelerado (MCUA) 100
- Velocidad angular instantánea 100
- Aceleración angular media 100
- Aceleración angular instantánea 100
- Gráficas de la magnitud del desplazamiento angular-tiempo, magnitud de la velocidad angular-tiempo y magnitud del desplazamiento angular-tiempo al cuadrado, para el MCUA 100
- Ecuaciones utilizadas en el movimiento circular uniformemente acelerado (MCUA) 102
- Velocidad lineal o tangencial 104
- Aceleración lineal y radial 105
- Aceleración radial o centripeta 105

Movimiento armónico simple (MAS) 107
- Elongación 107
- Amplitud 107
- Velocidad de oscilación 108
- Aceleración de una partícula oscilante 108
- Gráficas sinusoidales del movimiento armónico simple 109
- Conclusiones de las gráficas del MAS 111
- Péndulo simple 112
- Análisis de los experimentos de Galileo Galilei y su relevancia en el trabajo científico 113

Actividad experimental 5:
- Distancia y desplazamiento 115

Actividad experimental 6:
- Movimiento rectilíneo uniforme 116

Actividad experimental 7:
- Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado 117

Actividad experimental 8:
- La caída de los cuerpos 119

Actividad experimental 9:
- Tiro parabólico 120

Actividad experimental 10:
- Péndulo simple 121

Resumen 123

Autoevaluación 127

Coevaluación 130

Glosario 131

UNIDAD 5 Dinámica 132

Las fuerzas y sus efectos 134
- Resultante y equilibrante 135
- Clasificación de las fuerzas 135
- Nuevas teorías acerca de las fuerzas fundamentales de la naturaleza 135

Leyes de la dinámica 136
- Primera ley de Newton o ley de la inercia 136
- Segunda ley de Newton o ley de la proporcionalidad entre fuerzas y aceleraciones 137
- Tercera ley de Newton o ley de la acción y la reacción 139

Gravitación universal 146
- Primera ley de Kepler 146
- Segunda ley de Kepler 146
- Tercera ley de Kepler 147
- Isaac Newton y la ley de la gravitación universal 147
- Relación entre la magnitud del peso de un cuerpo y la magnitud de la fuerza de gravedad 148
- Campo gravitacional de los cuerpos y su intensidad 149
- El cosmos 149
- Origen del Universo con base en la teoría del Big Bang o de la gran explosión 150
- Sistema Solar 150
- El Sol 150
- La Luna, satélite natural de la Tierra 151
- El viaje del hombre a la Luna 152
- Algunas consideraciones sobre los viajes interplanetarios 153

Estática 156
- Relación de la estática con la dinámica 156
- Fuerzas coplanares y no coplanares. Principio de transmisibilidad de las fuerzas 156
- Sistema de fuerzas colineales 156
- Sistema de fuerzas concurrentes o angulares 157
- Fuerzas paralelas 157
- Par de fuerzas 158
- Momento de una fuerza o momento de torsión 158
- Centro de gravedad, centroide y centro de masa 159
- Condiciones de equilibrio 160
- Estrategia para resolver problemas de equilibrio de los cuerpos y diagrama de cuerpo libre 161

Fricción 168
- Ventajas y desventajas de la fricción 169

Trabajo mecánico 174

Energía 180
- Tipos de energía 180
- Definición de energía 181
- Energía potencial gravitacional (EPG) 181
- Ley de la conservación de la energía y su degradación 185
- Degradacción de la energía 187
- Importancia de la energía, sus usos y sus consecuencias 188

Potencia mecánica 188

Impulso mecánico 194

Cantidad de movimiento o momento lineal 194

Relación entre el impulso y la cantidad de movimiento 194

Choque elástico y choque inelástico 195

Ley de la conservación de la cantidad de movimiento o del momento lineal 195
- Conservación de la cantidad de movimiento o del momento lineal en dos dimensiones 196

Ley de la conservación del momento angular 200
- Momento de una fuerza 200
- Desplazamiento angular, velocidad angular, velocidad lineal, aceleración angular y aceleración lineal 202
- Inercia rotacional o momento de inercia 203
- Cantidad de movimiento angular y ley de la conservación de la cantidad de movimiento angular o del momento angular 203
- Energía cinetica rotacional 204
- Giroscopio 204

Máquinas simples y su eficiencia 207
- Cuantificación de la ventaja mecánica 207
- Palanca 208
- Plano inclinado 209
- Ruedas y poleas 210
- Poleas 211
- Polea fija 211
- Polea móvil 211
- Combinaciones comunes de las máquinas simples 212
- Eficiencia de las máquinas simples 212
- Eficiencia del plano inclinado 212
- Eficiencia de una polea fija y de una móvil 213
- Concepto de máquina mecánica 214

Actividad experimental 11:
- Segunda ley de Newton 216

Actividad experimental 12:
- Equilibrio de fuerzas paralelas 218

Resumen 220

Autoevaluación 224

Coevaluación 226

Glosario 227

UNIDAD 6 Materia y sus propiedades 230

Estructura de la materia 232
- Ley de la conservación de la materia, teoría atómica de Dalton y leyes de las proporciones definidas y múltiples 232

- Conceptos de cuerpo, sustancia, elemento y compuesto ... 233
- Mendeleiev y la tabla periódica ... 234
- Dimensiones moleculares y atómicas ... 234
- Masas moleculares, número de Avogadro y concepto de mol ... 235

Estados de agregación ... 236
- Movimiento browniano y difusión ... 236

Propiedades generales o extensivas de la materia ... 237
- Extensión ... 237
- Masa ... 238
- Peso ... 238
- Inercia ... 238
- Energía ... 239

Propiedades características o intensivas de la materia ... 239
- Densidad o masa específica ... 239
- Punto de fusión ... 242
- Punto de ebullición ... 242
- Coeficiente de solubilidad de una sustancia en otra ... 244

Actividad experimental 13:
- Propiedades características o intensivas de la materia ... 245

Resumen ... 248
Autoevaluación ... 250
Coevaluación ... 250
Glosario ... 251

UNIDAD 7 Elasticidad 252

Esfuerzo y deformación, tensión y compresión unitarias ... 254
- Esfuerzo de tensión ... 254
- Esfuerzo de compresión ... 254
- Esfuerzo de corte ... 254

Ley de Hooke ... 255
Módulo de elasticidad ... 255
Módulo de Young ... 256
Límite elástico ... 256
Actividad experimental 14: ... 259
Resumen ... 260
Autoevaluación ... 261
Coevaluación ... 261
Glosario ... 261

UNIDAD 8 Hidrostática 262

Características de los líquidos ... 264
- Viscosidad ... 264
- Tensión superficial ... 264
- Cohesión ... 265
- Adherencia ... 265
- Capilaridad ... 265

Densidad y peso específico ... 266
Presión ... 267
- Presión hidrostática y paradoja hidrostática de Stevin ... 267
- Presión atmosférica ... 268
- Barómetro de mercurio, experimento de Torricelli ... 269
- Presión manométrica y presión absoluta ... 269

Principio de Pascal ... 270
- Tonel de Pascal ... 271

Principio de Arquímedes y flotación de los cuerpos ... 272
Actividad experimental 15:
- Principio de Pascal y Principio de Arquímedes ... 277

Resumen ... 278
Autoevaluación ... 279
Coevaluación ... 280
Glosario ... 281

UNIDAD 9 Hidrodinámica 282

Aplicaciones de la hidrodinámica ... 284
Gasto, flujo y ecuación de continuidad ... 284
- Gasto ... 284
- Flujo ... 285
- Ecuación de continuidad ... 285

Teorema de Bernoulli ... 285
Aplicaciones del teorema de Bernoulli ... 286
- Teorema de Torricelli ... 287
- Tubo de Pitot ... 288
- Tubo de Venturi ... 288

Movimiento de los cuerpos sólidos en los fluidos ... 289
Actividad experimental 16:
- Principio de Bernoulli ... 294

Resumen ... 296
Autoevaluación ... 297
Coevaluación ... 297
Glosario ... 297

UNIDAD 10 Ondas mecánicas 298

Ondas longitudinales y transversales ... 300
- Ondas longitudinales ... 300
- Ondas transversales ... 300
- Tren de ondas, frente de onda y rayo o vector de propagación ... 301
- Tren de ondas ... 301
- Frente de onda ... 301
- Rayo o vector de propagación ... 301

Ondas lineales, superficiales y tridimensionales ... 301
- Ondas lineales ... 301
- Ondas superficiales ... 301
- Ondas tridimensionales ... 302

Características de las ondas ... 302
- Longitud de onda ... 302
- Frecuencia ... 302
- Periodo ... 302
- Nodo ... 302
- Elongación ... 302
- Amplitud de onda ... 302
- Rapidez de propagación ... 303

Reflexión de las ondas ... 303
Principio de superposición de las ondas ... 303
Interferencia de ondas ... 304
- Interferencia constructiva ... 304
- Interferencia destructiva ... 304

Ondas estacionarias ... 304
Refracción de ondas ... 305
Difracción de ondas ... 305
Ondas sonoras ... 305
- Rapidez de propagación del sonido ... 306
- Fenómenos acústicos: reflexión, eco, resonancia y reverberación ... 306
- Cualidades del sonido: intensidad, tono y timbre ... 307
- Efecto Doppler ... 308

Ondas sísmicas ... 308
Ultrasonido ... 310
Actividad experimental 17:
- Ondas superficiales ... 314

Resumen ... 316
Autoevaluación ... 317
Coevaluación ... 318
Glosario ... 319

UNIDAD 11 Termología 320

Diferencia entre calor y temperatura ... 322
- Potencial térmico y energía calorífica ... 323

Medida de la temperatura ... 323
Diferentes escalas termométricas: Celsius, Kelvin y Fahrenheit ... 324
- Transformación de temperaturas de una escala a otra ... 324

Dilatación de los cuerpos ... 325
- Dilatación lineal y su coeficiente de dilatación ... 326
- Coeficiente de dilatación lineal ... 326
- Consideraciones prácticas sobre la dilatación ... 327
- Dilatación de área y coeficiente de dilatación de área ... 327
- Dilatación cúbica y su coeficiente de dilatación ... 329
- Dilatación irregular del agua ... 331

- Formas de propagación del calor 331
  - Conducción 331
  - Convección 332
  - Radiación 332
- Energía solar, su medida y transformación 333
  - Intensidad de la radiación solar 333
  - Transformación de la energía solar 333
- Unidades para medir el calor 334
  - Caloría 334
  - Kilocaloría 334
  - BTU 334
- Capacidad calorífica 334
- Calor específico 335
- Calor latente 337
  - Calor latente de fusión y calor latente de solidificación 337
  - Calor latente de vaporización y calor latente de condensación 338
- Calor cedido y absorbido por los cuerpos 339
  - Uso del calorímetro 339
- Los gases y sus leyes 342
  - Concepto de gas ideal 342
  - Teoría cinética de los gases 342
  - Ley de Boyle 343
  - Ley de Charles 344
  - Ley de Gay-Lussac 345
  - Ley general del estado gaseoso 346
  - Constante universal de los gases (*R*) 347
- Termodinámica 348
  - Sistema termodinámico y paredes diatérmicas y adiabáticas 348
  - Procesos termodinámicos adiabáticos y no adiabáticos 349
  - Equilibrio termodinámico 349
  - Punto triple de una sustancia 350
  - Energía interna 350
  - Ley cero de la termodinámica 350
  - Equivalente mecánico del calor 350
  - Trabajo termodinámico 351
  - Primera ley de la termodinámica 352
  - Segunda ley de la termodinámica 354
  - Conclusiones de las leyes primera y segunda de la termodinámica 354
  - Entropía y tercera ley de la termodinámica 354
  - Eficiencia de las máquinas térmicas 356
  - El funcionamiento del refrigerador 357
  - Impacto ecológico de las máquinas térmicas 357
  - Fuentes de energía calorífica 359
  - Poder calorífico de algunos combustibles 360
  - Poder calorífico 361
  - Degradación de la energía 362
- Actividad experimental 18:
  - Calor cedido y absorbido por los cuerpos. Uso del calorímetro 362
- Resumen 363
- Autoevaluación 368
- Coevaluación 370
- Glosario 371

UNIDAD 12 Electricidad 372

- Antecedentes históricos de la electricidad 374
- Carga eléctrica y la ley de la conservación de la carga 376
- Interacción en cargas de igual o diferente signo 376
- Formas de electrizar a los cuerpos 378
  - Frotamiento 378
  - Contacto 378
  - Inducción 378
- Electroscopio y jaula de Faraday 378
- Materiales conductores y aislantes 379
- Unidades de carga eléctrica 380
- Ley de Coulomb 380
- Campo eléctrico 389
  - Intensidad del campo eléctrico 390
- Potencial eléctrico 395
  - Determinación del valor del potencial eléctrico en un punto de una carga 396
  - Diferencia de potencial 398
  - Campo eléctrico uniforme 398
- Corriente eléctrica 404
  - Intensidad de la corriente eléctrica 405
- Fuerza electromotriz 407
- Conexión de pilas en serie y en paralelo 408
- Resistencia eléctrica 409
  - Naturaleza del conductor 409
  - Longitud del conductor 409
  - Sección o área transversal 409
  - Temperatura 409
  - Variación de la resistencia con la temperatura 411
- Ley de Ohm 412
- Circuitos eléctricos y conexión de resistencias en serie, en paralelo y mixtas 414
  - Conexión de resistencias en serie 415
  - Conexión de resistencias en paralelo 416
  - Conexión mixta de resistencias 417
  - Resistencia interna de una pila 417
- Potencia eléctrica y efecto Joule 424
- Efecto Joule 427
- Leyes de Kirchhoff 429
  - Primera ley de Kirchhoff 429
  - Segunda ley de Kirchhoff 431
- Capacitores o condensadores eléctricos 434
  - Uso de los capacitadores 436
  - Conexión de capacitores en serie y en paralelo 436
- Electroquímica y ley de Faraday de la electrólisis 439
  - Ley de Faraday de la electrólisis 440
- Actividad experimental 19:
  - Carga eléctrica 442
- Actividad experimental 20:
  - Uso del multímetro 443
- Actividad experimental 21:
  - Ley de Ohm 446
- Resumen 448
- Autoevaluación 451
- Coevaluación 453
- Glosario 454

UNIDAD 13 Magnetismo 456

- Propiedades y características de los diferentes tipos de imanes 458
  - Imanes permanentes y temporales 458
- Campo magnético 459
- Densidad de flujo magnético 460
  - Permeabilidad magnética e intensidad de campo magnético 461
- Magnetismo terrestre 462
  - Declinación magnética 463
  - Inclinación magnética 463
- Teorías del magnetismo 464
- Reluctancia 465
- Materiales ferromagnéticos, paramagnéticos y diamagnéticos 465
- Actividad experimental 22:
  - Imanes y campo magnético 466
- Resumen 468
- Autoevaluación 469
- Coevaluación 470
- Glosario 471

UNIDAD 14 Electromagnetismo 472

- Desarrollo histórico del electromagnetismo 474
- Campo magnético producido por una corriente 475
  - Campo magnético producido por un conductor recto 476
  - Campo magnético producido por una espira 476
  - Campo magnético producido por un solenoide o bobina 477
- Fuerzas sobre cargas eléctricas en movimiento dentro de campos magnéticos 479
  - Fuerza sobre un conductor por el que circula una corriente 481
  - Fuerza magnética entre dos conductores paralelos por los que circula una corriente 481

Grupo Editorial Patria

- Inducción electromagnética y ley del electromagnetismo 484
  - Ley de Lenz 485
  - Ley del electromagnetismo o ley de inducción de Faraday 485
- Inductancia 488
  - Inductancia mutua 489
- Corriente alterna 491
- Circuitos de corriente alterna 492
  - Reactancia inductiva 492
  - Reactancia capacitiva 493
  - Circuito RLC en serie e impedancia 493
  - Factor de potencia 494
- Transformadores 497
- Bobina de inducción o carrete de Ruhmkorff 499
- Generador eléctrico 500
- Motor eléctrico 501
- Síntesis de Maxwell del electromagnetismo 501
- Actividad experimental 23:
  - Electromagnetismo 503
- Resumen 505
- Autoevaluación 509
- Coevaluación 510
- Glosario 511

UNIDAD 15 Electrónica 512

- Masa y carga del electrón 514
- Emisión termoiónica 517
- Semiconductores 519
  - Semiconductores de tipos N y P 521
- Diodo de cristal 522
- Transistor 523
- Circuitos integrados y chips 524
- Resumen 526
- Autoevaluación 528
- Coevaluación 528
- Glosario 529

UNIDAD 16 Óptica 530

- Comportamiento dual de la luz 532
- Óptica geométrica 533
  - Propagación rectilínea de la luz 533
  - Métodos de Röemer y Michelson para determinar la rapidez o magnitud de la velocidad de la luz 533
  - Intensidad luminosa y flujo luminoso 534
  - Iluminación y ley de la iluminación 534
  - Leyes de la reflexión de la luz 536
  - Espejos esféricos 537
  - Refracción de la luz 539
  - Las lentes y sus características 540
  - Potencia de una lente 543
  - El telescopio y el microscopio 545
  - El ojo y la visión 546
- Óptica física 547
  - Interferencia y anillos de Newton 547
  - Difracción de la luz 548
  - Polarización de la luz 548
  - Naturaleza del color 549
  - Descomposición o dispersión de la luz blanca 549
  - Colores primarios o fundamentales 550
  - Colores binarios y características de algunos colores 550
  - Daltonismo 550
  - Propiedades electromagnéticas de la luz y espectro electromagnético 550
- Actividad experimental 24:
  - Espejos planos y cóncavos 552
- Resumen 556
- Autoevaluación 559
- Coevaluación 560
- Glosario 561

UNIDAD 17 Física moderna 562

- Teoría especial de la relatividad 564
- Teoría general de la relatividad 565
- Radiación, emisión y absorción 566
  - Mecánica ondulatoria 566
  - Espectros ópticos 566
  - Espectro óptico del hidrógeno 567
  - Radiación del cuerpo negro, ley de Kirchhoff y ley de Stefan-Boltzman 569
- Átomo cuántico 570
  - Modelos atómicos de: Dalton, Thomson y Rutherford 570
  - Teoría cuántica de Niels Bohr sobre la estructura del átomo 572
  - Modificaciones de Sommerfeld a la teoría cuántica de Bohr sobre la estructura del átomo 572
  - Números cuánticos y orbitales 572
  - Principio de indeterminación de Heisenberg 574
- Teoría cuántica de Planck 574
  - Constante de Planck 575
  - Efecto fotoeléctrico y su explicación por Einstein de acuerdo con la teoría cuántica 576
  - Efecto Compton 577
  - Rayos X 578
- Partícula-onda (mecánica ondulatoria) 578
- Partículas elementales, antipartículas y antimateria 579
- Radiactividad 579
  - Isótopos y radioisótopos 580
  - Vida media de un elemento radiactivo 580
  - Aplicaciones prácticas y peligros que presentan las radiaciones 581
  - Cámara de niebla de Wilson 582
  - Contador Geiger y de centelleo 582
- Rayo láser 583
- Fusión nuclear 584
  - Fusión en frío, ¿mito o realidad? 585
- Fisión nuclear 585
- Actividad experimental 25:
  - Cámara de niebla 587
- Resumen 588
- Autoevaluación 593
- Coevaluación 594
- Glosario 595

Apéndice

- Nociones de matemáticas 598
- Anexo 1. Tabla de equivalencias entre las unidades de medida de algunas magnitudes físicas 605
- Anexo 2. Alfabeto griego 606
- Anexo 3. Algunas constantes físicas y sus valores 606
- Anexo 4. Tabla de funciones trigonométricas naturales 607
- Respuestas de los ejercicios propuestos 609
- Índice alfabético 619

Cómo usar

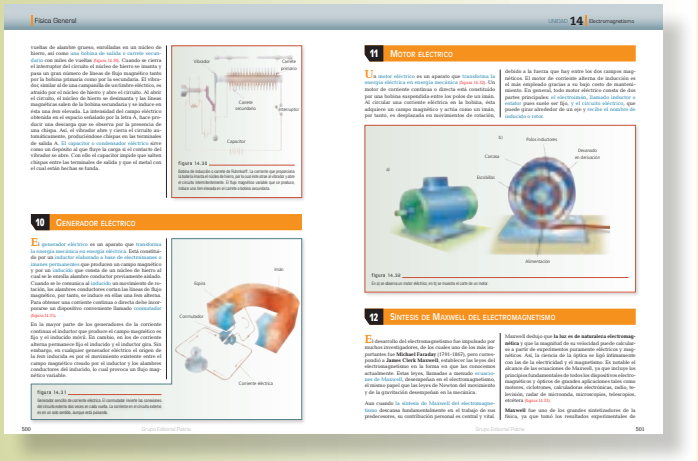


Entrada de unidad

Cada unidad inicia con una introducción, cuya lectura orienta acerca de los contenidos que se abordarán, con el propósito de despertar el interés por estudiar los contenidos respectivos. Asimismo, señala los temas que se tratarán y el título de las actividades experimentales que se proponen para lograr un aprendizaje significativo de la Física. Recomendamos su lectura en el salón de clases.

Temas y subtemas

En su tratamiento, se emplea un lenguaje claro y sencillo y en el caso de palabras nuevas se escribe entre paréntesis su significado. Los ejemplos utilizados para que el estudiante asimile, comprenda e interprete los conceptos, los principios, las teorías y las leyes de la Física, pretenden acercarlo a situaciones de la vida real con aplicación útil, lo cual le posibilitará una mayor comprensión del mundo que lo rodea. El desarrollo claro de los temas, posibilita que el alumno aprenda a aprender y a adquirir confianza en sí mismo, fortaleciendo su autoestima. Por tanto, estamos plenamente seguros de que el profesor encontrará un importante apoyo en este texto. Por ello, recomendamos que éste deje lecturas del libro para realizarse en el salón de clases, y también como actividad extraclase, orientadas por un cuestionario hecho por el docente, que los alumnos deberán responder. De esta manera, el profesor puede propiciar la participación individual y grupal, para que se comenten y discutan las respuestas que se dieron al cuestionario y se elaboren esquemas didácticos o una síntesis de los resultados más relevantes emergidos de la consulta. Esto evitará las sesiones largas e improductivas de exposición magisterial, que desgastan inútilmente al profesor y cansan al alumno. A la vez, contará con el tiempo necesario para la participación activa de los integrantes del grupo, involucrándolos en la construcción de su conocimiento.



Actividades experimentales

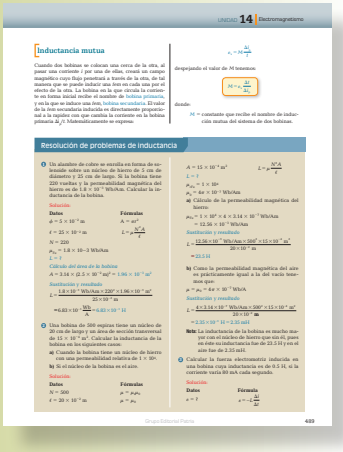
Se incluyen numerosas actividades experimentales cuyo propósito es lograr un aprendizaje significativo de la Física, al acercar al alumno de manera directa a los fenómenos físicos en estudio. Dichas actividades se proponen para ser realizadas en el salón de clases o en el laboratorio, de acuerdo con el criterio del profesor y las características del equipo y material necesarios.



este libro

Resolución de problemas

Cuenta con un importante número de problemas prácticos resueltos a manera de ejemplos, desarrollados paso a paso para que el estudiante comprenda cómo se resuelven y ejercite sus habilidades matemáticas. Después, podrá resolver de manera satisfactoria los ejercicios propuestos, de los cuales se da el resultado en el apéndice que se localiza en las páginas finales del libro para que constaten que los resolvieron correctamente. Por ello, recomendamos que el profesor propicie el desarrollo de la capacidad de razonamiento de sus alumnos, en la medida en que adquieren nuevos conocimientos y experiencias, y al mismo tiempo, fomente que su autoestima y seguridad en sí mismos vaya en constante aumento. Esto se puede lograr por medio de la participación de los alumnos en la resolución de los problemas en el pizarrón, brindando su apoyo para resolver dudas. Una vez logrado lo anterior, el profesor puede proponerles, si así lo considera conveniente, la resolución de problemas más complejos, pero siempre posibilitando su discusión y resultado en el salón de clases para disipar cualquier duda; de otra manera, sólo fomentará la insatisfacción e inseguridad al hacer sentir incapaces a sus alumnos.

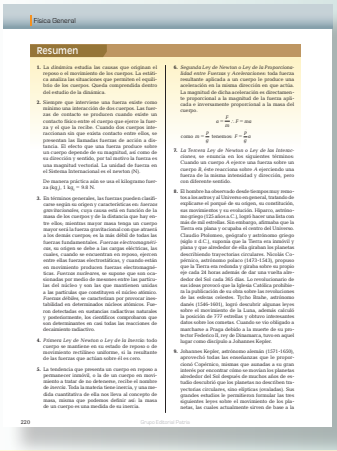

UNIDAD 14 | Electromagnetismo

Inductancia mutua

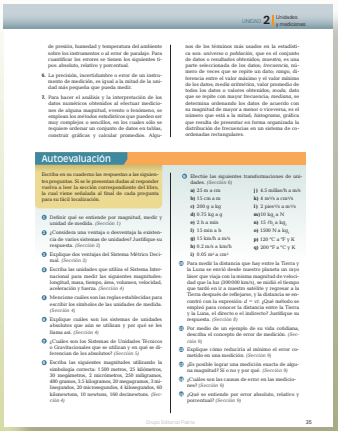
Resolución de problemas de inductancia

Resumen

Al final de cada unidad, se incluye un resumen de los aspectos más importantes que se estudiaron. Por ello, recomendamos que el profesor propicie la lectura del mismo en el salón de clases, y retroalimente con sus valiosos comentarios aquellos aspectos que considere más relevantes.


Física General

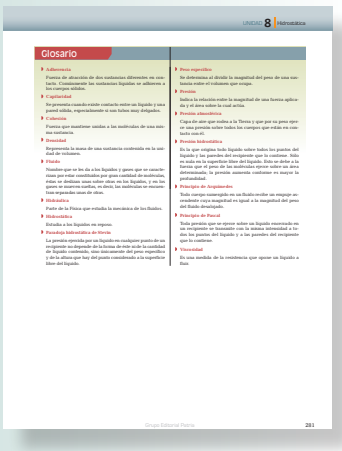
Resumen


UNIDAD 2 | Unidades y mediciones

Autoevaluación

Glosario

Se incluye al final de cada una de las unidades de estudio, en él se definen los términos y los conceptos que el estudiante debe conocer y manejar como parte de su lenguaje científico. Recomendamos su lectura en el salón de clases, como una retroalimentación.


UNIDAD 8 | Hidrostática

Glosario

Autoevaluación

Al término de cada unidad, se sugiere una autoevaluación con la finalidad de retroalimentar al estudiante en su proceso de aprendizaje y para que el profesor tenga evidencias claras de que sus alumnos han adquirido los aprendizajes propuestos. Por tanto, proponemos que el profesor deje como actividad extraclase la resolución de dicha evaluación, ya sea toda o bien algunas preguntas que considere más relevantes, para que después, en el salón de clases, promueva la participación individual y grupal, para discutir las respuestas que se dieron al cuestionario y, en caso de dudas de carácter general, rediseñe sus estrategias de enseñanza-aprendizaje, de tal manera que el resultado sea un éxito. Si al finalizar el curso sus alumnos no odian la Física, ¡muchas felicidades, estimado(a) profesor(a) sus alumnos lo recordarán siempre con afecto, reconocimiento y gratitud por haberlos ayudado a aprender a aprender!

PRÓLOGO A LA CUARTA EDICIÓN

Esta cuarta edición de Física General se realizó con la finalidad de proporcionar un apoyo a los profesores que imparten la materia de Física en el nivel de bachillerato, y para ofrecer a los alumnos un importante recurso auxiliar en el aprendizaje de esta ciencia.

Sin duda, el profesor observará mejores resultados en el aprovechamiento de sus estudiantes, si éstos poseen un texto en el cual puedan consultar los temas contemplados en el programa de estudios.

También se pretende propiciar el estudio independiente, de tal manera que con el auxilio de este texto, los estudiantes inscritos en la modalidad escolarizada o en la abierta, puedan lograr el autoaprendizaje de los principales conceptos, principios, teorías y leyes de la Física.

En esta cuarta edición, hemos agregado varios problemas para ser resueltos por el estudiante, los cuales le servirán para comprender mejor los conceptos físicos abordados, y cómo se aplican de manera práctica. Se ha puesto especial interés en indicar si estamos hablando únicamente de la magnitud, intensidad o módulo de magnitudes físicas vectoriales, como es el caso de fuerzas, desplazamientos, velocidades, aceleraciones, intensidad del campo eléctrico, etc., o si nos referimos a ellas como vectores, en cuyo caso se especifica también su dirección y sentido.

Varios aspectos se tomaron en cuenta para mejorar y hacer más didáctica esta edición: nueva portada más resistente, el diseño en vistosos y llamativos colores de sus interiores, la elaboración de nuevas ilustraciones y la inclusión de más y mejores fotografías que enriquecen la obra. Cada unidad del libro inicia con una breve introducción, que posibilita al alumno valorar la importancia que tiene el estudio de los temas. Presenta también un buen número de ejercicios y actividades experimentales para reforzar la teoría; un resumen orientado hacia los aspectos más relevantes de la materia, incluye una autoevaluación que proporciona, al responderla correctamente, la seguridad de haber asimilado el conocimiento. Se agregaron preguntas de coevaluación para ser comentadas y resueltas, favoreciendo el intercambio de ideas, conocimientos y experiencias; se ha incorporado también un glosario en el cual se definen los términos y los conceptos más importantes que se abordaron durante el estudio de la unidad y que el estudiante debe conocer y manejar como parte de su lenguaje científico. En el apéndice se localizan las respuestas a todos los ejercicios propuestos para ser realizados por el estudiante.

En la actualidad existen muchos libros de Física, sin embargo, varios de ellos son traducciones y utilizan unidades de medida poco comunes en nuestro país, lo cual en algunas ocasiones dificulta su comprensión. Otros, desarrollan ampliamente el aspecto teórico, pero limitan los problemas resueltos a manera de ejemplo; o, por el contrario, tienen innumerables problemas, pero son breves en sus comentarios teóricos. Con base en la experiencia adquirida durante muchos años de docencia, ha sido posible detectar los principales obstáculos que enfrenta el profesor en la enseñanza de la Física, así como las dificultades que tiene el alumno para la asimilación de esta materia. En vista de lo anterior, en el presente libro, se ha dado especial atención a los siguientes aspectos:

a) Se buscó un equilibrio entre la teoría y los problemas, a fin de evitar el abuso o la carencia en alguno de ellos.

b) Los ejemplos utilizados para que el estudiante asimile y comprenda los conceptos, pretenden acercarlo a situaciones de la vida real con aplicación útil, lo cual le posibilitará una mayor comprensión del mundo que le rodea.

c) El texto está escrito en un lenguaje claro y sencillo, se evitó el uso de palabras confusas o sofisticadas que en lugar de contribuir a la comprensión de los conceptos, lo complican.

d) Los problemas resueltos a manera de ejemplos son desarrollados paso a paso para que el estudiante comprenda cómo se resuelven. Este criterio no es compartido por algunos autores, quienes omiten pasos matemáticos importantes argumentando que ello posibilita el que los alumnos aprendan a razonar. Por nuestra parte pensamos que con lo anterior se desvirtúa la intención y objetivos del proceso enseñanza–aprendizaje de la Física, ya que creemos que cualquier persona va desarrollando su capacidad de razonamiento en la medida en que adquiere nuevos conocimientos y experiencias, y al mismo tiempo su autoestima y seguridad en sí mismo va en constante aumento. Debemos recordar que el alumno de Nivel Medio Superior aún se encuentra en una etapa importante de su formación, por ello debe ayudársele a subsanar sus deficiencias en el manejo de las matemáticas como una herramienta en el aprendizaje de la Física y orientarlo en la resolución de los problemas numéricos. Una vez logrado lo anterior, el profesor puede proponerles la resolución de problemas más complejos si así lo considera conveniente, pero posibilitará el que se discutan y resuelvan en el salón de clases para disipar cualquier duda.

e) La realización de actividades experimentales por parte del alumno es de primordial importancia en el aprendizaje de la Física, ya que así se acerca de manera directa al fenómeno en estudio, posibilitándole una clara interpretación del mismo y su posible aplicación práctica. Debido a lo anterior, se han incluido, a lo largo de la obra, veinticinco actividades experimentales, viables de ser desarrolladas durante el curso, que pueden ser aunadas a otras que el profesor considere convenientes, dependiendo del equipo y material disponible.

f) Como los principios, teorías y leyes de la Física encuentran, en muchos de los casos, una aplicación práctica gracias al apoyo que las matemáticas le proporcionan, al final del libro se incluye un apéndice con nociones matemáticas, tales como: suma y resta de fracciones, multiplicación y división de enteros y fracciones, raíz cuadrada, despeje de incógnitas en una ecuación, potencias de base 10 (notación científica), nociones básicas de trigonometría. Cuenta también con una tabla de equivalencias entre las unidades de medida de algunas magnitudes físicas y sus respectivos valores, así como el alfabeto griego, y algunas constantes físicas y sus respectivos valores.

Por último, nos resultaría muy grato saber que este texto cumple con el objetivo para el cual fue escrito y sea bien recibido por nuestros compañeros profesores que comparten la responsable y noble labor de la docencia. Como siempre estamos atentos a sus recomendaciones y comentarios con la finalidad de enriquecer esta obra.

La presente edición viene acompañada de material adicional que diseñamos especialmente para el libro, lo encontrarás en: www.recursosacademicosenlinea-gep.com.mx

Héctor Pérez Montiel

UNIDAD 1

CONTENIDO

- Definición de la Física
- Historia de la Física
- División de la Física
- Concepto de ciencia
- Ciencias formales y ciencias factuales
- Juicios deductivos e inductivos
- El método científico en la construcción de la ciencia
- Actividad experimental 1: *Obtención de una ley física*
- Actividad experimental 2: *Caída libre de los cuerpos*
- Resumen
- Autoevaluación
- Coevaluación
- Glosario

La Física es una de las Ciencias Naturales que más ha contribuido al desarrollo y bienestar del hombre, porque gracias a su estudio e investigación ha sido posible encontrar, en múltiples casos, una explicación clara y útil a los fenómenos que se presentan en nuestra vida diaria. La palabra física proviene del vocablo griego *physike*, cuyo significado es **naturaleza**. La Física es ante todo una **ciencia experimental**, pues sus principios y leyes se fundamentan en la experiencia adquirida al reproducir intencionalmente muchos de los fenómenos. Al aplicar el método científico experimental, el cual consiste en variar en lo posible las circunstancias en que un fenómeno se reproduce para obtener datos e interpretarlos, se pueden encontrar respuestas concretas y satisfactorias, a fin de comprender cada día más el mundo donde vivimos. El estudio de la Física es importante para todo ser humano interesado en conocer el medio en el cual vive y quiera explicarse el porqué de los múltiples fenómenos que se le presentan. Todo fenómeno de la naturaleza, ya sea simple o complejo, tiene su fundamento y explicación en el campo de la Física; por tanto, en la medida que esta ciencia se vaya desarrollando, se tendrán mejores posibilidades para que el hombre pueda avanzar hacia un mayor conocimiento del Universo y un mejor nivel de vida.



Introducción al conocimiento de la Física

1 Definición de la Física

Encontrar una definición clara y precisa acerca de qué es la Física no es sencillo, toda vez que abarca el estudio de múltiples fenómenos naturales; sin embargo, podemos decir que es la ciencia que se encarga de estudiar los fenómenos naturales, en los cuales no hay cambios en la composición de la materia.

Los cambios que se producen en la naturaleza son estudiados por las ciencias naturales como la Física, la Química, la Biología y la Geografía Física, que se caracterizan porque estudian hechos que tienen una causa y provocan un efecto. Por ejemplo, al frotarnos las manos, generamos calor que se disipa en el medio ambiente; la frotación es la causa y la generación de calor es el efecto, esto lo estudia la Física, ya que es un fenómeno natural en el cual no hay ningún cambio en la composición de la materia (figura 1.1). La Química, por su parte, estudiará los fenómenos en los cuales sí hay un cambio en la constitución de la materia, tal es el caso de una reacción química donde el producto obtenido es distinto a los reactivos o sustancias iniciales que intervienen en la reacción (figura 1.2). La Biología se ocupa de estudiar los seres vivos y los cambios que se producen en ellos, mientras que la Geografía Física nos permite comprender la naturaleza del medio que nos rodea, apoyándose en la Astronomía, la Meteorología, la Oceanografía y la Geodesia, esta última estudia la forma de la Tierra y la medición de su superficie.



figura 1.1

La fricción es un ejemplo de fenómeno físico.

La Física ha tenido un gran desarrollo gracias al esfuerzo de notables investigadores y científicos, quienes al inventar y perfeccionar instrumentos, aparatos y equipos han logrado que el hombre agudice sus sentidos al detectar, observar y analizar muchos fenómenos y acontecimientos presentes en el Universo, mismos imposibles de estudiar sin su ayuda.

Los telescopios, radiotelescopios, radares, microscopios electrónicos, aceleradores de partículas y computadoras, entre otros dispositivos, han permitido importantes aportaciones de la Física a otras ciencias, entre las cuales se encuentran la Medicina, la Biología, la Química, la Astronomía y la Geografía, así como la tecnología.

Las aportaciones de la Física han permitido la construcción de puentes, carreteras, edificios, complejos industriales, aparatos utilizados en la Medicina (como el rayo láser que se utiliza como un bisturí electrónico para cirugías de ojos, corazón e hígado), aparatos de radiotelecomunicación, computadoras y lo que actualmente nos maravilla: la exploración del Universo mediante las naves espaciales.

La Física es, por excelencia, la ciencia de la medición, ya que su amplio desarrollo se debe fundamentalmente a la posibilidad de cuantificar las variables involucradas en un fenómeno. Cuando el hombre logra medir un fenómeno se acerca en forma notable a la comprensión del mismo y tiene la posibilidad de utilizar esos conocimientos para mejorar su nivel de vida, facilitando la realización de pequeñas y grandes obras que de otra manera serían imposibles.

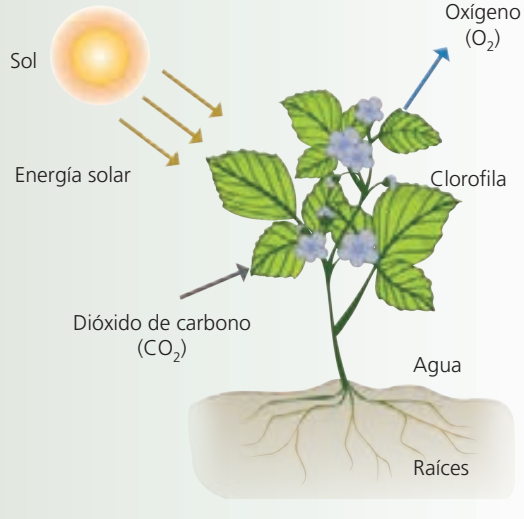


figura 1.2

En toda reacción química, la materia se transforma y se producen nuevas sustancias, dando origen a un fenómeno químico.

2 Historia de la Física

A medida que el hombre primitivo desarrolló su inteligencia, sintió la necesidad de explicarse el porqué de las cosas que sucedían a su alrededor y encontrar respuestas a las siguientes interrogantes: ¿Por qué el día y la noche? ¿Por qué el frío y el calor? ¿Por qué llueve? ¿Qué son los truenos? ¿Qué es el viento? ¿Por qué vuelan los pájaros? ¿Qué es la Luna? ¿Qué es el Sol? ¿Por qué tiembla? ¿Qué son los eclipses? ¿Qué son las estrellas? Estas y otras cuestiones eran un verdadero misterio antes de que la Física contribuyera, gracias a su estudio, a dar respuesta a las mismas. Sin embargo, no todo está resuelto, pues aún en nuestros días no se tiene absoluta certeza sobre: ¿Qué es la materia? ¿Qué es la luz? ¿Existe vida en otros planetas? ¿Qué somos? ¿De dónde provenimos? ¿A dónde vamos? Pero confiamos que con los avances de la Física y de la ciencia en general algún día el hombre podrá responder satisfactoriamente estas preguntas.

Para comprender el desarrollo de la Física es necesario mencionar brevemente algo de su historia:

La Física tiene sus orígenes con los antiguos griegos, quienes trataron de explicarse el origen del Universo y el movimiento de los planetas. Quinientos años antes de la era cristiana, mientras **Leucipo y Demócrito** pensaban que todas las cosas que nos rodean, es decir, la materia, estaban constituidas por pequeñas partículas, otros explicaban que la materia estaba constituida por cuatro elementos básicos: tierra, aire, fuego y agua.

Hacia el año 300 a. C., **Aristarco** ya consideraba el movimiento de la Tierra alrededor del Sol; sin embargo, durante cientos de años predominó la idea de que la Tierra, carente de movimiento, era el centro del Universo con todos los planetas y estrellas girando en torno a ella.

Hasta el año 1500 de nuestra era se desarrolló un gran interés por la ciencia. **Galileo Galilei**, científico italiano, llegó a comprobar que la Tierra giraba alrededor del Sol tal como sostenía **Copérnico**, astrónomo polaco. Además, **Galileo** construyó su propio telescopio y demostró que las estrellas estaban a distancias fabulosas y debido a ello la mayoría resultaba invisible al ojo humano. También descubrió manchas en el Sol, las cuales, al desplazarse lentamente, demostraron el giro de éste sobre su propio eje. Sin embargo, en Roma, la Santa Inquisición obligó a Galileo a retractarse de estas afirmaciones, pues chocaban completamente con las ideas religiosas contenidas en las Sagradas Escrituras. Galileo pasó sus últimos días en el retiro y murió en 1642, año del nacimiento de **Isaac Newton**.

Newton, científico inglés, describió el movimiento de los cuerpos celestes por medio de su Ley de la Gravitación Universal. Explicó que la fuerza de atracción llamada gravedad, existente entre dos cuerpos cualesquiera, ocasiona la caída de las cosas al suelo y su permanencia sobre él, de la misma forma como el Sol retiene a los planetas girando a su alrededor en lugar de permitirles flotar en el espacio.

En el siglo XVIII se inicia el desarrollo de la termodinámica, rama de la Física que se encarga del estudio de la transformación del calor en trabajo, y viceversa. **Benjamín Thompson**, conde de Rumford, propuso que **el calentamiento causado por la fricción se debía a la conversión de la energía mecánica en térmica.**

En 1820, el físico danés **Hans Christian Oersted** descubrió que cuando una corriente eléctrica circula por un conductor a su alrededor se genera una fuerza parecida a la de un imán, es decir, un campo magnético. Este hecho dio nacimiento al **electromagnetismo**, mismo que estudia las relaciones mutuas entre la electricidad y el magnetismo. En 1831, el físico y químico inglés **Michael Faraday** descubrió las **corrientes eléctricas inducidas,** que son aquellas que se producen cuando se mueve un conductor en sentido transversal (perpendicular) a las líneas de flujo de un campo magnético. **Faraday** enunció el siguiente principio: **La inducción electromagnética** es el fenómeno que provoca la producción de una corriente eléctrica inducida, como resultado de la variación del flujo magnético debido al movimiento relativo entre un conductor y un campo magnético. En la actualidad, casi toda la energía que se consume en nuestros hogares, comercios, fábricas, escuelas y oficinas, se obtiene debido al fenómeno de la **inducción electromagnética**. En todo el mundo existen generadores movidos por agua en estado líquido o en forma de vapor, en los cuales enormes bobinas giran entre los polos de potentes imanes y generan grandes cantidades de energía eléctrica.

A principios del siglo XIX, John Dalton consideró que todas las cosas estaban formadas por pequeñas partículas llamadas átomos, idea que fue aceptada por otros científicos, constituyéndose la **teoría atómica**; consideraron también que los átomos se combinan para formar moléculas.

A mediados del siglo XIX, el inglés **James Prescott Joule**, industrial cervecero, después de continuar los estudios de Thompson, comprobó que siempre que se realiza cierta cantidad de trabajo se produce una cantidad equivalente de calor. **Joule estableció el principio llamado equivalente mecánico del calor**, en el cual se demuestra que por cada joule de trabajo se producen 0.24 calorías, y que cuando una caloría de energía térmica se convierte en trabajo se obtienen 4.2 joules. Este principio hizo posible establecer la **Ley de la Conservación de la Energía**, misma que señala que la energía existente en el Universo es una cantidad constante que no se puede crear ni destruir, sólo se puede transformar.

También a mediados del siglo XIX, el físico escocés **James Clerk Maxwell** fue el primero en proponer que

la luz está formada por ondas electromagnéticas, las cuales se pueden propagar aun en el vacío sin necesidad de un medio material. Él consideró lo siguiente: así como un campo magnético variable genera un campo eléctrico, también es posible que un campo eléctrico variable produzca uno magnético. De tal manera que una sucesión repetida de ellos produzca una perturbación electromagnética, siendo uno generador del otro. Hoy sabemos que la diferencia básica entre los diferentes tipos de radiación que constituyen el llamado **espectro electromagnético** se debe a su frecuencia y a su longitud de onda.

A finales del siglo XIX, el físico francés **Enrique Becquerel** descubrió, en 1896, la radiactividad, al observar que los átomos del elemento uranio desprendían partículas más pequeñas, por lo cual se pensó que el átomo no era la partícula más pequeña, sino que estaba constituido por otras partículas. Esto motivó la realización de más experimentos atómicos, como los de **Thomson**, **Rutherford** y **Bohr**, quienes concluyeron en describir al átomo como un pequeño Sistema Solar. Así como los planetas giran alrededor del Sol, en el átomo los electrones de carga negativa giran alrededor del núcleo, el cual está compuesto de protones con carga positiva y de neutrones sin carga eléctrica (figura 1.3).

Los descubrimientos de la radiactividad abrieron un nuevo campo: **la Física Atómica, encargada de estudiar la constitución del átomo.** Aparecieron las teorías: Cuántica de Planck, de la Relatividad de Einstein y de la Mecánica Ondulatoria de De Broglie. Actualmente, el descubrimiento de nuevas partículas de vida media muy corta ha originado la Física Nuclear, cuyo objetivo es descubrir totalmente la constitución del núcleo atómico.

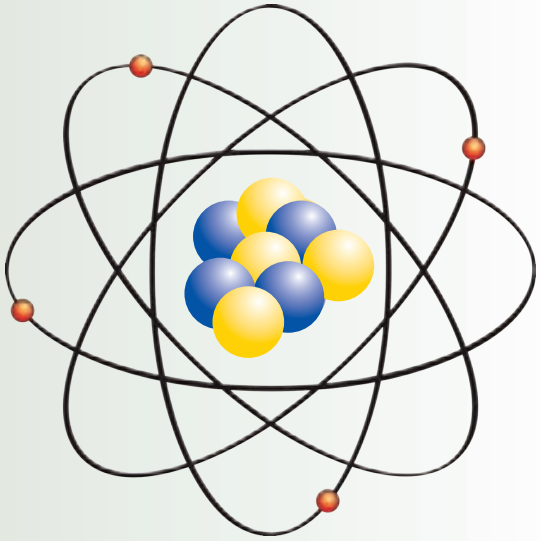


figura 1.3

El átomo es la unidad más pequeña posible de un elemento químico.

3 División de la Física

La Física, para su estudio, se divide en dos grandes grupos: Física Clásica y Física Moderna. La primera estudia todos aquellos fenómenos en los cuales la magnitud de la velocidad es muy pequeña comparada con la magnitud de la velocidad de propagación de la luz; la segunda se encarga de todos aquellos fenómenos producidos a la magnitud de la velocidad de la luz o con magnitudes cercanas a ella, y con los fénomenos relacionados con el comportamiento y estructura del núcleo atómico. Pero, ¿qué entendemos por magnitud de la velocidad muy pequeña comparada con la magnitud de la velocidad de la luz? La magnitud de la velocidad de la luz en el vacío es de aproximadamente 300 mil km/s, esto quiere decir que si un rayo de luz emitido por una fuente luminosa viajara alrededor de la Tierra, cuya circunferencia es equivalente a una longitud de 40 mil kilómetros, el rayo de luz sería capaz de dar ¡siete vueltas y media alrededor de ella en un solo segundo! Comparando la magnitud de la velocidad de la luz con la de un automóvil de carreras que alcanza magnitudes de velocidades en línea recta de aproximadamente 320 km/h o la de un avión que vuele a 1 000 km/h, podremos comprender fácilmente que estas magnitudes de velocidades, para nosotros altas, en realidad son muy pequeñas al compararlas con la de la luz. En general, las magnitudes de las velocidades alcanzadas por las motocicletas, automóviles y aviones, aunque sean muy altas, siempre resultarán mínimas al compararlas con la de la luz. En la figura 1.4 se observan las ramas de la Física Clásica y la Física Moderna.

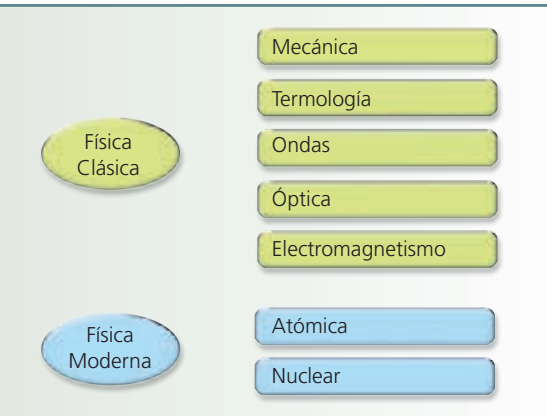


figura 1.4

División de la Física para su estudio.

4 Concepto de ciencia

La ciencia es un conjunto de conocimientos razonados y sistematizados opuestos al conocimiento vulgar. El hombre, en su afán de lograr el conocimiento de las cosas con base en los principios y las causas que les dan origen, ha logrado el desarrollo constante de la ciencia; por ello, podemos afirmar que la ciencia es uno de los productos más elaborados de la actividad del ser humano, pues a través de ella el hombre ha comprendido, profundizado, explicado y ejercido un control sobre muchos de los procesos naturales y sociales.

Las principales características de la ciencia son las siguientes:

1. Sistemática, ya que emplea el método científico para sus investigaciones. Por medio de él obtiene un conjunto de conocimientos ordenados y relacionados entre sí, evitando dejar al azar la posibilidad de explicar el porqué de las cosas.
2. Comprobable, porque puede verificar si es falso o verdadero lo que se propone como conocimiento.
3. Perfectible, es decir, sus enunciados de ninguna manera deben considerarse como verdades absolutas, sino por el contrario, constantemente sufren modificaciones e incluso correcciones a medida que el hombre incrementa sus conocimientos y mejora la calidad y precisión de sus instrumentos de medición y observación.

5 Ciencias formales y ciencias factuales

La ciencia se divide para su estudio en dos grandes grupos:

Ciencias formales

Son aquellas que estudian ideas, como es el caso de la Lógica y las Matemáticas. La característica principal de estas ciencias es que demuestran o prueban sus enunciados con base en principios lógicos o matemáticos, pero no los confirman experimentalmente.

Ciencias factuales

Se encargan de estudiar hechos, ya sean naturales (figura 1.5), como es el caso de la Física, Química, Biología y Geografía Física, que se caracterizan porque estudian hechos debidos a una causa y que provocan un efecto. O bien, estudian hechos humanos o sociales, como es el caso de la Historia, Sociología, Psicología Social y Economía, cuya característica es que estudian hechos de imputación debido a que las teorías e hipótesis son atribuibles a los investigadores que han realizado los estudios. En general, las ciencias factuales comprueban mediante la observación y la experimentación sus hipótesis, teorías o leyes.



figura 1.5
Los rayos son un fenómeno natural y lo estudian las ciencias factuales.

6 Juicios deductivos e inductivos

La ciencia, ya sea formal o factual, formula juicios en forma permanente, es decir, afirma o niega con base en la observación y el razonamiento. Las ciencias formales generalmente emplean juicios deductivos, los cuales se realizan cuando, a partir de una generalidad o ley, se analiza un caso particular. Las ciencias factuales por lo general usan

juicios inductivos que se llevan a cabo cuando, gracias al estudio de un caso o hecho particular, se llega al enunciado de una generalidad o ley (figura 1.6).

Las ciencias factuales también utilizan juicios deductivos cuando al estudiar un hecho se formulan hipótesis con base en leyes o principios previamente establecidos.

Ejemplo de juicio deductivo: todos los metales son buenos conductores del calor; la plata es un metal por tanto, es buen conductor del calor.

Ejemplo de juicio inductivo: el cobre es un buen conductor de la electricidad y es un metal; si el cobre es un metal y es buen conductor de la electricidad, entonces todos los metales son buenos conductores de la electricidad.

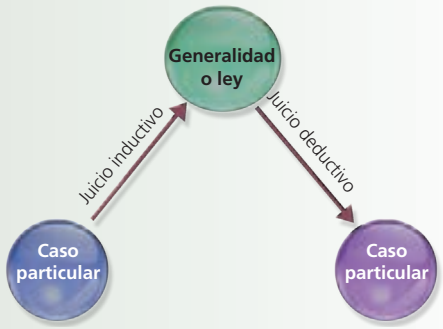


figura 1.6
Formulación de juicios inductivos y deductivos.

7 El método científico en la construcción de la ciencia

Características del método científico

El conocimiento científico está íntimamente relacionado con todo lo que existe en el Universo. En ocasiones, el punto de partida de una investigación científica es la curiosidad del ser humano.

La especie humana se caracteriza por su continua búsqueda de respuestas a la gran cantidad de preguntas que se han hecho a medida que su inteligencia se ha ido desarrollando. En esa búsqueda, la ciencia representa un papel fundamental. Por ello, podemos decir que **todo conocimiento es una respuesta a una pregunta**. Las preguntas surgen de la acción de los individuos en su entorno, y su progreso se debe a la observación científica de los fenómenos que ocurren en la naturaleza.

A los científicos les interesa descubrir cómo y por qué ocurren las cosas, buscan explicación a los fenómenos del mundo. Pero esto es sólo una parte de la historia, ya que los objetivos de la ciencia son ir más allá de lo inmediato, al averiguar cómo está constituido el Universo y comprender las relaciones que existen entre las cosas.

Sin embargo, no existe un procedimiento que pueda ser utilizado por los científicos para resolver todos sus problemas, pues de ser así, todo estaría descubierto o inventado. Por tanto, **no existe un método científico único** capaz de proporcionar una fórmula que conduzca sin falla a un descubrimiento. En conclusión, **si como método entendemos el camino hacia un fin, no hay uno, sino muchos métodos y muy variados**.

La investigación comienza **identificando** un problema. La observación es posterior y lleva a formular posibles explicaciones al problema estudiado, es decir, se elaboran hipótesis.

Una **hipótesis** es una idea o conjetura para explicar el porqué o cómo se produce determinado hecho o fenómeno, lo que contribuirá a resolver el problema en estudio.

Para que una conjetura sea una buena hipótesis debe cumplir dos requisitos: estar libre de contradicciones y poder someterse a comprobación. Se denomina contrastar la hipótesis al proceso de comprobar la validez de la misma.

Al elaborar una hipótesis suponemos lo siguiente:

1. La existencia de determinadas relaciones entre hechos observados.
2. La posibilidad de contrastar, con la experiencia, las consecuencias que obtendríamos de ser verdaderas tales suposiciones.

Es importante resaltar que **las hipótesis científicas se originan de diversas maneras**, no hay un procedimiento definido y tampoco existe un camino que nos permita inventarlas; esto depende de la capacidad, habilidad y experiencia del investigador. Sin embargo, cuando un persistente y tenaz investigador logra comprobar que una hipótesis es cierta, además de que este hecho es importante y trascendental para la humanidad, su esfuerzo se ve recompensado por el reconocimiento de la sociedad en general, y el mundo científico en particular.

La ciencia no es un proceso terminado, ya que se encuentra en constante evolución y desarrollo. En nuestro país, y sobre todo en los llamados países desarrollados, existen mujeres y hombres dedicados a la investigación, tratando de descubrir algunos de los misterios de la naturaleza, como la cura para el SIDA, el cáncer, la hepatitis, qué es la luz, qué es la energía, etc. También inventan productos nuevos: cosméticos, adornos, juguetes, televisores con imagen y sonido cada vez mejores, pantallas gigantes, pequeñas computadoras con gran capacidad de procesamiento, aparatos y equipos médicos, satélites para comunicaciones o de observación, entre otros.

Es importante diferenciar entre el conocimiento y el invento. **Un descubrimiento es algo que ya existía, pero no era conocido, mientras que el invento es algo que antes no existía y se crea**.

Método científico experimental

El método científico experimental es utilizado por las ciencias factuales, ya que la Lógica y las Matemáticas no requieren de la experimentación para demostrar sus enunciados, como en la Física, la Química o la Biología, que sí la necesitan para probar la validez de sus postulados. Por tal motivo, se experimenta modificando en forma consciente las diferentes variables involucradas en el objeto de estudio. En términos generales y con todas las limitaciones que presenta el señalar una serie de pasos a seguir en el estudio de un fenómeno, empleando el método científico experimental, se tienen como una posible secuencia los siguientes pasos:

1. Identificación del problema, es decir, cuál es el fenómeno en estudio.
2. Observación del fenómeno (figura 1.7).
3. Planteamiento del problema para definir claramente qué vamos a investigar del fenómeno en estudio y para qué.
4. Formulación de hipótesis.
5. Investigación bibliográfica en libros y revistas especializadas para aprovechar, si existe, algún escrito acerca del fenómeno que se estudia, así como la comunicación con centros de investigación en el mundo abocados al estudio del fenómeno en cuestión, ya sea de manera directa, por teléfono, fax o vía Internet.
6. Experimentación, se llevará a cabo mediante la modificación controlada de las distintas variables involucradas en el fenómeno en estudio. Por lo general, **se realiza mediante el empleo de un modelo que representa el fenómeno**.
7. Registro e interpretación de datos.
8. Comprobación de las hipótesis.
9. Enunciado de una teoría que explica el porqué del fenómeno, pero con ciertas limitaciones que no permiten hacer una generalización para todos los casos similares a nuestro fenómeno en estudio.
10. Obtención de una ley, la cual se produce cuando el afortunado y persistente investigador encuentra reglas invariables que dentro de ciertos límites rigen el fenómeno en estudio. No obstante, dicha ley estará sujeta a los nuevos descubrimientos y progresos del hombre, por lo cual tarde o temprano puede sufrir alguna corrección.

Finalmente, vale la pena recordar que no siempre es posible experimentar con todos los fenómenos naturales, pues en muchos casos, como el movimiento de planetas, eclipses, temblores, etc., el investigador no interviene en las causas del fenómeno en estudio, por ello no puede alterar de manera intencionada y controlada ninguna de las variables, sólo puede llevar a cabo su investigación científica mediante la observación sistemática y minuciosa de dichos fenómenos cuando se presentan.



figura 1.7

El microscopio electrónico ha contribuido de manera significativa en la investigación científica al observarse con él cuerpos diminutos.

Actividad experimental 1

Obtención de una ley física

Objetivo

Obtener una ley física como resultado de experimentar con las deformaciones sufridas por un cuerpo elástico al aplicarle una fuerza.

Consideraciones teóricas

Una ley física se obtiene cuando después de observar minuciosamente un problema, plantear hipótesis y hacer una experimentación repetida, se obtienen resultados, los cuales permiten concluir que siempre y cuando existan las mismas condiciones que originan un fenómeno, éste se repetirá sin ninguna variación. Por tanto, existe una relación de causa-efecto en toda ley física. Una ley física se enuncia de tal manera que expresa las condiciones en las cuales se produce un fenómeno físico. Un cuerpo elástico es aquel que recupera su forma original cuando desaparece la fuerza causante de la deformación. Algunos ejemplos de cuerpos elásticos son: resortes, ligas y bandas de hule, pelotas de tenis y fútbol. La deformación sufrida por un cuerpo elástico es directamente proporcional a la fuerza recibida; en otras palabras, si la fuerza aumenta el doble también aumenta el doble la deformación, y si la fuerza disminuye a la mitad, disminuye la deformación en la misma proporción; por esta razón existe entre ellas una relación directamente proporcional.

Hipótesis

Existe una relación directamente proporcional entre el alargamiento de un cuerpo elástico y la fuerza que recibe.

Material empleado

Un soporte, un resorte, cuatro pesas, una regla graduada y una aguja indicadora.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Monte un dispositivo como el de la figura 1.8. Observe en la regla graduada qué longitud inicial señala la aguja antes de colocarle alguna pesa al resorte y anote la medida.

2. Ponga una pesa de 5 gramos fuerza (5 g_f) en la parte inferior del resorte y mida con la regla graduada cuál es su alargamiento. Después coloque una pesa de 10 g_f y mida nuevamente el alargamiento del resorte. Repita la misma operación, pero ahora con 15 g_f y después con 20 g_f (puede hacer su experimento usando pesas diferentes a las descritas, esto depende de la elasticidad que tenga su resorte). Repita su experimento cuando menos tres veces a fin de confirmar los datos obtenidos.

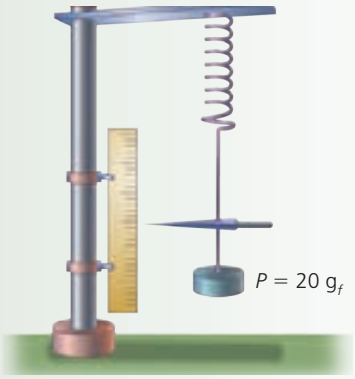


figura 1.8

Dispositivo para estudiar los alargamientos que sufre un cuerpo elástico al aplicarle una fuerza.

3. Haga un cuadro de datos con los resultados obtenidos de la siguiente manera:

cuadro 1.1	Datos de peso (F) alargamiento (ℓ) (experimentales)	
F = Peso (g_f)	ℓ = alargamiento (cm)	$\frac{F}{\ell} = \frac{g_f}{cm}$
5		
10		
15		
20		

4. La tercera columna del cuadro de datos la llenará al dividir para cada caso la magnitud de la fuerza aplicada (F), equivalente al peso soportado por el resorte, entre el alargamiento (ℓ) que sufre.

5. Con los datos del cuadro construya una gráfica F *vs* ℓ, colocando en el eje de las ordenadas o de las Y los datos de la fuerza y en el eje de las abscisas o de las X sus correspondientes alargamientos. Una los puntos obtenidos (figura 1.9).

6. La línea recta obtenida al unir los puntos y representada por la letra k recibe el nombre de constante del resorte o módulo de elasticidad. Determine,

mediante el cálculo de la tangente de la recta, el valor de su pendiente. Para ello, dibuje un triángulo rectángulo entre dos puntos de la recta, misma que equivaldrá a la hipotenusa (figura 1.9). Su tangente será igual a:

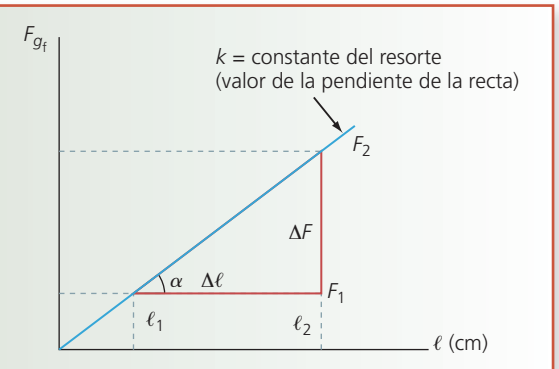


figura 1.9

Gráfica de F vs ℓ y cálculo de la pendiente de la recta.

$$\tan \alpha = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}} = \frac{\Delta F}{\Delta \ell}$$

$$\tan \alpha = \frac{F_2 - F_1}{\ell_2 - \ell_1}$$

Cuestionario

1. ¿Cómo fue el valor obtenido para la relación F/ℓ en cada uno de los casos? ¿Igual o diferente?
2. ¿El valor de la pendiente que obtuvo fue igual al obtenido al dividir F/ℓ?
3. ¿Cómo definiría la constante del resorte, es decir, k?
4. ¿Qué le sucedería al resorte si le colocara una pesa muy grande?
5. ¿Se comprobó la hipótesis? Justifique su respuesta.
6. Enuncie una ley física con base en los resultados obtenidos.

Actividad experimental 2

Caída libre de los cuerpos

Objetivo

Encontrar una ley física para cualquier cuerpo que caiga libremente al vacío.

Consideraciones teóricas

Un cuerpo tiene una caída libre cuando desciende sobre la superficie de la Tierra sin sufrir ninguna resistencia ocasionada por el aire o cualquier otra sustancia. De manera práctica, si los efectos causados por la resistencia del aire sobre los cuerpos es pequeña, se puede despreciar, entonces su movimiento se considera de caída libre. En 1590 Galileo demostró: todos los cuerpos, ya sean grandes o pequeños, en ausencia de fricción caen a la Tierra con la misma aceleración. Por tanto, si dejamos caer desde la misma altura una piedra grande y una pequeña, las dos piedras caerán al suelo en el mismo tiempo.

Material empleado

Un cronómetro, una regla graduada y diferentes objetos que puedan dejarse caer sin ser dañados.

Desarrollo de la actividad experimental

Basándose en lo aprendido en la actividad experimental 1, diseñe un experimento a fin de obtener una ley física para cualquier cuerpo que caiga libremente al vacío. Para ello, mida el tiempo que tardan en llegar al suelo cuerpos de diferentes materiales y tamaños que se dejan caer desde la misma altura.

Cuestionario

1. ¿Cómo es la caída de los cuerpos al ser soltados al vacío?
2. En ausencia de una resistencia considerable del aire, ¿cuál es el tiempo que tardan en caer dos cuerpos de diferente tamaño soltados desde la misma altura?
3. ¿Qué sucede con la velocidad de un cuerpo a medida que sufre una caída libre?
4. Con sus propias palabras enuncie una ley física para cualquier cuerpo con caída libre en el vacío.

Resumen

1. La Física es una de las ciencias naturales que más ha contribuido al desarrollo y bienestar del hombre. La palabra física proviene del vocablo griego *physike* cuyo significado es naturaleza. La Física es, por excelencia, la ciencia de la medición y es, ante todo, una ciencia experimental. Su estudio es de vital importancia para todo ser humano deseoso de conocer el medio donde vive y quiera explicarse el porqué de los múltiples fenómenos naturales.
2. La Física es la ciencia dedicada al estudio de los fenómenos naturales, en los cuales no hay cambios en la composición de la materia. Esta ciencia ha hecho grandes aportaciones a la Medicina, la Biología, la Química, la Astronomía, la Geografía, así como a la tecnología. La construcción de puentes, carreteras, edificios, complejos industriales, aparatos usados en la Medicina, aparatos de radiotelecomunicación, computadoras y la exploración del Universo mediante las naves espaciales son algunos ejemplos concretos de los logros obtenidos por la Física, gracias a su investigación y estudio.
3. La historia de la Física se inicia con los antiguos griegos, quienes trataron de explicarse el origen del Universo y el movimiento de los planetas. Quinientos años a.C. Leucipo y Demócrito pensaban que todas las cosas de nuestro entorno, es decir, la materia, estaban constituidas por pequeñas partículas.
4. La Física se divide para su estudio en dos grandes grupos: la *Física Clásica* y la *Física Moderna*. La primera estudia todos aquellos fenómenos en los cuales la magnitud de la velocidad es muy pequeña comparada con la magnitud de la velocidad de propagación de la luz. La segunda se encarga de todos aquellos fenómenos producidos a la magnitud de la velocidad de la luz o con magnitudes cercanas a ella, y con los fenómenos relacionados con el comportamiento y estructura del núcleo atómico.
5. La ciencia se define como un conjunto de conocimientos razonados y sistematizados opuestos al conocimiento vulgar. Las principales características de la ciencia son las siguientes: sistemática, comprobable y perfectible.
6. Para su estudio, la ciencia se divide en dos grandes grupos: *ciencias formales*, que estudian ideas (como es el caso de la Lógica y las Matemáticas); y *ciencias factuales*, que estudian hechos, ya sean naturales (como la Física, la Química y la Biología), o bien, hechos humanos o sociales (como la Historia y la Sociología). Las ciencias formales frecuentemente emplean juicios deductivos, éstos se realizan cuando a partir de una generalidad o ley analizan un caso particular. Por su parte, las ciencias factuales emplean además de juicios deductivos, juicios inductivos, los cuales se realizan cuando a partir de un caso particular se llega al enunciado de una generalidad o ley.
7. La ciencia utiliza para sus investigaciones el llamado *método científico*; sin embargo, no existe un método científico único que pueda ser usado por los investigadores para resolver todos sus problemas. Una investigación científica comienza identificando un problema; la observación es posterior y lleva a formular posibles explicaciones al problema estudiado, es decir, se elaboran hipótesis. El *método científico experimental* es el utilizado por las ciencias factuales, pues requieren de la experimentación para probar la validez de sus postulados.

Autoevaluación

Escriba en su cuaderno las respuestas a las siguientes preguntas. Si se le presentan dudas al responder vuelva a leer la sección correspondiente del libro, la cual viene señalada al final de cada pregunta para su fácil localización.

1. ¿Cuál es el origen de la palabra física? *(Introducción de la unidad 1)*
2. ¿Cómo definiría a la Física? *(Sección 1)*
3. Mencione cinco aportaciones que la Física ha hecho en su propio beneficio. *(Sección 1)*
4. ¿Por qué el hombre logra interpretar un fenómeno a través de la medición del mismo? *(Sección 1)*
5. Mencione cinco antecedentes históricos que para usted hayan sido relevantes en el desarrollo de la Física. *(Sección 2)*
6. ¿Cuáles son los dos grandes grupos en los que se divide la Física para su estudio? *(Sección 3)*
7. ¿Cuál es el concepto de ciencia y cuáles son sus principales características? *(Sección 4)*
8. ¿Qué estudian las ciencias formales? *(Sección 5)*
9. ¿Qué estudian las ciencias factuales? *(Sección 5)*

10. ¿Por qué la Física se clasifica como una ciencia factual? *(Sección 5)*
11. ¿Qué es un juicio deductivo? *(Sección 6)*
12. ¿Qué es un juicio inductivo? *(Sección 6)*
13. ¿Por medio de un ejemplo, explique por qué no existe un método científico único que pueda ser usado por todos los investigadores? *(Sección 7)*
14. ¿Cuáles son las ciencias que utilizan el método científico experimental y cuáles son sus principales pasos? *(Sección 7)*
15. Explique qué es una ley física. *(Actividad experimental 1)*
16. Utilice un ejemplo de su vida cotidiana, por medio del cual explique cuándo una variable es directamente proporcional a otra. *(Actividad experimental 1)*

Coevaluación

Instrucciones: Consolide su aprendizaje, para ello lea y conteste en una hoja las siguientes preguntas. Luego, intercambie con un(a) compañero(a) sus respuestas. Coméntenlas, pónganse de acuerdo y den respuestas comunes. Discútanlas con las demás parejas y enriquezcan sus conocimientos con las aportaciones de todos.

1. El filósofo griego Aristóteles (384-322 a. C.) aseguraba que tras los cambios de apariencia que afectan a la mayoría de los objetos, algo permanece siempre inalterado y lo llamó "sustancia". Misma que consideró como la *physis*, es decir, la naturaleza o el principio fundamental del "ser". Para Aristóteles, el ser o sustancia son todas las cosas que hay en el mundo, como un perro, una vaca, un gato, un árbol, una mesa, etcétera.

   Reflexionaba que están constituidas de materia y forma. En consecuencia, en un árbol y en una mesa hay madera (la materia) y eso no cambia, lo que cambia es la forma.

   a) ¿Está de acuerdo con la manera de reflexionar de Aristóteles? Sí o no. ¿Por qué?

   b) Con base en sus conocimientos actuales, ¿cómo le explicaría a Aristóteles qué es la materia, cómo está constituida y qué fenómeno se presenta cuando sólo cambia de forma o de estado de agregación?

2. En varios países diversos grupos de científicos realizan investigaciones para tratar de curar el SIDA y la leucemia.

   a) ¿Considera que para sus investigaciones utilizan el método científico experimental? Sí o no. ¿Por qué?

   b) ¿Seguirán todos un mismo método? Sí o no. ¿Por qué?

   c) ¿De qué manera considera que estén aplicando los conocimientos que proporciona la Física, la Química, la Biología y las Matemáticas?

   d) ¿Considera que alguna de las cuatro ciencias es más importante que las otras o todas son importantes y se complementan entre sí? Justifique su respuesta.

Glosario

Ciencia
Conjunto de conocimientos razonados y sistematizados opuestos al conocimiento vulgar.

Ciencias factuales
Estudian hechos naturales, como es el caso de la Física, Química, Biología y Geografía Física, o bien, estudian hechos humanos o sociales, como es el caso de la Historia, Sociología, Psicología social, etcétera.

Ciencias formales
Son aquellas que estudian ideas, como es el caso de la Lógica y las Matemáticas.

Física
Es la ciencia que se encarga de estudiar los fenómenos naturales, en los cuales no hay cambios en la composición de la materia.

Física atómica
Estudia la constitución del átomo.

Física Clásica
Estudia todos aquellos fenómenos en los cuales la magnitud de la velocidad es muy pequeña, comparada con la magnitud de la velocidad de propagación de la luz.

Física Moderna
Estudia todos aquellos fenómenos producidos a la magnitud de la velocidad de la luz o con magnitudes cercanas a ella. También estudia los fenómenos relacionados con el comportamiento y la estructura del núcleo atómico.

Hipótesis
Es una idea o conjetura para explicar el porqué o cómo se produce determinado hecho o fenómeno.

Ley física
Enunciado que posibilita concluir que siempre y cuando existan las mismas condiciones que originan un fenómeno, éste se repetirá sin ninguna variación.

Teoría
Enunciado que explica el porqué de un hecho o fenómeno, pero con ciertas limitaciones que no permiten hacer una generalización o ley.

UNIDAD 2

CONTENIDO

- Definiciones de magnitud, medir y unidad de medida
- Desarrollo histórico de las unidades de medida y de los sistemas de unidades
- Magnitudes fundamentales y derivadas
- Sistemas de Unidades Absolutos
- Sistemas de Unidades Técnicos o Gravitacionales
- Transformación de unidades de un sistema a otro
- Ecuaciones y análisis dimensionales
- Medición de diferentes magnitudes con métodos directos e indirectos
- Análisis de errores en la medición
- Estadística elemental en el análisis de mediciones
- Actividad experimental 3: *Medición de longitudes con el vernier y el palmer o tornillo micrométrico*
- Resumen
- Autoevaluación
- Coevaluación
- Glosario

Desde tiempos muy remotos el hombre ha tenido la necesidad de medir, es decir, saber cuál es la magnitud de un objeto comparándolo con otro de la misma especie que le sirva de base o patrón, pero el problema ha sido encontrar el patrón de medida. Por ejemplo, se habló de **codos**, **varas**, **pies** y **jemes** (distancia entre el dedo índice y pulgar al estar estirada la mano) para medir longitud; **cuarterones**, **arrobas**, **quintales** y **cargas** para medir masa; **lunas**, **soles** y **lustros** para medir tiempo. Los países grandes y ricos establecieron nuevas medidas propias para demostrar su poderío y autonomía, dando como resultado un serio obstáculo para el comercio entre los pueblos debido a la diversidad de unidades de medida.

Durante el siglo II a.C. y hasta el siglo IV de nuestra era, a causa del dominio que ejercía el Imperio Romano y al deseo de unificar las unidades empleadas, implantaron la **libra** como unidad de masa y la barra de bronce, llamada **pie**, como unidad de longitud. En la Edad Media, siglo V al siglo XV d.C., vuelve la anarquía en las unidades de medida. En 1795 se implanta el **Sistema Métrico Decimal** como resultado de la Convención Mundial de Ciencia efectuada en Francia. Las unidades fundamentales fueron: el **metro**, el **kilogramo-peso** y el **litro**. En 1881 se adopta el Sistema Cegesimal o CGS propuesto por el físico alemán Karl Gauss en el Congreso Internacional de los Electricistas realizado en París, Francia. Las unidades fundamentales fueron: **centímetro, gramo-masa** y **segundo**. En 1935 se adopta el Sistema MKS propuesto por el ingeniero italiano Giovanni Giorgi en el Congreso Internacional de los Electricistas realizado en Bruselas, Bélgica. Las unidades fundamentales fueron: **metro**, **kilogramo-masa** y **segundo**. En 1960 en Ginebra, Suiza, el mundo científico adopta el Sistema Internacional de Unidades (SI) que se apoya en el MKS y cuyas unidades fundamentales son: **metro** (m) para medir longitud, **kilogramo** (kg) para masa, **segundo** (s) para tiempo, **kelvin** (K) para temperatura, **ampere** (A) para intensidad de corriente eléctrica, **candela** (cd) para intensidad luminosa y **mol** para cantidad de sustancia. El Sistema Internacional que México, junto con otros países, aceptó y adoptó es el que esperamos se use en todo el mundo, evitando así la problemática histórica de batallar con múltiples unidades de medida para una misma magnitud física: la de tener que transformarlas de un sistema a otro para poder interpretarlas correctamente.



Unidades y mediciones

1 Definiciones de magnitud, medir y unidad de medida

Magnitud

Se llama magnitud a todo aquello que puede ser medido (figura 2.1). La longitud de un objeto o cuerpo físico (ya sea largo, ancho, alto, su profundidad, su espesor, su diámetro externo o interno), la masa, el tiempo, el volumen, el área, la velocidad, la fuerza, etc., son ejemplos de magnitudes. Los sentimientos como el amor, el odio, la felicidad, la ira y la envidia no pueden ser medidos; por tanto, no son magnitudes.

Medir

Es comparar una magnitud con otra de la misma especie que de manera arbitraria o convencional se toma como base, unidad o patrón de medida.

Unidad de medida

Recibe el nombre de unidad de medida o patrón toda magnitud de valor conocido y perfectamente definido que se utiliza como referencia para medir y expresar el valor de otras magnitudes de la misma especie. Una de las principales características que debe cumplir un patrón de medida es que sea reproducible.



figura 2.1
Magnitud es todo aquello que puede ser medido. Por ejemplo, el volumen de un cubo.

2 Desarrollo histórico de las unidades de medida y de los sistemas de unidades

Cuando el hombre primitivo tuvo la necesidad de encontrar referencias que le permitieran hablar de lapsos menores a los transcurridos entre la salida del Sol o de la Luna, observó que la sombra proyectada por una roca se desplazaba por el suelo a medida que el tiempo pasaba (figura 2.2). Se le ocurrió entonces colocar una piedra en lugares en los cuales se realizara alguna actividad especial, o bien, retornaría a su caverna para comer cuando la sombra de la roca llegara hasta donde había colocado la piedra. Gracias al desplazamiento de la sombra de la roca proyectada por el Sol, el hombre tuvo su primer reloj para medir el tiempo. También trataba de comparar el peso de dos objetos para saber cuál era mayor al colocar uno en cada mano. Pero un buen día, alguien tuvo la idea de poner en equilibrio una tabla con una roca en medio y colocar dos objetos en ambos extremos de la tabla, así el objeto que más bajara era el de mayor peso. Se había inventado la primera y burda balanza.



figura 2.2
A través de la historia, el hombre ha modificado la manera de medir el tiempo.

Para medir la longitud, el hombre recurría a medidas tomadas de su propio cuerpo. Los egipcios usaban la brazada (figura 2.3), cuya longitud equivalía a las dimensiones de un hombre con los brazos extendidos. Los ingleses usaban como patrón la longitud del pie de su rey (figura 2.4). Los romanos usaban el paso y la milla equivalente a mil pasos. Para ellos un paso era igual a dos pasos de los actuales, pues cada uno era doble, ya que cada pie daba un avance. También se utilizaron otras partes del cuerpo



figura 2.3
Brazada. Unidad usada por los egipcios para medir la longitud.



figura 2.4
El pie es la unidad que usaron los ingleses para medir la longitud.

humano; el codo era la distancia desde el codo hasta el extremo del dedo medio; el palmo o la cuarta era la distancia entre el extremo del dedo pulgar y el meñique al estar abierta la mano. La elección de la unidad de medida de longitud se convirtió en una cuestión de prestigio, pues era inconcebible que una nación utilizara la medida de alguna parte del cuerpo del soberano de otro país (figura 2.4). Por tanto, cada vez se crearon más unidades diferentes, y cada país poderoso tenía sus propias medidas. Es fácil imaginar el desconcierto reinante en esos tiempos para el comercio entre los pueblos.

Cuando Roma se integra en un imperio y conquista muchos territorios (siglo II a. C. al siglo IV d. C.) trata de poner orden a la diversidad de unidades y establece la libra como unidad de peso y el pie como unidad de longitud; para ello, modela un cuerpo representativo del peso de una libra patrón y una barra de bronce que muestre la longitud equivalente al pie. Por primera vez existía una misma forma de pesar y de medir longitudes.

Cuando se dio la decadencia del Imperio Romano y el poder político y económico que ejercía quedó en ruinas, nuevamente surgió la anarquía en las unidades de medida, la cual duró todo el periodo de la Edad Media (siglo V al siglo XV d. C.). Fue hasta 1790 cuando la Asamblea Constituyente de Francia, por medio de la Academia de Ciencias de París, extendió una invitación a los países para enviar a sus hombres de ciencia con el objeto de unificar los sistemas de pesas y medidas, y adoptar uno solo para todo el mundo.

Sistema Métrico Decimal

El primer sistema de unidades bien definido que hubo en el mundo fue el Sistema Métrico Decimal, implantado en 1795 como resultado de la Convención Mundial de Ciencia celebrada en París, Francia; este sistema tiene una división decimal y sus unidades fundamentales son: el metro, el kilogramo-peso y el litro. Además, para definir las unidades fundamentales utiliza datos de carácter general, como las dimensiones de la Tierra y la densidad del agua.

A fin de encontrar una unidad patrón para medir longitudes se dividió un meridiano terrestre en 40 millones de partes iguales y se le llamó metro a la longitud de cada parte (figura 2.5). Por tanto, definieron al metro como la cuarenta millonésima parte del meridiano terrestre. Una



figura 2.5
Para medir longitudes se dividió un meridiano terrestre en 40 millones de partes iguales.

vez establecido el metro como unidad de longitud, sirvió de base para todas las demás unidades que constituyeron al Sistema Métrico Decimal, derivado de la palabra metro que quiere decir medida.

Una ventaja importante del Sistema Métrico fue su división decimal, ya que mediante el uso de prefijos como deci, centi o mili, que son algunos de los submúltiplos de la unidad, podemos referirnos a decímetro, como la décima parte del metro (0.1 m); a centímetro, como la centésima parte (0.01 m); y a milímetro, como la milésima parte del metro (0.001 m). Lo mismo sucede para el litro o el kilogramo, de manera que al hablar de prefijos como deca, hecto o kilo, mismos que son algunos de los múltiplos de la unidad, podemos mencionar al decámetro, hectómetro o kilómetro como equivalentes a 10 100 o 1 000 metros, respectivamente.

Sistema Cegesimal o CGS

En 1881, como resultado del gran desarrollo de la ciencia y por supuesto de la Física, se adopta en el Congreso Internacional de los Electricistas, realizado en París, Francia, un sistema llamado absoluto: el Sistema Cegesimal o CGS propuesto por el físico alemán Karl Gauss. En dicho sistema las magnitudes fundamentales y las unidades propuestas para las mismas son: para la longitud el centímetro, para la masa el gramo y para el tiempo el segundo. En ese entonces ya se observaba la diferenciación entre los conceptos de masa y peso de un objeto o cuerpo físico, porque se tenía claro que el peso era el resultado de la fuerza de atracción gravitacional ejercida por la Tierra sobre la masa de los cuerpos.

Sistema MKS

En 1935, en el Congreso Internacional de los Electricistas celebrado en Bruselas, Bélgica, el ingeniero italiano Giovanni Giorgi propone y logra que se acepte su sistema, también llamado absoluto, pues como magnitud fundamental se habla de la masa y no del peso de los cuerpos; este sistema recibe el nombre de MKS, cuyas iniciales corresponden al metro, al kilogramo y al segundo como unidades de longitud, masa y tiempo, respectivamente.

Sistema Internacional de Unidades (SI)

En virtud de que en el mundo científico se buscaba uniformidad en un solo sistema de unidades que resultara práctico, claro y acorde con los avances de la ciencia, en 1960 científicos y técnicos de todo el mundo se reunieron en Ginebra, Suiza, y acordaron adoptar el llamado: Sistema Internacional de Unidades (SI). Este sistema se basa en el llamado MKS, cuyas iniciales corresponden a metro, kilogramo y segundo. El Sistema Internacional establece que son siete magnitudes fundamentales mismas que se señalarán en seguida, con sus respectivas unidades de medida: para longitud el metro (m), para masa el kilogramo (kg), para tiempo el segundo (s), para temperatura el kelvin (K), para intensidad de corriente eléctrica el ampere (A), para intensidad luminosa la candela (*cd*) y para cantidad de sustancia el mol. Ver cuadro 2.1. Las definiciones del metro, kilogramo y segundo se dan a continuación:

Metro patrón

La definición actual del metro patrón corresponde a la longitud recorrida por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de 1/299 792 458 de segundo. Esta nueva definición más precisa del metro patrón elimina la anterior que correspondía a 1 650 763.73 veces la longitud de la onda emitida por el átomo de criptón de masa atómica 86, durante el salto de un electrón entre los niveles 2_p^{10} y 5_d^5 y a lo largo de una descarga eléctrica.

Kilogramo patrón

Primero se definió como la masa de un decímetro cúbico de agua pura en su máxima densidad (4 °C). Su definición actual es la siguiente: un kilogramo patrón equivale a la masa de un cilindro hecho de platino e iridio, el cual se conserva como modelo en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas localizada en París, Francia (figura 2.6).

Segundo patrón

Se definió como la 1/86 400 parte del día solar medio y como la 1/31 556 962 parte del primer año trópico del siglo XX (1900). Actualmente se define como la duración de 9 192 631 770 ciclos de la radiación de cierta transición del electrón en el átomo de cesio de masa atómica 133.

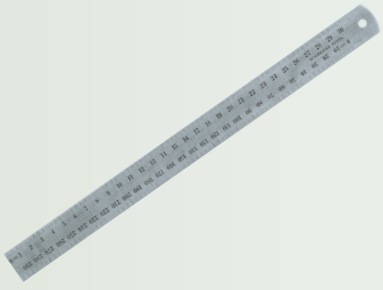






figura 2.6

El Sistema Internacional utiliza el metro, kilogramo y segundo como unidades de longitud, masa y tiempo, respectivamente.

El empleo del SI como único sistema que el hombre utilice a nivel científico y comercial en todo el mundo, representa no sólo el avance de la ciencia, sino también la posibilidad de emplear un lenguaje específico para expresar cada magnitud física en una unidad de medida basada en definiciones precisas respecto a fenómenos y situaciones naturales. Con el uso del SI ya no interpretaremos longitudes en pies, millas, yardas, pulgadas, millas marinas, millas terrestres o leguas, pues con el metro y los prefijos expuestos en el cuadro 2.2 podemos expresar cualquier longitud por pequeña o grande que sea. Lo mismo sucede para la masa, en la cual en lugar de onzas, libras y toneladas sólo emplearemos al kilogramo con sus múltiplos y submúltiplos, cuyos prefijos son los mismos del metro y de las diferentes unidades de medida. Esperemos que en poco tiempo, con el progreso de la ciencia y de la humanidad, el único sistema utilizado por sus múltiples ventajas sea el Sistema Internacional de Unidades.

Actualmente, aún se utiliza, sobre todo en Estados Unidos, el Sistema Inglés (pie, libra y segundo). En nuestro país, además del Sistema Internacional, aún usamos por aspectos comerciales, el Sistema Inglés, y también el Sistema CGS; además de los llamados Sistemas Gravitacionales, Técnicos o de Ingeniería que en lugar de masa se refieren al peso como unidad fundamental. Por ejemplo, es muy común expresar nuestro peso en kilogramos fuerza (kg_f), en lugar de expresarlo en newtons (N). En las estaciones de servicio, la presión de las llantas se mide en libras fuerza por pulgada cuadrada ($\ell b_f/pulg^2$) en lugar de newtons por metro cuadrado (N/m^2).

3 Magnitudes fundamentales y derivadas

Reciben el nombre de magnitudes fundamentales aquellas que no se definen en función de otras magnitudes físicas y, por tanto, sirven de base para obtener las demás magnitudes utilizadas en la Física (figura 2.7) y que reciben el nombre de magnitudes derivadas. Así pues, las magnitudes derivadas resultan de multiplicar o dividir entre sí las magnitudes fundamentales. Por ejemplo: al multiplicar la magnitud fundamental longitud por sí misma nos da como resultado longitud al cuadrado ($LL = L^2$) equivalente a la magnitud derivada llamada área o superficie. Al multiplicar longitud por longitud por longitud obtenemos longitud al cubo ($LLL = L^3$), la cual corresponde a una magnitud derivada que es el volumen. Si dividimos la longitud entre el tiempo, obtenemos la magnitud derivada llamada velocidad ($L/T = LT^{-1} = v$). Lo mismo sucede con la aceleración, fuerza, trabajo y energía, presión, potencia, densidad, etc., que reciben el nombre de magnitudes derivadas porque se obtienen a partir de las fundamentales.

En el Sistema Internacional existen siete magnitudes fundamentales: longitud, masa, tiempo, temperatura, intensidad de corriente eléctrica, intensidad luminosa y cantidad de sustancia.



figura 2.7

El tiempo, la longitud y la masa son ejemplos de magnitudes fundamentales.

4 Sistemas de Unidades Absolutos

Reciben el nombre de Sistemas de Unidades Absolutos aquellos que como una de sus magnitudes fundamentales utilizan a la masa y no al peso, ya que éste es considerado una magnitud derivada. En el cuadro 2.1 se tienen algunas magnitudes y sus unidades en el Sistema Internacional (SI), el Sistema CGS y el Sistema Inglés, todos ellos sistemas absolutos. Observemos que en este cuadro sólo se trabaja con tres magnitudes fundamentales: longitud, masa y tiempo, y todas las demás son derivadas de ellas, pues se obtienen al multiplicar o dividir entre sí a esas tres magnitudes.

Como se puede observar los símbolos de las unidades se escriben con minúsculas a menos de que se trate de nombres propios, en tal caso será con mayúsculas; los símbolos se anotan en singular y sin punto. Por tanto, debemos escribir para kilogramo: kg y no Kg; para kilómetro: km y no Km; para gramo: g y no gr; para newton: N y no n ni Nw. Mediante el empleo de prefijos y sus respectivos

cuadro 2.1	Algunas magnitudes fundamentales y derivadas y sus unidades de medida		
Magnitud	SI	CGS	Inglés
Longitud	metro (m)	centímetro (cm)	pie
Masa	kilogramo (kg)	gramo (g)	libra (ℓb)
Tiempo	segundo (s)	segundo (s)	segundo (s)
Área o superficie	m^2	cm^2	pie^2
Volumen	m^3	cm^3	pie^3
Velocidad	m/s	cm/s	pie/s
Aceleración	m/s^2	cm/s^2	pie/s^2
Fuerza	$kg\ m/s^2$ = newton	$g\ cm/s^2$ = dina	libra pie/s^2 = poundal
Trabajo y energía	Nm = joule	dina cm = ergio	poundal pie
Presión	N/m^2 = pascal	dina cm^2 = baria	poundal/pie^2
Potencia	joule/s = watt	ergio/s	poundal pie/s

símbolos, aceptados internacionalmente, podemos obtener múltiplos y submúltiplos para las diferentes unidades de medida. En el cuadro 2.2 se presentan algunos de los prefijos más usados por el Sistema Internacional, así como su símbolo y equivalencia respectiva.

cuadro 2.2	Prefijos usados para el sistema internacional		
Prefijo	Símbolo	Valor	Equivalencia en unidades
exa	E	1×10^{-18}	trillón
peta	P	1×10^{-15}	mil billones
tera	T	1×10^{12}	billón
giga	G	1×10^{9}	mil millones
mega	M	1×10^{6}	millón
kilo	k	1×10^{3}	mil
hecto	h	1×10^{2}	cien
deca	da	1×10	diez
unidad	1	1	uno
deci	d	1×10^{-1}	décima
centi	c	1×10^{-2}	centésima
mili	m	1×10^{-3}	milésima
micro	μ	1×10^{-6}	millonésima
nano	n	1×10^{-9}	mil millonésima
pico	p	1×10^{-12}	billonésima
femto	f	1×10^{-15}	mil billonésima
atto	a	1×10^{-18}	trillonésima

De manera que si decimos kilogramo, kilómetro, kilosegundo y kilopié, nos referimos a mil gramos, mil metros, mil segundos y mil pies, respectivamente. Si mencionamos nanómetro, nanogramo, nanosegundo y nanopié, hablamos de mil millonésima de metro, mil millonésima de gramo, mil millonésima de segundo y mil millonésima de pie, respectivamente (figura 2.8).

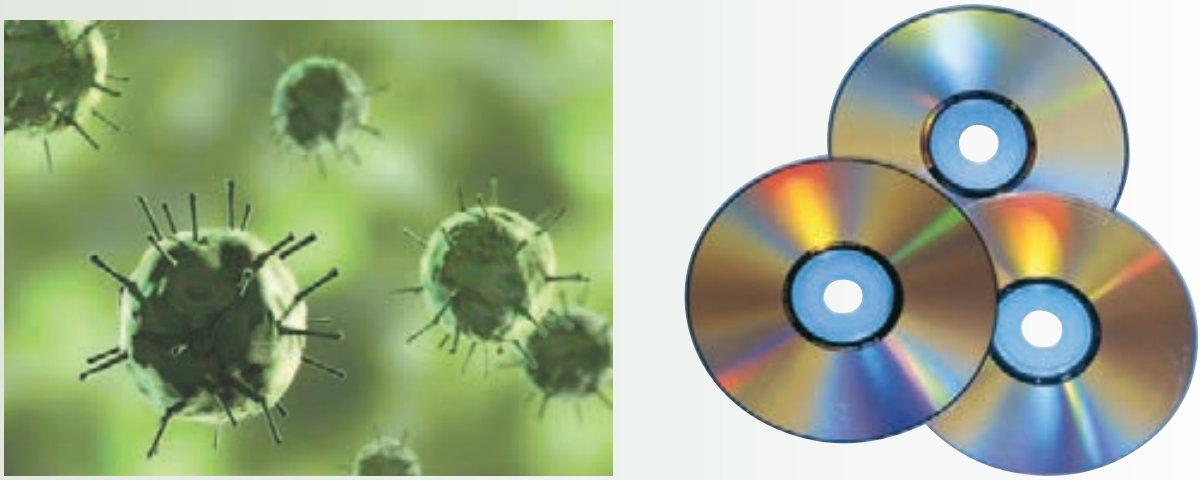


figura 2.8

Las bacterias se miden usando el prefijo nano, mientras que la capacidad de almacenaje de un disco compacto se mide en megas.

5 Sistemas de Unidades Técnicos o Gravitacionales

Además de los tres Sistemas de Unidades Absolutos ya señalados, existen los Sistemas de Unidades Técnicos, también llamados Gravitacionales o de Ingeniería, mismos que se caracterizan porque utilizan el peso como magnitud fundamental y a la masa la consideran una magnitud derivada (figura 2.9).

El Sistema MKS Técnico o Gravitacional (MKSg) y el Sistema Británico Gravitacional (Sbg) o Sistema Inglés Técnico son los más utilizados; ambos tienden a desaparecer por la complejidad de su manejo, dando paso al Sistema Internacional de Unidades (SI) de cuyas ventajas cada día se convencen más los británicos y los estadounidenses, quienes aún no lo adoptan por completo.



figura 2.9

El Sistema MKSg utiliza el peso como magnitud fundamental y a la masa la considera una magnitud derivada.

En el cuadro 2.3 se enlistan algunas magnitudes y sus respectivas unidades en los sistemas MKSg y Sbg.

La equivalencia entre la unidad de peso o fuerza en el MKSg y el Sbg es la siguiente:

cuadro 2.3	Algunas magnitudes y unidades manejadas en los sistemas MKSg y Sbg	
Magnitud	MKSg	Sbg
Longitud	metro (m)	pie
Peso o fuerza	kilogramo-fuerza (kg_f)	libra-fuerza (ℓb_f)
Tiempo	segundo (s)	segundo (s)
Velocidad	m/s	pie/s
Aceleración	m/s^2	pie/s^2
Masa $= \frac{F}{a}$	$kg_f/m/s^2$ (utm)	ℓb_f/ pie/s^2 (slug)
Trabajo y energía	$kg_f m$(kilográmetro)	$\ell b_f m$
Presión	$kg_f m/m^2$	$\ell b_f m/m^2$
Potencia	$kg_f m/s$	$\ell b_f m/s$

$$1\ kg_f = 2.2\ \ell b_f$$
$$1\ \ell b_f = 0.454\ kg_f$$

Un kg_f es la magnitud de fuerza que le imprime a una masa de 1 kg una aceleración cuya magnitud es de 9.8 m/s^2. Por tanto, utilizando la expresión $F = ma$ tenemos:

$$1\ kg_f = 1\ kg \times 9.8\ m/s^2 = 9.8\ kg\ m/s^2$$

donde: $1\ kg_f = 9.8$ N

Una ℓb_f es aquella magnitud de fuerza que le imprime a una masa de una libra, o sea, 0.454 kg, una aceleración cuya magnitud es de 32.17 pies/s^2 equivalente a 9.8 m/s^2. Utilizando la expresión $F = ma$, calculamos la equivalencia de 1 ℓb_f a newtons:

$$1\ \ell b_f = 0.454\ kg \times 9.8\ m/s^2 = 4.45\ N$$

Con las equivalencias anteriores podemos transformar unidades de fuerza de los Sistemas de Unidades Absolutos a Técnicos o Gravitacionales y viceversa.

Es importante observar en el cuadro 2.3 que la masa en los Sistemas Técnicos es una magnitud derivada y no fundamental, cuyas unidades se obtienen mediante la relación $m = F/a$. Así, para el sistema MKSg tenemos:

$$m = \frac{F}{a} = \frac{kg_f}{m/s^2} = utm$$

La utm es la unidad técnica de masa y se define como la masa a la cual una fuerza cuya magnitud es de 1 kg_f le imprimirá una aceleración cuya magnitud es de 1 m/s^2.

Para el Sistema Inglés Técnico (Sbg) tenemos:

$$m = \frac{F}{a} = \frac{\ell b_f}{pie/s^2} = slug$$

El slug es la masa a la que una fuerza cuya magnitud es de 1 ℓb_f imprimirá una aceleración cuya magnitud es de 1 pie/s^2.

6 Transformación de unidades de un sistema a otro

En virtud de la existencia de varios sistemas de unidades, todos ellos de uso actual, frecuentemente es necesario transformar unidades de un sistema a otro; para ello, es indispensable tener presentes las siguientes equivalencias:

1 m	=	100	cm
1 m	=	1 000	mm
1 cm	=	10	mm
1 km	=	1 000	m
1 m	=	3.28	pies
1 m	=	1.093	yardas
1 pie	=	30.48	cm
1 pie	=	12	pulgadas
1 pulg	=	2.54	cm
1 milla	=	1.609	km
1 libra	=	454	g
1 kg	=	2.2	libras
1 cm^3	=	1	ml
1 litro	=	1 000	cm^3
1 litro	=	1	dm^3
1 galón	=	3.785	litros
1 N	=	1×10^5	dinas
1 kg_f	=	9.8 N	
1 lb_f	=	0.454 kg_f	
1 ton	=	10^3 kg	

Al conocer estas equivalencias podemos hacer transformaciones, empleando el **método llamado de multiplicar por uno**, mismo que explicaremos a continuación:

Transformar 5 m *a* cm

Paso 1.

Se escribe la cantidad con la unidad de medida que se desea transformar:

5 m

Paso 2.

Se pone el signo de multiplicación y una raya de quebrado, ambos signos nos indicarán que haremos dos operaciones, una de multiplicación y otra de división.

$$5\ m \times \frac{\qquad}{\qquad}$$

Paso 3.

Recordamos la equivalencia unitaria entre las dos unidades involucradas, es decir, la que vamos a transformar y la que deseamos obtener; con ello encontraremos el llamado **factor de conversión**. En este paso siempre tendremos la posibilidad de recordar cualquiera de las dos maneras de expresar las equivalencias que existen entre dos unidades de medida. En nuestro caso, tenemos que 1 m = 100 cm, o bien, 1 cm = 0.01 m. Estas dos equivalencias proporcionan dos factores de conversión, que son los siguientes:

$$\frac{1\ m}{100\ cm} \text{ y } \frac{1\ cm}{0.01\ m}$$

mismos que también pueden escribirse como:

$$\frac{100\ m}{1\ cm} \text{ y } \frac{0.01\ m}{1\ cm}$$

Como en cualquiera de los factores de conversión dividimos una cantidad entre otra cantidad del mismo valor, pero, expresada en diferente unidad de medida, **el cociente da un valor igual a uno,** de ahí el nombre del método, es decir, de **multiplicar por uno.**

Paso 4.

Una vez obtenido cualquiera de los dos factores de conversión, bastará seleccionar aquel en que al hacer nuestras operaciones pueda eliminarse la unidad que se desea convertir:

$$5\ \cancel{m} \times \frac{100\ \text{cm}}{1\ \cancel{m}} = \frac{5 \times 1 \times 10^2\ \text{cm}}{1} = 500\ \text{cm}$$

o bien

$$5\ \cancel{m} \times \frac{1\ \text{cm}}{0.01\ \cancel{m}} = 5 \times \frac{1\ \text{cm}}{1 \times 10^{-2}} = 500\ \text{cm}$$

Resolución de problemas de transformación de unidades lineales

1 Transformar 6 km a m

Solución:

Paso 1. 6 km

Paso 2. 6 km × ————

Paso 3. 1 km = 1000 m = 1×10^3 m; o bien, 1 m = 0.001 km = 1×10^{-3} km, de donde, los dos factores de conversión son:

$$\frac{1 \times 10^3\ \text{m}}{1\ \text{km}} \text{ y } \frac{1\ \text{m}}{1 \times 10^{-3}\ \text{km}}$$

Paso 4. $6\ \text{km} \times \frac{1 \times 10^3\ \text{m}}{1\ \text{km}} = 6 \times 10^3\ \text{m}$

o bien: $6\ \text{km} \times \frac{1\ \text{m}}{1 \times 10^{-3}\ \text{km}} = 6 \times 10^3\ \text{m}$

2 Transformar 5 pies a m

Solución:

Paso 1. 5 pies

Paso 2. 5 pies × ————

Paso 3. 1 m = 3.28 pies ∴ el factor de conversión es: $\frac{1\ \text{m}}{3.28\ \text{pies}}$

Paso 4. $5\ \text{pies} \times \frac{1\ \text{m}}{3.28\ \text{pies}} = 1.52\ \text{m}$

3 Transformar 60 kg_f a N

Solución:

Paso 1. 60 kg_f

Paso 2. 60 kg_f × ————

Paso 3. 1 kg_f = 9.8 N ∴ el factor de conversión es: $\frac{9.8\ \text{N}}{1\ kg_f}$

Paso 4. $60\ kg_f \times \frac{9.8\ \text{N}}{1\ kg_f} = 588\ \text{N}$

Cuando se requiere transformar una magnitud como la velocidad, la cual implica una relación de longitud entre tiempo, el procedimiento es igual al anterior sólo que habrá dos factores de conversión:

4 Transformar $10\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$ a $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Solución:

Paso 1. $10\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Paso 2. $10\ \frac{\text{km}}{\text{h}} \times$ ———— × ————

Paso 3. 1 km = 1 000 m y 1 h = 3 600 s ∴ los dos factores de conversión son:

$$\frac{1 \times 10^3\ \text{m}}{1\ \text{km}} \text{ y } \frac{1\ \text{h}}{3.6 \times 10^3\ \text{s}}$$

Paso 4. $10\ \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1 \times 10^3\ \text{m}}{1\ \text{km}} \times \frac{1\ \text{h}}{3.6 \times 10^3\ \text{s}} = 2.77\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

5 Transformar $2\ \frac{\text{millas}}{\text{h}}$ a $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Solución:

Paso 1. $2\ \frac{\text{millas}}{\text{h}}$

Paso 2. $2\ \frac{\text{millas}}{\text{h}} \times$ ———— × ————

Paso 3. 1 milla = 1609 m y 1 h = 3600 s ∴ los dos factores de conversión son:

$$\frac{1.609 \times 10^3\ \text{m}}{1\ \text{milla}} \text{ y } \frac{1\ \text{h}}{3.6 \times 10^3\ \text{s}}$$

Paso 4. $2\ \frac{\text{millas}}{\text{h}} \times \frac{1.609 \times 10^3\ \text{m}}{1\ \text{milla}} \times \frac{1\ \text{h}}{3.6 \times 10^3\ \text{s}} = 0.89\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Ejercicios propuestos

Transformar:

1. 1.5 km a m
2. 3 000 m a km
3. 8 m a cm
4. 25 cm a m
5. 15 pies a m
6. 35 m a pies
7. 12 kg a libras
8. 30 pulg a cm
9. 15 m a yardas
10. 100 millas a km
11. 0.5 litros a cm^3
12. 10 dm^3 a litros
13. 3 galones a litros
14. $300\frac{m}{s}$ a $\frac{km}{h}$
15. $80\frac{km}{h}$ a $\frac{m}{s}$
16. $12\frac{millas}{h}$ a $\frac{m}{s}$
17. $10\frac{km}{h}$ a $\frac{milla}{h}$
18. $80\frac{pies}{s}$ a $\frac{km}{h}$
19. 50 kg_f a N

Resolución de problemas de transformación de unidades cuadráticas y cúbicas

Cuando las unidades que se desean transformar no son lineales como la longitud, sino cuadráticas o cúbicas como la superficie y el volumen, respectivamente, el método de transformación es el mismo, sólo **debemos encontrar el factor de conversión.**

1. Transformar 0.5 m^2 a cm^2

   Solución:

   Como 1 m = 100 cm, para encontrar a cuánto equivale 1 m^2 en cm^2 basta con elevar al cuadrado cada miembro de la igualdad, así:

   $(1\ m)^2 = (100\ cm)^2$

   donde: $1\ m^2 = 10\,000\ cm^2 = 1 \times 10^4\ cm^2$

   por tanto: $0.5\ m^2 \times \frac{1 \times 10^4\ cm^2}{1\ m^2} = 0.5 \times 10^4\ cm^2$

2. Transformar 3.5 m^2 a $pies^2$

   Solución:

   1 m = 3.28 pies

   $(1\ m)^2 = (3.28\ pies)^2$

   donde: $1\ m^2 = 10.758\ pies^2$

   por tanto: $3.5\ m^2 \times \frac{10.758\ pies^2}{1\ m^2} = 37.653\ pies^2$

3. Transformar 3 m^3 a cm^3

   Solución:

   Como 1 m = 100 cm, para encontrar a cuánto equivale 1 m^3 en cm^3 basta con elevar al cubo cada miembro de la igualdad, así: $(1\ m)^3 = (100\ cm)^3$

   donde: $1\ m^3 = 1\,000\,000\ cm^3 = 1 \times 10^6\ cm^3$

   por tanto: $3\ m^3 \times \frac{1 \times 10^6\ cm^3}{1\ m^3} = 3 \times 10^6\ cm^3$

4. Transformar 10 m^3 a $pies^3$

   Solución:

   1 m = 3.28 pies

   $(1\ m)^3 = (3.28\ pies)^3$

   donde: $1\ m^3 = 35.287\ pies^3$

   por tanto: $10\ m^3 \times \frac{35.287\ pies^3}{1\ m^3} = 352.87\ pies^3$

5. Transformar $2\frac{pies^3}{s}$ a $\frac{cm^3}{s}$

   Solución:

   1 pie = 30.48 cm

   $(1\ pie)^3 = (30.48\ cm)^3$

   donde: $1\ pie^3 = 28316.8\ cm^3 = 2.83 \times 10^4\ cm^3$ por tanto: $2\frac{pies^3}{s} \times \frac{2.83 \times 10^4\ cm^3}{1\ pie^3} = 5.66 \times 10^4\ \frac{cm^3}{s}$

Ejercicios propuestos

Transformar:

1. 1.5 cm^2 a mm^2
2. 35 mm^2 a cm^2
3. 3 m^2 a cm^2
4. 0.8 m^2 a cm^2
5. 200 cm^2 a m^2
6. 5 $pies^2$ a m^2
7. 18 m^3 a cm^3
8. 5 m^3 a litros
9. 1 000 ℓ a m^3
10. 30 m^3 a $pies^3$
11. 150 $pies^3$ a m^3
12. 35 $\frac{pies^3}{s}$ a $\frac{cm^3}{s}$

Resolución de problemas de transformación de unidades de temperatura

Para transformar unidades de temperatura de un sistema a otro, tenemos las siguientes expresiones:

1. De grados Celsius a Kelvin:

   $K = °C + 273$

2. De Kelvin a grados Celsius:

   $°C = K - 273$

3. De grados Celsius a grados Fahrenheit:

   $°F = 1.8\ °C + 32$

4. De grados Fahrenheit a grados Celsius:

   $°C = \frac{°F - 32}{1.8}$

1. Transformar 100 °C a K

   Solución:

   Como tenemos 100 °C, de la expresión: K = °C + 273, se obtiene: K = 100 °C + 273 = 373 K.

2. Transformar 273 K a °C

   Solución:

   De la expresión: °C = K − 273, al sustituir los 273 K se tiene: °C = 273 K − 273 = 0 °C.

3. Transformar 0 °C a °F

   Solución:

   Al sustituir los 0 °C en la expresión No. 3 anterior, tenemos: °F = 1.8 × 0 °C + 32 = 32 °F.

4. Transformar 212 °F a °C

   Solución:

   Al sustituir los 212 °F en la expresión No. 4 tenemos:

   $°C = \frac{212\ °F - 32}{1.8} = 100\ °C$

Ejercicios propuestos

Transformar:

1. 60 °C a K
2. 110 °C a K
3. 380 K a °C
4. 210 K a °C
5. 60 °C a °F
6. 98 °C a °F
7. 50 °F a °C
8. 130 °F a °C

7 Ecuaciones y análisis dimensionales

Como sabemos, los valores de las magnitudes físicas dependen del sistema de unidades utilizado; sin embargo, hay diferentes sistemas de unidades, por ello cualquier magnitud física puede expresarse en distintas unidades según la escala en que esté graduado el instrumento de medición. Así, una distancia se puede expresar en metros, kilómetros, centímetros o pies, sin importar cuál sea la unidad empleada para medir la cantidad física de distancia, pues todas ellas se refieren a una dimensión fundamental llamada longitud, representada por L. De igual manera, para expresar cantidad de materia se puede utilizar al g, kg o libra, ya que todas estas unidades se refieren a la dimensión fundamental llamada masa, representada por M. La otra dimensión que se utiliza para el estudio de la mecánica es el tiempo, la cual se representa por T. **La combinación de estas dimensiones fundamentales nos lleva a la obtención de varias de las llamadas dimensiones derivadas.**

El buen manejo de las dimensiones de las magnitudes físicas en una ecuación o fórmula física nos permite comprobar si son correctas y si se trabajaron debidamente. Al aplicar una ecuación o fórmula física, debemos recordar dos reglas:

1. Las dimensiones de las magnitudes físicas a ambos lados del signo de igualdad deben ser las mismas.
2. Sólo pueden sumarse o restarse magnitudes físicas de la misma dimensión.

Partiendo de las dimensiones: longitud (L), masa (M) y tiempo (T), obtendremos las ecuaciones dimensionales de algunas magnitudes físicas. Los corchetes los usaremos para indicar dimensiones. Veamos:

a) Ecuación dimensional para el área:

$$[A] = \ell\,\ell = LL = L^2$$

b) Ecuación dimensional para el volumen:

$$[V] = \ell\,\ell\,\ell = LLL = L^3$$

c) Ecuación dimensional para la velocidad:

$$[v] = \frac{[\mathrm{d}]}{[\mathrm{t}]} = \frac{L}{T} = LT^{-1}$$

d) Ecuación dimensional para la aceleración:

$$[\mathrm{a}] = \frac{[v]}{[\mathrm{t}]} = \frac{\frac{L}{T}}{T} = \frac{L}{T^2} = LT^{-2}$$

e) Ecuación dimensional para la fuerza:

$$[F] = [m]\,[a] = MLT^{-2}$$

f) Ecuación dimensional para el trabajo y la energía:

$$[T] = [F]\,[d] = MLT^{-2}L = ML^2T^{-2}$$

Si conocemos las dimensiones de una magnitud física, podemos trabajar las unidades correspondientes según el sistema de unidades. Por ejemplo, sabemos que las dimensiones para la fuerza son: M, L y T^{-2}, lo cual indica que para M utilizaremos el kilogramo, para L el metro y para T el segundo si el sistema es el SI:

$$MLT^{-2} = \mathrm{kg}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = \text{newton} = \mathrm{N}$$

El newton es la unidad de fuerza en el SI y se define de la siguiente manera: se aplica una fuerza cuya magnitud es de un newton cuando a un cuerpo cuya masa es de un kilogramo se le imprime una aceleración cuya magnitud es de un metro por segundo al cuadrado.

En el CGS tenemos:

$$MLT^{-2} = \mathrm{g}\,\frac{\mathrm{cm}}{\mathrm{s}^2} = \text{dina}$$

La dina es la unidad de fuerza en el sistema CGS y se define de la siguiente manera: se aplica una fuerza cuya magnitud es de una dina cuando a un cuerpo cuya masa es de un gramo se le imprime una aceleración cuya magnitud es de un centímetro por segundo al cuadrado.

Para obtener la equivalencia entre newtons y dinas, efectuamos la siguiente transformación de unidades:

$$\mathrm{kg}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\ \mathrm{a}\ \mathrm{g}\,\frac{\mathrm{cm}}{\mathrm{s}^2}$$

$$1\,\mathrm{kg}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \times \frac{1\times10^3\,\mathrm{g}}{1\,\mathrm{kg}} \times \frac{1\times10^2\,\mathrm{cm}}{1\,\mathrm{m}} = 1\times10^5\,\mathrm{g}\,\frac{\mathrm{cm}}{\mathrm{s}^2}$$

donde: $1\ \mathrm{N} = 1\times10^5$ dinas

o bien: 1 dina $= 1\times10^{-5}\,\mathrm{N}$

Al efectuar un análisis dimensional podemos comprobar si una fórmula física es correcta. Por ejemplo:

Demostrar que la fórmula $d = v_0t + \frac{at^2}{2}$ es dimensionalmente válida.

Solución:

Sustituyendo las magnitudes físicas por sus dimensiones tenemos que:

$$L = \frac{L}{T}T + \frac{L}{T^2}T^2 \therefore L = L$$

Dimensionalmente la fórmula es correcta, ya que se cumplen las dos reglas antes señaladas.

También existen magnitudes adimensionales, es decir, que carecen de dimensiones, por eso no tienen unidades de medida, tal es el caso de la densidad relativa (ρ_R) que

para obtenerla dividimos unidades de densidad entre unidades de densidad, dando como resultado una cantidad adimensional. Veamos:

$$\rho_R = \frac{\text{densidad}}{\text{densidad}}$$

donde:

$$[\rho_R] = \frac{\frac{[m]}{[V]}}{\frac{[m]}{[V]}} = \frac{ML^{-3}}{ML^{-3}} = L^0M^0 = 1$$

8 Medición de diferentes magnitudes con métodos directos e indirectos

Al realizar la medición de diferentes magnitudes nos encontramos que algunas de ellas las podemos medir directamente, tal es el caso de la longitud de una mesa mediante el empleo de una regla graduada o el espesor de una moneda utilizando el calibrador vernier, cuya aproximación es de centésimas de centímetro. También podemos medir la masa de un objeto si utilizamos una balanza; el volumen de un líquido mediante el empleo de una probeta graduada, o el tiempo en que un automóvil recorre cierta distancia, empleando un reloj. Sin embargo, no siempre es posible realizar mediciones directas, por eso se requiere de mediciones indirectas para determinar el valor de una magnitud. Ejemplo, el volumen de un cuerpo irregular se calcula empleando una probeta graduada en la cual primero debemos agregar agua y luego leer su volumen inicial; posteriormente se introduce el cuerpo irregular que desplazará un volumen de líquido equivalente a su volumen; leemos el volumen final y mediante la diferencia de volúmenes en la probeta, conoceremos el volumen del cuerpo. Cabe señalar que si el cuerpo es poroso el agua penetrará por estas cavidades y el desplazamiento del líquido no corresponderá al volumen del cuerpo, por tanto el resultado será aproximado (figura 2.10). Otro ejemplo de método indirecto lo tenemos cuando empleamos un aparato llamado sonar para conocer la profundidad del mar en algún punto. El sonar consta de un emisor de sonidos, las ondas que envía se reflejan en el fondo y un colector recoge su eco, la distancia a la que se encuentra el fondo se calcula en función de la magnitud de la velocidad del sonido en el agua y el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción (figura 2.11). También calculamos el área de un rectángulo en forma indirecta si medimos su largo y después su ancho, para finalmente aplicar la fórmula largo por ancho igual al área.

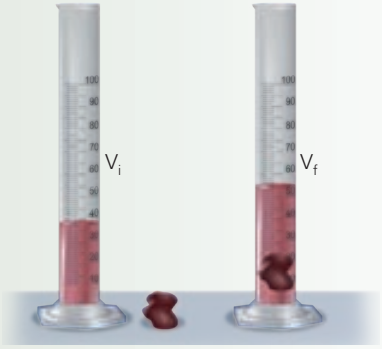


figura 2.10

Método indirecto para medir el volumen de un cuerpo rregular, empleando una probeta graduada.
Volumen del cuerpo = Volumen final V_f − Volumen inicial V_i.

De acuerdo con lo anterior, podemos decir que, cuando se determina el valor de una magnitud por medio de un método indirecto, generalmente se requiere realizar dos o más mediciones directas y, además, se efectúa una operación o cálculo matemático.



figura 2.11

Con el aparato llamado sonar se realiza el sondeo acuático para medir la profundidad del mar, según el tiempo que tarda en regresar el eco.

9 Análisis de errores en la medición

Entre el valor verdadero o exacto que tiene una magnitud cualquiera y el valor que se obtiene al medirla, siempre habrá una diferencia que recibe el nombre de error de medición o también el de incertidumbre de la medición Por tanto, al no ser posible una medición exacta debemos procurar reducir al mínimo el error,

empleando técnicas adecuadas y aparatos o instrumentos cuya precisión nos posibilite obtener resultados satisfactorios, mientras más precisa es la medición, menor será el error o incertidumbre de la medición. Una manera de acercarnos al valor real es repetir el mayor número de veces posible la medición y obtener la media aritmética o valor promedio de las mediciones, ya que el promedio de las mediciones es el valor representativo y más probable de dicho conjunto de mediciones. Así pues, no obstante que el valor real de una magnitud siempre será imposible precisarla con exactitud; cuando se le asigna un valor al error o incertidumbre que puede existir en una medición, se podrá tener la confianza de que el valor real se encuentra dentro del intervalo de la incertidumbre absoluta **del valor promedio o desviacion media**. Es por ello, que se necesita determinar dicha incertidumbre absoluta, para poder tener una idea del grado de confiabilidad de los datos obtenios al realizar las mediciones de una magnitud.

Causas de error en las mediciones

Los errores que se cometen al hacer una medición tienen su origen en diferentes causas, veamos:

Errores sistemáticos

Estos errores se presentan de manera constante a través de un conjunto de lecturas realizadas al hacer la medición de una magnitud determinada. Las fuentes o causas de este tipo de errores son:

a) **Defecto en el instrumento de medición.** Se produce, por ejemplo, al determinar el tiempo con un cronómetro que marche más rápido o más lento de lo debido.

b) **Mala calibración del aparato o instrumento usado**. Se da por fallas de fabricación.

c) **Error de escala.** Se produce por el rango de precisión del instrumento empleado, lo que provocará una incertidumbre en la medición.

Errores circunstanciales (estocásticos o aleatorios)

Este tipo de errores no se repiten regularmente de una medición a otra, sino que varían y sus causas se deben a los efectos provocados por las variaciones de presión, humedad y temperatura del ambiente sobre los instrumentos. Así, por ejemplo, con la temperatura la longitud de una regla puede variar ligeramente de una medición a otra; o una balanza sensible puede dar variaciones pequeñas al medir varias veces la masa de un cuerpo. Los errores circunstanciales pueden llamarse **estocásticos**, ya que son difíciles de apreciar debido a que son muy pequeños y se producen en forma irregular o estocástica de una medición a otra, es decir, azarosa. También se les da el nombre de error aleatorio porque son resultado de factores inciertos y, por tanto, tienen la misma posibilidad de ser positivos o negativos.

Otro ejemplo de error circunstancial es el error de paralaje. Éste se comete por una incorrecta postura del observador, la cual le impide hacer una adecuada lectura de la medición. Para evitar este error, la posición del ojo del observador debe estar justo sobre la lectura que realiza.

Precisión de los aparatos o instrumentos

La precisión de un aparato o instrumento de medición es igual a la mitad de la unidad más pequeña que pueda medir. También recibe el nombre de incertidumbre o **error del instrumento o aparato de medida**. Por ejemplo, si se realiza la medición de la masa utilizando una balanza que está graduada para leer valores hasta de décimas de gramo (0.1 g), la precisión, incertidumbre o error de la balanza será de: 0.05 g, ya sean de más o de menos ($\pm$ 0.05 g).

Si se utiliza un cronómetro construido para medir tiempos de centésimas de segundo (0.01 s), su precisión será de: $\pm$0.005 s.

Cuantificación del error en las mediciones

Para cuantificar el error que se comete al medir una magnitud, se consideran los siguientes tipos de errores:

Error absoluto o desviación absoluta, también recibe el nombre de incertidumbre absoluta
Es la diferencia entre el valor medido y el valor promedio.

Error relativo
Es el cociente entre el error absoluto o incertidumbre absoluta, y el valor promedio. (Se expresa en valores absolutos sin importar el signo del error absoluto.)

Error porcentual
Es el error relativo multiplicado por 100, con lo cual queda expresado en por ciento.

Resolución de problemas de medición

Los seis integrantes de un equipo de trabajo miden individualmente la longitud del laboratorio escolar y obtienen los siguientes datos:

1. 10.57 m
2. 10.58 m
3. 10.54 m
4. 10.53 m
5. 10.59 m
6. 10.57 m

Calcular:

a) El valor promedio de las mediciones.

b) El error absoluto o desviación absoluta de cada medición.

c) La desviación media o incertidumbre absoluta del valor promedio.

d) El error relativo de cada medición.

e) El error porcentual de cada medición.

Solución:

a) $$\text{Valor promedio} = \frac{\text{suma de todas las mediciones}}{\text{número de mediciones realizadas}} = \bar{x}$$

$$\Sigma \text{ de mediciones} = 10.57 \text{ m} + 10.58 \text{ m} + 10.54 \text{ m} + 10.53 \text{ m} + 10.59 \text{ m} + 10.57 \text{ m}$$

$$= 63.38 \text{ m}$$

$$\bar{x} = \frac{\Sigma \text{ de mediciones}}{\text{número de mediciones}} = \frac{63.38 \text{ m}}{6}$$

$$\bar{x} = 10.5633 \text{ m}$$

Como se observa, mientras las mediciones sólo tienen dos cifras decimales, el valor promedio tiene cuatro cifras decimales; por tanto, se debe redondear el valor promedio a fin de que su orden de magnitud y el de las mediciones sea el mismo. En este problema que estamos revisando, el redondeo se hará a dos cifras decimales. Para ello, se sigue el procedimiento denominado **redondeo de cifras**, en el cual, para obtener el número de cifras significativas de un cálculo, se redondea el valor al número de cifras significativas deseadas, eliminando uno o más dígitos a la derecha de acuerdo con las reglas siguientes:

1. Si el primer dígito a eliminar es menor a cinco, el dígito más próximo a su izquierda queda igual. Ejemplo: si se desean redondear 8.74 y 5.32 a dos cifras significativas quedarían como 8.7 y 5.3, respectivamente.
2. Si el primer dígito a eliminar es mayor o igual a cinco, el dígito más próximo a su izquierda se incrementa en una unidad. Ejemplos: 4.86 se redondea a 4.9; 9.75 se redondea a 9.8.

Con base en las reglas de redondeo de cifras nuestro valor promedio será:

$$\bar{x} = 10.56 \text{ m}$$

b) Error absoluto o desviación absoluta de cada una de las mediciones (también recibe el nombre de incertidumbre absoluta).

E_A = valor medido − valor promedio

1. $10.57 \text{ m} - 10.56 \text{ m} = 0.01 \text{ m}$
2. $10.58 \text{ m} - 10.56 \text{ m} = 0.02 \text{ m}$
3. $10.54 \text{ m} - 10.56 \text{ m} = -0.02 \text{ m}$
4. $10.53 \text{ m} - 10.56 \text{ m} = -0.03 \text{ m}$
5. $10.59 \text{ m} - 10.56 \text{ m} = 0.03 \text{ m}$
6. $10.57 \text{ m} - 10.56 \text{ m} = 0.01 \text{ m}$

Al calcular el error absoluto o desviación absoluta de cada medición nos permite saber cómo se encuentra dicha medición con respecto al valor promedio. Un error absoluto o desviación absoluta negativa indica que el valor de la medición es menor al valor promedio.

c) Desviación media o incertidumbre absoluta del valor promedio

Como el valor promedio no representa realmente el valor exacto de la magnitud medida, debemos hacer una estimación del error mediante la **desviación media** del conjunto de medidas con respecto al valor promedio; para ello, bastará con obtener la **media aritmética** de las distintas desviaciones. En nuestro caso, sumaremos los seis valores absolutos de las desviaciones, es decir, los seis errores absolutos sin considerar su signo, y después dividiremos entre seis. Veamos:

Σ de valores absolutos de las desviaciones = 0.01 m + 0.02 m + 0.02 m + 0.03 m + 0.03 m + 0.01 m = 0. 12 m

$$Dm = \frac{\Sigma \text{ de valores absolutos de las desviaciones}}{\text{número de valores}} = \frac{0.12 \text{ m}}{6}$$

$$Dm = 0.02 \text{ m}$$

Una vez determinada la desviación media, ésta se considera como la **incertidumbre absoluta** o **error absoluto** de nuestro valor promedio que es de 0.02 m. De donde concluimos que la longitud del laboratorio escolar se reportaría como:

$$10.56 \text{ m} \pm 0.02 \text{ m}$$

Lo anterior significa que si se realiza otra medición de la longitud del laboratorio escolar, dicha medida estaría comprendida entre 10.54 m y 10.58 m.

d) Error relativo de cada una de las mediciones

$$E_R = \frac{\text{Error absoluto o incertidumbre absoluta}}{\text{Valor promedio}}$$

1. $\frac{0.01 \text{ m}}{10.56 \text{ m}} = 0.000946$
2. $\frac{0.02 \text{ m}}{10.56 \text{ m}} = 0.001893$
3. $\frac{0.02 \text{ m}}{10.56 \text{ m}} = 0.001893$

4. $\frac{0.03\text{ m}}{10.56\text{ m}} = 0.002840$
5. $\frac{0.03\text{ m}}{10.56\text{ m}} = 0.002840$
6. $\frac{0.01\text{ m}}{10.56\text{ m}} = 0.000946$

e) Error porcentual de cada una de las mediciones

E_p = Error relativo × 100

1. $0.000946 \times 100 = 0.0946\%$
2. $0.001893 \times 100 = 0.1893\%$
3. $0.001893 \times 100 = 0.1893\%$
4. $0.002840 \times 100 = 0.2840\%$
5. $0.002840 \times 100 = 0.2840\%$
6. $0.000946 \times 100 = 0.0946\%$

Ejercicios propuestos

Al medir el tiempo que tarda en caer un cuerpo desde cierta altura, se encontraron los siguientes datos:

1. 2.56 s
2. 2.52 s
3. 2.54 s
4. 2.57 s
5. 2.59 s
6. 2.51 s

Calcular:

a) El valor promedio de las mediciones.

b) El error absoluto o incertidumbre absoluta, el error relativo y el porcentual para cada medición.

c) La desviación media o incertidumbre absoluta del valor promedio.

d) ¿Cómo reportaría el valor del tiempo que tarda en caer el cuerpo?

10 Estadística elemental en el análisis de mediciones

Como ya señalamos, no es posible efectuar una medición libre de error. Por ello, cuando se requiere llegar a resultados confiables se debe recurrir a algún método que permita reducir al mínimo el error o incertidumbre en la medición, para que al medir cualquier magnitud, pueda obtenerse un valor cuya precisión esté de acuerdo con nuestras necesidades.

Es recomendable repetir la misma medición el mayor número de veces posible, buscando condiciones de confiabilidad, además de tomar en cuenta que los errores sistemáticos pueden reducirse o eliminarse cuando se conoce su origen; mientras los errores circunstanciales o estocásticos serán los únicos existentes.

Con el objetivo de hacer el análisis y la interpretación de los datos numéricos obtenidos al efectuar diferentes mediciones de alguna magnitud, evento o fenómeno, se emplean los métodos estadísticos que pueden ser muy complejos o sencillos. En ellos se requiere ordenar un conjunto de datos en tablas, construir gráficas y calcular promedios. Para los fines de nuestro libro nos ocuparemos únicamente de los conceptos básicos de la estadística a fin de efectuar el análisis de mediciones. Veamos algunos conceptos:

Universo o población

Es el conjunto de datos o resultados obtenidos.

Muestra

Cuando la población es muy grande resulta práctico trabajar sólo con una parte seleccionada de los datos, la cual recibe el nombre de muestra.

Frecuencia

Es el número de veces que se repite un dato.

Rango

Es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de los datos.

Media aritmética

Es el valor promedio de todos los datos o valores obtenidos.

$$\bar{x} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \ldots + \bar{x}_n}{n}$$

donde: $\bar{x}$ = media aritmética

$x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$ = datos obtenidos

n = número de datos obtenidos

Moda

Es el dato que se repite con mayor frecuencia.

Mediana

Se determina ordenando los datos de acuerdo con su magnitud, de mayor a menor o viceversa, la mediana será el número que esté a la mitad.

Histograma

Un **histograma** se construye por medio de una **gráfica de barras**, misma que resulta de presentar en forma organizada la distribución de las frecuencias con que se repite cada uno de los datos o resultados obtenidos. Dicha gráfica de barras se construye en ejes rectangulares, es decir, en el plano cartesiano. Revisemos a continuación cuáles son las características de su construcción:

1. El eje de las *Y* o de las ordenadas, representa las frecuencias con que se repite cada uno de los datos o resultados obtenidos. El origen debe iniciarse con cero.
2. El eje de las *X* o de las abscisas, representa cada uno de los diferentes datos o resultados obtenidos, ordenados de manera creciente, es decir, de menor a mayor. El origen no requiere iniciar de cero, sino que puede ser a partir del dato de menor valor.
3. La parte más alta de la gráfica (eje vertical o *Y*) debe ser aproximadamente las tres cuartas partes del eje de las *X* o de las abscisas. Por ejemplo: si el eje de las *X* mide 10 cm, el eje de las *Y* medirá unos 7.5 centímetros.
4. Se debe evitar que las barras resulten muy anchas o excesivamente altas.
5. Todas las barras deben ser del mismo ancho.

Resolución de un problema de estadística en el análisis de mediciones

Al medir la masa de un cuerpo se encontraron los siguientes datos en gramos:

1 451	12 453	23 453
2 449	13 454	24 450
3 450	14 452	25 452
4 454	15 454	26 455
5 456	16 451	27 457
6 453	17 452	28 453
7 455	18 455	29 454
8 454	19 456	30 453
9 457	20 453	31 458
10 451	21 452	32 452
11 456	22 455	33 453

a) Ordenar los datos en forma creciente.

b) Determinar la frecuencia con que se repite cada valor.

c) Calcular la media aritmética, la moda y la mediana.

d) Construir una gráfica de barras e interpretar su significado.

Solución:

a)

1 449	12 453	23 454
2 450	13 453	24 455
3 450	14 453	25 455
4 451	15 453	26 455
5 451	16 453	27 455
6 451	17 453	28 456
7 452	18 453	29 456
8 452	19 454	30 456
9 452	20 454	31 457
10 452	21 454	32 457
11 452	22 454	33 458

b) Frecuencia de cada valor:

Masa (g)	Frecuencia	Masa (g) × Frecuencia
449	1	449
450	2	900
451	3	1 353
452	5	2 260
453	7	3 171
454	5	2 270
455	4	1 820
456	3	1 368
457	2	914
458	1	458
	Suma	14 963

c) Media aritmética: $\bar{x} = \dfrac{14\,963}{33} = 453$ g

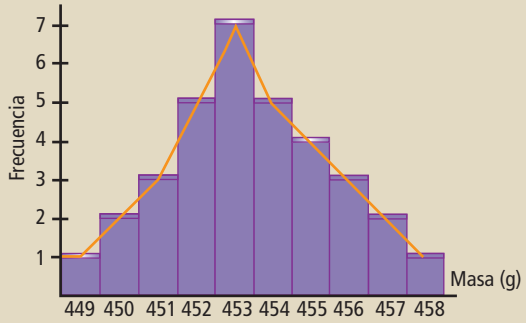
Moda = 453 g

Mediana = 453 g

d) Gráfica de barras e interpretación:

La gráfica de barras o histograma se construye al representar en el eje vertical, o *Y*, las frecuencias con que se repiten cada uno de los datos. Como el dato que más se repite (453 g), lo hace con una frecuencia de siete veces y el número de datos obtenidos diferentes entre sí es de 10 (de 449 a 458), una frecuencia de uno lo representaremos por un centímetro, de manera que la altura máxima de la gráfica, es decir, el eje *Y* mida 7 cm. Por su parte, cada dato representado en el eje *X* medirá 1 cm de ancho, de modo que el ancho total de dicho eje sea de 10 cm. Se grafica cada dato con su respectiva

frecuencia. Finalmente, se unen los puntos medios del extremo superior de cada barra y se hace su interpretación. Ver la gráfica siguiente:



Al unir los puntos medios del extremo superior de las barras, se observa un pico o máximo en la curva, el cual indica el dato repetido con mayor frecuencia, es decir, la moda que en nuestro caso coincide exactamente con el valor promedio o media aritmética y la mediana. Sin embargo, esto no es una generalidad, pues en muchos casos varían ligeramente entre sí. Alrededor de la moda están distribuidos en forma simétrica los demás datos y se observa que algunos se alejan notablemente de ella.

El dato de mayor confiabilidad es el correspondiente a la moda y alrededor del mismo existe una zona de datos considerados con un error moderado. La validez de los resultados dependerá de la viabilidad de ser repetidos bajo el mismo método y condiciones.

Actividad experimental 3

Medición de longitudes con el vernier y el palmer o tornillo micrométrico

Objetivo

Aprender a medir longitudes pequeñas con una mayor precisión mediante el uso del vernier y el palmer.

Consideraciones teóricas

La **precisión** de un aparato o instrumento de medición es igual a la mitad de la unidad más pequeña que pueda medir. También recibe el nombre de **incertidumbre o error del instrumento o aparato de medida**. Por ejemplo, cuando deseamos conocer el largo de una mesa, lo ancho de una ventana o la altura del piso al techo de una habitación, generalmente utilizamos un metro o una regla cuyas divisiones mínimas están hechas en milímetros (0.001 m), por lo que su precisión es de ± 0.5 mm o bien de ± 0.0005 m. Sin embargo, en muchas ocasiones se requiere de una mayor precisión cuando se necesita conocer las dimensiones pequeñas de algunos cuerpos, como el espesor de la pared de un cilindro, el diámetro de un alambre, el diámetro interno o externo de un tubo, o la profundidad de una perforación pequeña, y en donde el uso de una regla graduada no satisface nuestras necesidades. Podemos emplear entonces el **calibrador o vernier** cuya unidad más pequeña que puede medir es de una décima de mm (0.1 mm), por lo que su precisión es de ± 0.05 mm, o el **calibrador palmer**, también llamado **tornillo micrométrico**, cuya unidad más pequeña que puede medir es de una centésima de mm (0.01 mm), por lo que su precisión es de ± 0.005 mm. La realización de esta actividad experimental permitirá aprender a manipular estos útiles instrumentos de medición.

Material empleado

Un vernier, un palmer y algunos cuerpos pequeños para ser medidos (tornillo, alambre, moneda, balín, tubo de ensayo, hoja de papel, placa de vidrio, etc.).

Desarrollo de la actividad experimental

1. Observe el vernier que tiene en su mesa de trabajo, identifique el nombre de sus partes al compararlo con la figura 2.12 y comprobará la existencia de dos escalas, una fija y la otra móvil. La fija está dividida en milímetros y la móvil en diez partes iguales.

2. Junte totalmente las dos puntas del vernier y haga coincidir el cero de la escala móvil con el de la escala fija; observará que las 10 divisiones de la móvil corresponden a nueve milímetros de la fija, es decir, cada división equivale a 9/10 de milímetro. En realidad éste es el único detalle de construcción del vernier.

3. Con el propósito de aprender el manejo del **vernier**, observe la figura 2.12**.** En (a) se ha colocado un cilindro entre los topes para medir su diámetro. En (b) se aumentó la parte graduada donde se hace la lectura. La primera línea correspondiente al cero de la escala móvil indica en forma directa la parte entera en centímetros y milímetros de la

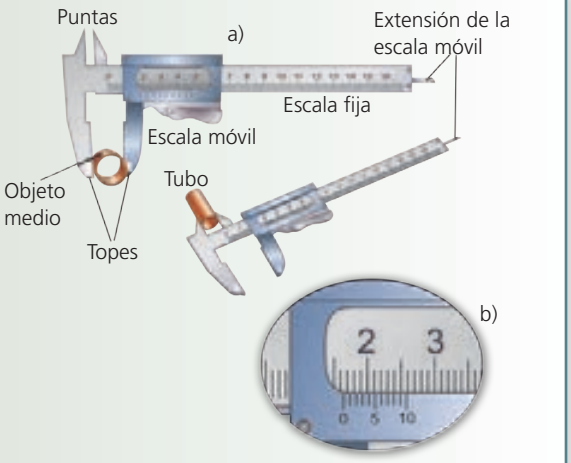


figura 2.12

El vernier o pie de rey sirve para medir pequeñas longitudes con una aproximación de 1/100 de cm, o bien, de 1/10 de mm por lo que su precisión es de ± 0.05 mm o bien de ± 0.005 cm.

medición, la cual según nuestro ejemplo es 1.6 cm y un poco más. El vernier permite obtener la cifra faltante, a fin de conocer el diámetro del cilindro hasta centésimas de centímetro (0.01 cm) o décimas de milímetro (0.1 mm). Para ello, basta identificar qué línea de la escala móvil coincide casi exactamente con una línea de la escala fija. La respuesta a esta pregunta es la línea seis, por tanto, el diámetro del cilindro es de 1.66 cm, o bien 16.6 mm ± 0.05 mm.

4. Ahora que conoce cómo se hace la lectura de una longitud pequeña mediante el uso del vernier, determine espesores, diámetros internos, externos y profundidades, y anote sus resultados. No olvide repetir cada medición el mayor número de veces posible, si el resultado varía un poco de una medición a otra, obtenga el valor promedio. Compare sus resultados con los obtenidos por sus compañeros de equipo que hayan determinado las medidas de los mismos cuerpos. Si hay diferencias notables vuelvan a realizar sus mediciones, detecten dónde está el error e intercambien comentarios.

5. Aprenda ahora a usar el **palmer o tornillo micrométrico**; para ello, examine el que tiene en su mesa de trabajo e identifique el nombre de sus partes al confrontarlo con la figura 2.13. Este instrumento consta de un marco en forma de U, en la parte interna de uno de sus extremos tiene un tope fijo y por el otro penetra un tornillo, el cual por cada paso o vuelta completa del tambor avanza generalmente medio milímetro. Tiene dos escalas, una paralela al eje del tornillo graduado en milímetros y otra dividida en varias partes iguales al borde del tambor, es decir, en el nonio. A continuación gire el tambor hasta que pueda ver los números 5 y 10 en la escala graduada, ¿cuánto vale cada división de la escala? Observe ahora la escala del nonio, ¿cuántas divisiones tiene en todo su perímetro?

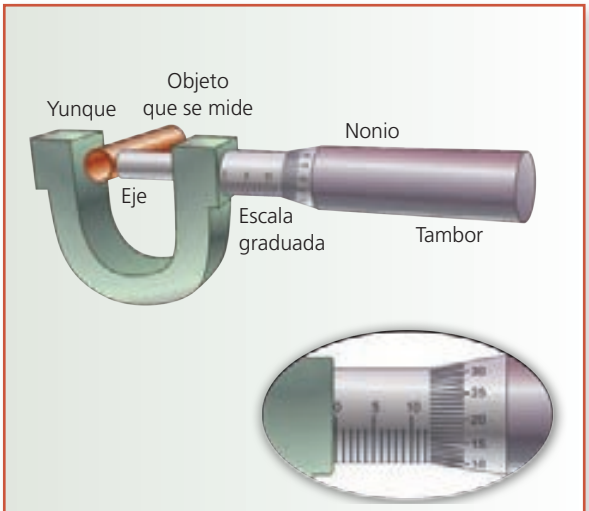


figura 2.13

El calibrador palmer o tornillo micrométrico sirve para medir pequeñas longitudes con una aproximación de 1/1 000 de cm, o bien, de 1/100 de mm por lo que su precisión es de 0.0005 cm, o bien de 0.005 mm.

6. Gire el tambor hasta que el 0 del nonio coincida con el número 5 de la escala graduada. Dele vuelta al tambor hasta ver el número 6 de la escala graduada. ¿Cuántas vueltas completas necesitó dar el tambor?

7. El palmer o tornillo micrométrico permite obtener longitudes con una aproximación de milésimas de centímetro (0.001 cm) o centésimas de milímetro (0.01 mm). La parte entera en milímetros se leerá en la escala graduada y las fracciones de milímetro en las divisiones del nonio. De acuerdo con nuestra figura 2.13 la lectura del diámetro exterior del cilindro que está colocado entre los topes es de 12.20 mm equivalente a 1.220 cm, o bien, 12.20 mm ± 0.005 mm.

8. Coloque entre los topes del palmer algún objeto, evite apretarlo demasiado para no dañar al instrumento. Haga su lectura y repita su medición varias veces, si el resultado varía un poco de una medición a otra, obtenga el valor promedio de ellas y anótelo en su tabla de datos, identifique qué medida se determina, de qué cuerpo se trata y cuánto vale. Para practicar el uso del palmer mida varios objetos y compare sus resultados con los de sus compañeros que hayan efectuado las mismas mediciones.

Cuestionario

1. Diga qué instrumento utilizaría: regla graduada, vernier o palmer, para hacer las siguientes mediciones con la mayor precisión posible: a) espesor de una moneda; b) altura de una puerta; c) diámetro de un balín; d) diámetro interior de un tubo metálico; e) espesor de una placa de vidrio; f) diámetro de un balón de fútbol soccer; g) una pequeña profundidad en una roca.
2. ¿Qué instrumento de medición es de mayor precisión, el vernier o el palmer? Justifique su respuesta.
3. ¿Por qué es recomendable repetir varias veces una misma medición?
4. ¿Qué se entiende por valor promedio de una medición?
5. Construya con cartulina gruesa un modelo de vernier.

Resumen

1. Desde tiempos muy remotos el hombre ha tenido la necesidad de *medir*, pero el problema ha sido encontrar el patrón de medida. Durante mucho tiempo existió una gran anarquía en las unidades de medida, pues todo país grande y rico establecía sus propias medidas para demostrar su poderío. Fue hasta 1795 cuando se establece por primera vez un sistema de unidades bien definido en el mundo: el Sistema Métrico Decimal.

2. *Magnitud* es todo aquello que se puede medir. *Medir* es comparar una magnitud con otra de la misma especie, la cual en forma convencional se toma como base o patrón de medida. *Unidad de medida o patrón* es aquella magnitud de valor conocido y perfectamente definido que se utiliza como referencia para medir y expresar el valor de otras magnitudes de la misma especie y una de sus características es que es reproducible.

3. Existen actualmente varios sistemas de unidades utilizados para la medición de las diferentes magnitudes, como son: el *Inglés*, el CGS, el *Internacional* y los llamados *Sistemas Gravitacionales* o de *Ingeniería,* que en lugar de masa como magnitud fundamental, se refieren al peso. Con el objetivo de establecer un solo sistema de unidades que sea empleado por todos los países, en 1960 científicos y técnicos de todo el mundo se reunieron en Ginebra, Suiza, y acordaron adoptar el *Sistema Internacional de Unidades* (SI). Este sistema se basa en el llamado MKS, iniciales que corresponden a metro, kilogramo y segundo. No obstante, aún siguen usándose los otros sistemas ya señalados; pero tarde o temprano, cuando los industriales de todo el mundo se convenzan de las ventajas de usar uno solo, por fin la humanidad utilizará únicamente el Internacional de Unidades (SI). Las unidades que utiliza el SI para medir las siete magnitudes que considera fundamentales son: *metro* para longitud, *kilogramo* para masa, *segundo* para tiempo, *kelvin* para temperatura, *ampere* para la intensidad de corriente, *candela* para la intensidad luminosa y el *mol* para la cantidad de sustancia. Los símbolos de las unidades se escriben con minúscula a menos que se trate de nombres propios, en tal caso será con mayúscula. Los símbolos se escriben en singular y sin punto. Ejemplos: 5 kilogramos = 5 kg, 4 kilómetros = 4 km, 5 newtons = 5 N, 6 amperes = 6 A, etcétera.

4. Para hacer la medición de una magnitud existen métodos que pueden ser *directos*, como medir la longitud de una mesa usando una regla graduada o el volumen de un líquido empleando una probeta graduada. El método es *indirecto* cuando en la determinación de una magnitud se tienen que realizar dos o más mediciones directas y, además, se efectúa un cálculo matemático. Por ejemplo, al medir el volumen de un cuerpo irregular por desplazamiento de agua en una probeta graduada, o al calcular el área de un rectángulo al medir su largo y ancho para aplicar finalmente la fórmula correspondiente.

5. Entre el valor verdadero o exacto de una magnitud y el valor obtenido al medirla, siempre existirá una diferencia llamada *error de medición o incertidumbre.* Para reducir al máximo el error en una medición, deben usarse técnicas convenientes e instrumentos y aparatos precisos. Es conveniente, siempre que sea posible, repetir el mayor número de veces una medición y obtener el promedio de ellas. Las causas de error son: a) *Errores sistemáticos.* Son los que influyen en forma constante en todas las mediciones realizadas y se deben a defectos en el instrumento de medición, mala calibración del instrumento o aparato y error de escala. b) *Errores circunstanciales,* también llamados estocásticos o aleatorios. Estos errores no se repiten regularmente de una medición a otra, se deben a los efectos provocados por las variaciones

de presión, humedad y temperatura del ambiente sobre los instrumentos o al error de paralaje. Para cuantificar los errores se tienen los siguientes tipos: absoluto, relativo y porcentual.

6. La precisión, incertidumbre o error de un instrumento de medición, es igual a la mitad de la unidad más pequeña que pueda medir.

7. Para hacer el análisis y la interpretación de los datos numéricos obtenidos al efectuar mediciones de alguna magnitud, evento o fenómeno, se emplean los *métodos estadísticos* que pueden ser muy complejos o sencillos, en los cuales sólo se requiere ordenar un conjunto de datos en tablas, construir gráficas y calcular promedios. Algunos de los términos más usados en la estadística son: *universo* o *población*, que es el conjunto de datos o resultados obtenidos; *muestra*, es una parte seleccionada de los datos; *frecuencia*, número de veces que se repite un dato; *rango*, diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de los datos; *media aritmética*, valor promedio de todos los datos o valores obtenidos; *moda*, dato que se repite con mayor frecuencia; *mediana,* se determina ordenando los datos de acuerdo con su magnitud de mayor a menor o viceversa, es el número que está a la mitad; *histograma*, gráfica que resulta de presentar en forma organizada la distribución de frecuencias en un sistema de coordenadas rectangulares.

Autoevaluación

Escriba en su cuaderno las respuestas a las siguientes preguntas. Si se le presentan dudas al responder vuelva a leer la sección correspondiente del libro, la cual viene señalada al final de cada pregunta para su fácil localización.

1. Definir qué se entiende por magnitud, medir y unidad de medida. *(Sección 1)*
2. ¿Considera una ventaja o desventaja la existencia de varios sistemas de unidades? Justifique su respuesta. *(Sección 2)*
3. Explique dos ventajas del Sistema Métrico Decimal. *(Sección 2)*
4. Escriba las unidades que utiliza el Sistema Internacional para medir las siguientes magnitudes: longitud, masa, tiempo, área, volumen, velocidad, aceleración y fuerza. *(Sección 4)*
5. Mencione cuáles son las reglas establecidas para escribir los símbolos de las unidades de medida. *(Sección 4)*
6. Explique cuáles son los sistemas de unidades absolutos que aún se utilizan y por qué se les llama así. *(Sección 4)*
7. ¿Cuáles son los Sistemas de Unidades Técnicos o Gravitacionales que se utilizan y en qué se diferencian de los absolutos? *(Sección 5)*
8. Escriba las siguientes magnitudes utilizando la simbología correcta: 1500 metros, 25 kilómetros, 30 megámetros, 2 micrómetros, 250 miligramos, 480 gramos, 3.5 kilogramos, 20 megagramos, 3 milisegundos, 20 microsegundos, 4 kilosegundos, 60 kilonewtons, 10 newtons, 160 decinewtons. *(Sección 4)*
9. Efectúe las siguientes transformaciones de unidades. *(Sección 6)*
   - **a)** 25 m a cm
   - **b)** 15 cm a m
   - **c)** 200 g a kg
   - **d)** 0.75 kg a g
   - **e)** 2 h a min
   - **f)** 15 min a h
   - **g)** 15 km/h a m/s
   - **h)** 0.2 m/s a km/h
   - **i)** 0.05 m^2 a cm^2
   - **j)** 4.5 millas/h a m/s
   - **k)** 4 m^3/s a cm^3/s
   - **l)** 2 $pies^3/s$ a m^3/s
   - **m)** 10 kg_f a N
   - **n)** 15 ℓb_f a kg_f
   - **o)** 1500 N a kg_f
   - **p)** 120 °C a °F y K
   - **q)** 200 °F a °C y K
10. Para medir la distancia que hay entre la Tierra y la Luna se envió desde nuestro planeta un rayo láser que viaja con la misma magnitud de velocidad que la luz (300 000 km/s), se midió el tiempo que tardó en ir a nuestro satélite y regresar a la Tierra después de reflejarse, y la distancia se encontró con la expresión: $d = vt$. ¿Qué método se empleó para conocer la distancia entre la Tierra y la Luna, el directo o el indirecto? Justifique su respuesta. *(Sección 8)*
11. Por medio de un ejemplo de su vida cotidiana, describa el concepto de error de medición. *(Sección 9)*
12. Explique cómo reduciría al mínimo el error cometido en una medición. *(Sección 9)*
13. ¿Es posible lograr una medición exacta de alguna magnitud? Sí o no y por qué. *(Sección 9)*
14. ¿Cuáles son las causas de error en las mediciones? *(Sección 9)*
15. ¿Qué se entiende por error absoluto, relativo y porcentual? *(Sección 9)*

16. Demuestre si dimensionalmente es correcta la siguiente fórmula. *(Sección 7)*

$$d = \frac{v_f^2 - v_0^2}{2a}$$

17. ¿Cuál es el objetivo de utilizar métodos estadísticos en el estudio de la Física? *(Sección 10)*

18. Defina los siguientes conceptos estadísticos: universo o población, muestra, frecuencia, rango, media aritmética, moda, mediana e histograma. *(Sección 10)*

19. Explique cuáles son las reglas que se deben seguir para construir un histograma. *(Sección 10)*

Coevaluación

Instrucciones: Consolide su aprendizaje, para ello lea y conteste en una hoja las siguientes preguntas. Luego, intercambie con un(a) compañero(a) sus respuestas. Coméntenlas, pónganse de acuerdo y den respuestas comunes. Discútanlas con las demás parejas y enriquezcan sus conocimientos con las aportaciones de todos.

1. Hace ya tiempo que los organismos públicos estadounidenses, comenzando por la CIA y la NASA, pasando por la Casa Blanca y el Pentágono, no son perfectos ni en las películas de Hollywood. Pero en ocasiones sus errores rozan el bochorno. Este es el caso de la nave espacial *Mars Climate Orbiter*, que se estrelló en Marte en septiembre de 1999.

   Según informó la NASA, el error estuvo en una confusión entre millas y kilómetros, así como en libras y kilogramos. Tan simple como eso. El Jet *Propulsion Laboratory*, ubicado en Pasadena California, se encargó de programar los sistemas de navegación de la *Mars Climate* utilizando el Sistema Internacional de Unidades para realizar sus cálculos, mientras que otro laboratorio, el *Lockheed Martin Astronautics,* ubicado en Denver Colorado, diseñó y construyó la nave espacial usando para sus mediciones el Sistema Inglés. Como consecuencia, la nave presentó un grave colapso durante su viaje espacial que la llevó a alcanzar el planeta rojo en una posición de órbita equivocada, por lo que se estrelló provocando una pérdida económica de unos 125 millones de dólares.

   a) ¿Considera que este error es increíble y que no se le perdonaría ni a un estudiante de Física Elemental? Sí o no. ¿Por qué?

   b) ¿Qué sistema de unidades le recomendaría a los científicos, a los industriales, comerciantes y empresarios de todo el mundo para realizar sus mediciones y por qué?

   c) ¿Considera a los científicos como seres dotados de capacidades especiales, o son como cualquier ser humano con virtudes y defectos? Justifique su respuesta.

2. Si le dieran a escoger una sola unidad de medida de las señaladas para cuantificar cada una de las siguientes magnitudes físicas, ¿cuál seleccionaría y por qué?

   a) Longitud: metro, kilómetro, pie, milla.

   b) Masa: gramo, kilogramo, tonelada, libra.

   c) Tiempo: segundo, hora, día, mes, año.

   d) Volumen: metro cúbico, litro, galón.

   e) Velocidad: m/s, km/h, milla/h, pie/s.

Glosario

Error absoluto o desviación absoluta, también recibe el nombre de incertidumbre absoluta

Diferencia entre el valor medido y el valor promedio.

Error relativo

Es el cociente entre el valor absoluto o incertidumbre absoluta, y el valor promedio.

Errores circunstanciales

También llamados estocásticos o aleatorios: errores que no se repiten regularmente de una medición a otra.

Error de medición

Diferencia entre el valor verdadero de una magnitud y el valor obtenido al medirla.

Errores sistemáticos

Errores que se presentan de manera constante a través de un conjunto de medidas realizadas.

Exactitud de una medida

Grado de aproximación entre la medida realizada de una magnitud y el valor real de ésta.

Kilo

Prefijo que significa mil unidades.

Magnitud

Es todo aquello que puede ser medido.

Magnitudes derivadas

Son las que resultan de multiplicar o dividir entre sí a las magnitudes fundamentales.

Magnitudes fundamentales

Son aquellas que sirven de base para obtener las demás magnitudes utilizadas en Física.

Media aritmética o valor promedio

Se obtiene al sumar todas las mediciones hechas de una magnitud, y después se divide dicha suma entre el número de mediciones realizadas.

Medir

Es comparar una magnitud con otra de la misma especie que de manera arbitraria o convencional se toma como base.

Mega

Prefijo que significa un millón de unidades.

Método directo de medición

Es cuando se puede medir una magnitud con algún instrumento, sin necesidad de aplicar varios pasos o aplicar alguna ecuación matemática para determinarla.

Método indirecto de medición

Es cuando en la determinación del valor de una magnitud se tienen que realizar dos o más mediciones directas y, además, se efectúa un cálculo matemático.

Micro

Prefijo que significa la millonésima parte de la unidad.

Pico

Prefijo que significa la billonésima parte de la unidad.

Pie

Unidad de longitud en el sistema inglés, que mide 30.48 cm y equivale a la longitud del pie que tenía un rey de Inglaterra.

Precisión de un instrumento

También recibe los nombres de incertidumbre o error del instrumento de medición, y es igual a la mitad de la unidad más pequeña que pueda medir.

Sistema Cegesimal o CGS

Es un sistema absoluto y sus unidades fundamentales son: centímetro, gramo y segundo.

Sistema Internacional de Unidades

Se basa en el sistema MKS, y considera siete unidades fundamentales: metro, kilogramo, segundo, grado kelvin, ampere, candela y mol.

Sistema Métrico Decimal

Se caracteriza por su división decimal y sus unidades fundamentales son el metro, el kilogramo-peso y el litro.

Sistema MKS

Es un sistema absoluto, cuyas unidades fundamentales son el metro, el kilogramo y el segundo.

Sistemas de Unidades Absolutos

Son aquellos que utilizan como una de sus magnitudes fundamentales a la masa, y al peso como derivada.

Sistemas de Unidades Técnicos o Gravitacionales

Son aquellos que utilizan como una de sus magnitudes fundamentales al peso, y a la masa la consideran derivada.

Unidad de medida o patrón

Magnitud de valor conocido que se utiliza como referencia para medir magnitudes de la misma especie, una de sus características principales es que es reproducible.

Universo o población

Es el conjunto de datos o resultados obtenidos.

UNIDAD 3

CONTENIDO

- Características de un vector
- Cómo establecer la escala de un vector
- Vectores coplanares, no coplanares, deslizantes y libres
- Sistema de vectores colineales
- Sistema de vectores concurrentes o angulares
- Resultante y equilibrante de un sistema de vectores
- Propiedades de los vectores
- Suma de vectores
- Composición y descomposición rectangular de vectores…
- Vectores unitarios
- Suma de dos vectores angulares o concurrentes
- Suma de más de dos vectores concurrentes o angulares
- Método del triángulo
- Producto de un vector por un escalar
- Producto escalar de dos vectores
- Producto vectorial de dos vectores
- Actividad experimental 4: *Equilibrio de fuerzas colineales y de fuerzas angulares o concurrentes*
- Resumen
- Autoevaluación
- Coevaluación
- Glosario

En nuestra vida diaria constantemente nos referimos a diferentes magnitudes físicas. Por ejemplo, cuando compramos azúcar pedimos 1 kg, 2 kg, 5 kg o un costal de 50 kg. De igual manera, al hablar de la temperatura del ambiente nos referimos a 2O °C, 25 °C, 30 °C o 45 °C, según la estación del año. Al buscar un terreno para construir una casa, especificamos si lo deseamos de 120 m^2, 200 m^2 o 300 m^2. En los casos anteriores, al hablar de masa, temperatura y área o superficie, respectivamente, para definirlas bastó señalar la cantidad expresada en números y el nombre de la unidad de medida. Éstas y otras magnitudes, como la longitud, el tiempo, el volumen, la densidad y la frecuencia, reciben el nombre de magnitudes escalares. Por definición: **una magnitud escalar es aquella que queda perfectamente definida con sólo indicar su cantidad expresada en números y la unidad de medida.**

Existen otros tipos de magnitudes que para definirlas, además de la cantidad expresada en números y el nombre de la unidad de medida, se necesita indicar claramente la dirección y el sentido en que actúan; estas magnitudes reciben el nombre de **vectoriales.** Por ejemplo, cuando una persona visita la ciudad de México y nos pregunta cómo llegar al Castillo de Chapultepec, dependiendo de dónde se encuentre le diremos aproximadamente a qué distancia está y la dirección a seguir. Lo mismo sucede cuando hablamos de la fuerza que se debe aplicar a un cuerpo, pues aparte de señalar su magnitud debemos especificar si la fuerza se aplicará hacia arriba o hacia abajo, a la derecha o a la izquierda, hacia el frente o hacia atrás. Además de los dos ejemplos anteriores de desplazamiento y fuerza, existen entre otras las siguientes magnitudes vectoriales: **velocidad, aceleración, impulso mecánico y cantidad de movimiento.**

Cualquier magnitud vectorial puede ser representada gráficamente por medio de una flecha llamada vector, la cual es un segmento de recta dirigido. Para simbolizar una magnitud vectorial trazamos una flechita horizontal sobre la letra que la define; veamos: $\vec{v}$, $\vec{d}$, $\vec{F}$ y $\vec{a}$ representan un vector velocidad, desplazamiento, fuerza y aceleración, respectivamente. Si se desea expresar sólo la magnitud del vector, la letra se coloca entre barras: $|\vec{v}|$, $|\vec{d}|$, $|\vec{F}|$ y $|\vec{a}|$ o simplemente se escribe la letra sola. De acuerdo con nuestro ejemplo, sólo se escribiría la letra ya sea v, d, F o a. De esta manera, la fuerza, misma que es una magnitud vectorial se representa por $\vec{F}$ y la magnitud de la fuerza por $|\vec{F}|$ o por F. En este libro, en la mayoría de los casos, escribiremos únicamente la letra sin la flecha arriba, cuando hagamos referencia sólo a la magnitud del vector de que se trate. En algunos casos, como el producto escalar y vectorial, colocaremos entre las barras a las letras que se representan sólo el valor o magnitud de los vectores. Un conjunto formado por dos o más vectores es un sistema de vectores. Un sistema de vectores **coplanares** es aquel en el cual los vectores se encuentran en el mismo plano, o sea, en dos ejes; si están en diferente plano, o en tres ejes, son no coplanares. Un sistema de vectores **colineales** se presenta cuando los vectores se localizan en la misma dirección o línea de acción. Un sistema de vectores es **angular o concurrente** cuando la dirección o línea de acción de los vectores se cruza en algún punto; el punto de cruce constituye el punto de aplicación de los vectores. Para sumar magnitudes vectoriales necesitamos utilizar métodos especiales, ya sean **gráficos**, como el del paralelogramo y el del polígono, o **analíticos**, porque los vectores no pueden sumarse aritméticamente por tener dirección y sentido.



Vectores

1 Características de un vector

Un vector cualquiera tiene las siguientes características:

1. Punto de aplicación u origen.
2. Magnitud, intensidad o módulo del vector. Indica su valor y se representa por la longitud del vector de acuerdo con una escala convencional.
3. Dirección. Señala la línea sobre la cual actúa, puede ser horizontal, vertical u oblicua.
4. Sentido. Queda señalado por la punta de la flecha e indica hacia dónde actúa el vector. El sentido de éste se puede identificar de manera convencional con signos (+) o (−) (figura 3.1).

En la figura 3.1 (a) se representan dos vectores ($\vec{V}_1$ y $\vec{V}_3$), cuya dirección es vertical, pero uno es vertical hacia arriba, es decir, positivo (por convención); el otro es vertical hacia abajo, o sea, negativo. También se aprecian dos vectores ($\vec{V}_2$ y $\vec{V}_4$), cuya dirección es horizontal, pero uno es horizontal a la derecha, es decir, positivo (por convención), y el otro es horizontal a la izquierda, o sea, negativo.

En la figura 3.1 (b) se muestran dos vectores ($\vec{F}_1$ y $\vec{F}_2$), cuya magnitud (10 N) y dirección (horizontal) es la misma; sin embargo, su sentido es diferente, $\vec{F}_1$ es (+) o a la derecha, y $\vec{F}_2$ es (−) o a la izquierda.

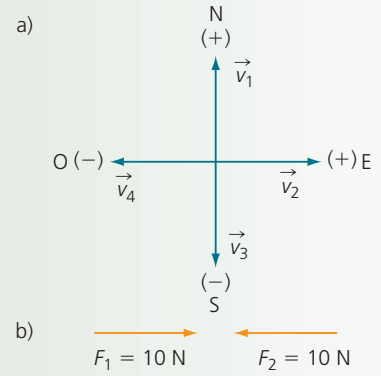


figura 3.1

a) Representación del sentido de los vectores por medio de signos convencionales de acuerdo con un sistema de coordenadas cartesianas y a los puntos cardinales. En b) se observan gráficamente dos vectores cuya dirección y magnitud es la misma, pero su sentido es diferente.

Nota: Con respecto a las características de un vector, algunos autores sólo manejan tres: punto de aplicación, magnitud y dirección, en donde la dirección se define como el ángulo que forma la línea de acción del vector con respecto al eje *X* positivo, por lo que el sentido es una consecuencia de la dirección. Por nuestra parte, con fines didácticos que facilitan hablar de equilibrante y resultante, fuerzas colineales, negativo de un vector, tercera ley de Newton, etc., nos referimos al sentido como una característica más de un vector.

2 Cómo establecer la escala de un vector

Para representar un vector necesitamos una escala convencional, la cual estableceremos según nuestras necesidades, de acuerdo con la magnitud del vector y el tamaño que se le desee dar. Si queremos representar un vector en una cartulina no usaremos la misma escala que si lo hacemos en una hoja de nuestro cuaderno. Por ejemplo, si se desea representar en la cartulina un vector fuerza de 350 N dirección horizontal y sentido positivo, podemos usar una escala de 1 cm igual a 10 N; así, con sólo medir y trazar una línea de 35 cm estará representado. Pero en nuestro cuaderno esta escala sería muy grande, lo recomendable es una escala de 1 cm = 100 N, por lo que dicho vector estará representado por una flecha de 3.5 cm de longitud, es decir:

En general, lo recomendable es usar escalas de 1:1, 1:10, 1:100 y 1:1 000, siempre que sea posible. Por ejemplo, si tenemos cuatro vectores, todos ellos de dirección horizontal y con el mismo sentido (+), cuyos valores son:

$$F_1 = 3.5 \text{ N}; \qquad F_2 = 40 \text{ N};$$
$$F_3 = 580 \text{ N}; \qquad F_4 = 4\,200 \text{ N}$$

y queremos representarlos gráfica e individualmente en nuestro cuaderno, las escalas recomendables serían:

Para $\vec{F}_1$: 1 cm = 1 N; para $\vec{F}_2$: 1 cm = 10 N
para $\vec{F}_3$: 1 cm = 100 N; para $\vec{F}_4$: 1 cm = 1 000 N

Escala: 1 cm = 100 N ⟶ F = 350 N (La longitud del vector es de 3.5 cm)

3 Vectores coplanares, no coplanares, deslizantes y libres

Los vectores son coplanares si se encuentran en el mismo plano, o en dos ejes, y no coplanares si están en diferente plano, es decir, en tres ejes (*X*, *Y*, *Z*) (figura 3.2).

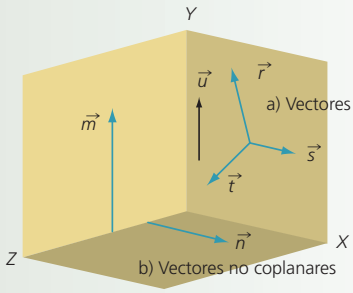
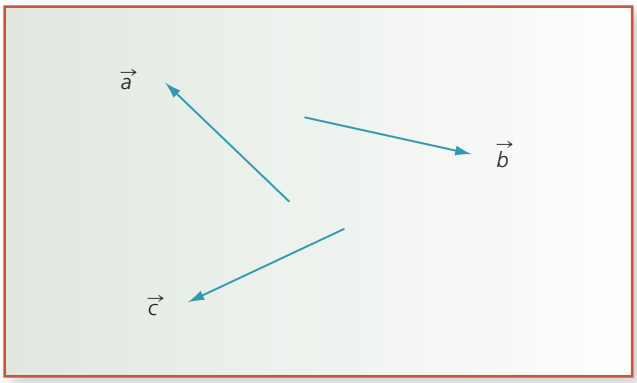


figura 3.2

En a) se observan cuatro vectores coplanares ($\vec{r}$, $\vec{s}$, $\vec{t}$, $\vec{u}$), en b) se muestran dos vectores no coplanares ($\vec{m}$ y $\vec{n}$).

Vectores deslizantes. Son aquellos que se pueden desplazar o deslizar a lo largo de su línea de acción, es decir, en su misma dirección (Ver en esta unidad la sección 7, Propiedades de los vectores).

Vectores libres. Son aquellos que no tienen un punto de aplicación en particular. En la siguiente figura se muestran tres vectores libres, representados por $\vec{a}$, $\vec{b}$ y $\vec{c}$:



4 Sistema de vectores colineales

Se tiene un sistema de vectores colineales cuando dos o más vectores se encuentran en la misma dirección o línea de acción (figura 3.3).



figura 3.3

Sistema de vectores concurrentes o angulares.

5 Sistema de vectores concurrentes o angulares

Un sistema de vectores es concurrente cuando la dirección o línea de acción de los vectores se cruza en algún punto; el punto de cruce constituye el punto de aplicación de los vectores (figura 3.4). A estos vectores se les llama angulares o concurrentes porque forman un ángulo entre ellos.

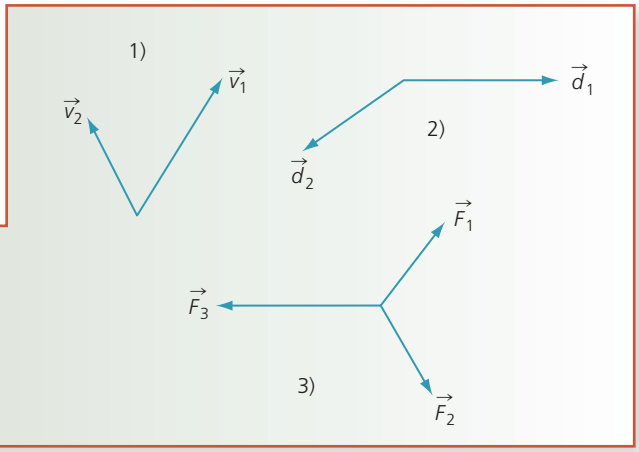


figura 3.4

Tres ejemplos de vectores concurrentes o angulares.

6 Resultante y equilibrante de un sistema de vectores

La resultante de un sistema de vectores es el vector que produce, él solo, el mismo efecto que los demás vectores del sistema. Por ello, un vector resultante es aquel capaz de sustituir un sistema de vectores.

La equilibrante de un sistema de vectores es el vector que es capaz de cancelar el vector resultante de un sistema de vectores. Por tanto, tiene la misma magnitud y dirección que la resultante, pero con sentido contrario (figura 3.5).

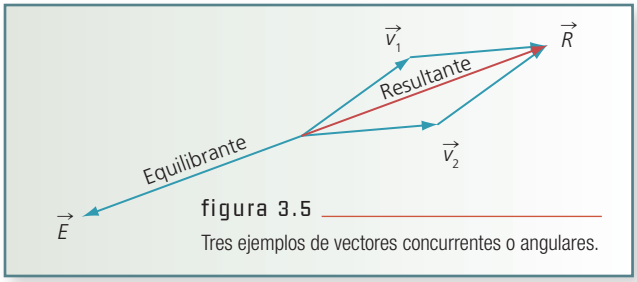
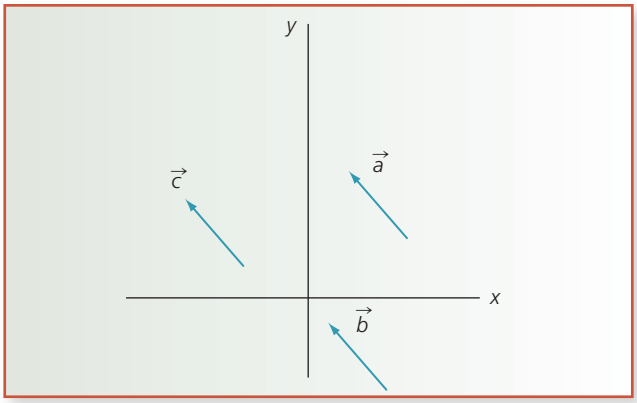


figura 3.5
Tres ejemplos de vectores concurrentes o angulares.

7 Propiedades de los vectores

a) Igualdad de dos vectores

Dos vectores son iguales cuando su magnitud, dirección y sentido también son iguales. Esta propiedad posibilita el traslado de un vector en un diagrama, siempre y cuando se haga en forma paralela a dicho vector. En la siguiente figura se observan los vectores $\vec{a}$, $\vec{b}$ y $\vec{c}$, los cuales son iguales entre sí, no obstante que su punto de aplicación u origen no es el mismo.



a) b) Adición

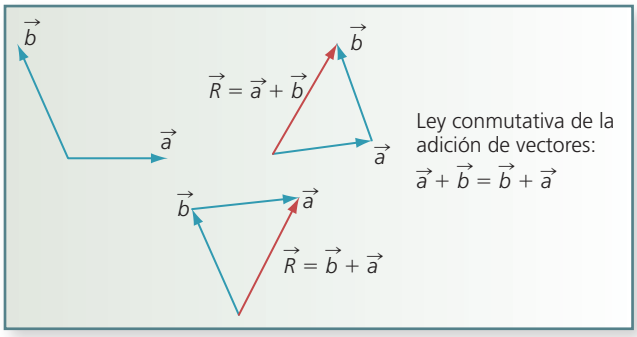
Sólo se pueden sumar dos o más vectores si tienen las mismas unidades de medida. Por ejemplo, no es posible sumar un vector fuerza con un vector desplazamiento. Las magnitudes escalares tampoco se pueden sumar si no tienen las mismas unidades de medida. Por ejemplo, no se puede sumar el tiempo con el volumen.

c) Negativo de un vector

El negativo de un vector cualquiera, por ejemplo de un vector $\vec{a}$, se define como aquel vector que sumado al vector $\vec{a}$, da un resultado igual a cero. Por tanto, $\vec{a} + (-\vec{a}) = 0$. En conclusión, el negativo de un vector tiene la misma magnitud y dirección de dicho vector, pero su sentido es contrario.

d) Ley conmutativa de la adición de vectores

Cuando se suman dos vectores, la resultante de la adición es la misma, sin importar el orden en que se sumen los vectores. Por ejemplo, al sumar un vector $\vec{a}$ con un vector $\vec{b}$, la resultante será la misma si se suma $\vec{a} + \vec{b}$, o bien, se suma $\vec{b} + \vec{a}$. La adición vectorial y la adición escalar siguen las mismas reglas. Por ejemplo, es lo mismo sumar 3 + 2 que 2 + 3. En la siguiente figura se demuestra la ley conmutativa:



e) Propiedad de transmisibilidad del punto de aplicación

El efecto externo de un vector deslizante no se modifica si es trasladado en su misma dirección, es decir, sobre su propia línea de acción. Por ejemplo, si se desea mover un cuerpo horizontalmente, aplicando una fuerza, el resultado será el mismo si empujamos el cuerpo o si lo jalamos (figura 3.6).

Grupo Editorial Patria

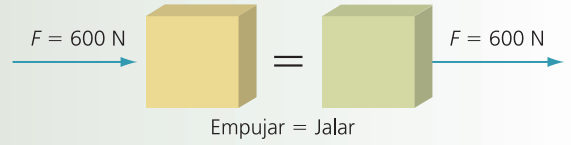


figura 3.6

Propiedad de transmisibilidad del punto de aplicación de un vector.

f) Propiedad de los vectores libres

Los vectores no se modifican si se trasladan paralelamente a sí mismos (figura 3.7). Esta propiedad la utilizaremos al sumar vectores por los métodos gráficos del paralelogramo, triángulo y polígono, los cuales estudiaremos más adelante.

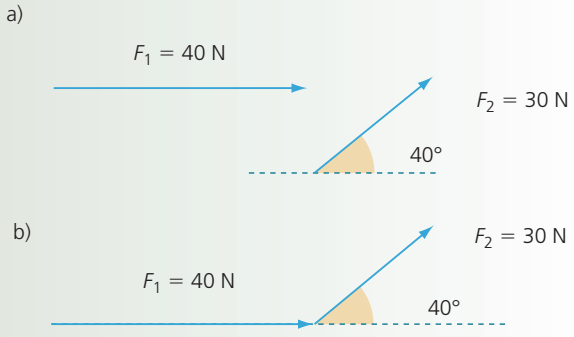


figura 3.7

Propiedad de los vectores libres. En a) vemos dos vectores libres; en b) los vectores no se modifican si se trasladan paralelamente a sí mismos.

8 Suma de vectores

Cuando necesitamos sumar dos o más magnitudes escalares de la misma especie lo hacemos aritméticamente. Por ejemplo, 2 kg + 5 kg = 7 kg; 20 m^2 + 10 m^2 + 5 m^2 = 35 m^2; 3 h + 4 h = 7 h; 200 K + 100 K = 300 K. Sin embargo, para sumar magnitudes vectoriales, que como ya mencionamos aparte de magnitud tienen dirección y sentido, debemos utilizar métodos diferentes a una simple suma aritmética. Estos métodos pueden ser gráficos o analíticos, pero en ambos casos se consideran, además de la magnitud del vector, su dirección y sentido.

Resolución de problemas de suma de vectores

1 Un jinete y su caballo cabalgan 3 km al norte y después 4 km al oeste.

Calcular:

a) ¿Cuál es la distancia total que recorren?

b) ¿Cuál fue su desplazamiento?

Solución:

a) Como la distancia es una magnitud escalar, encontramos la distancia total recorrida al sumar aritméticamente las dos distancias:

$$d_t = d_1 + d_2 = 3 \text{ km} + 4 \text{ km} = 7 \text{ km}$$

b) Para encontrar su **desplazamiento, que es una magnitud vectorial** toda vez que corresponde a una distancia medida en una dirección particular entre dos puntos (el de partida y el de llegada), debemos hacer un diagrama vectorial. Para ello, dibujamos a escala el primer desplazamiento de 3 km realizado al norte, representado por $\vec{d}_1$, y después el segundo desplazamiento de 4 km al oeste representado por $\vec{d}_2$ (figura 3.8). Posteriormente, unimos el origen del vector $\vec{d}_1$ con el extremo del vector $\vec{d}_2$ a fin de encontrar el vector resultante $\vec{R}$ equivalente a la suma vectorial de los dos desplazamientos. El origen del vector resultante $\vec{R}$ es el mismo que tiene el origen del vector $\vec{d}_1$, y su extremo coincide con el del vector $\vec{d}_2$. Para calcular la magnitud de $\vec{R}$ medimos su

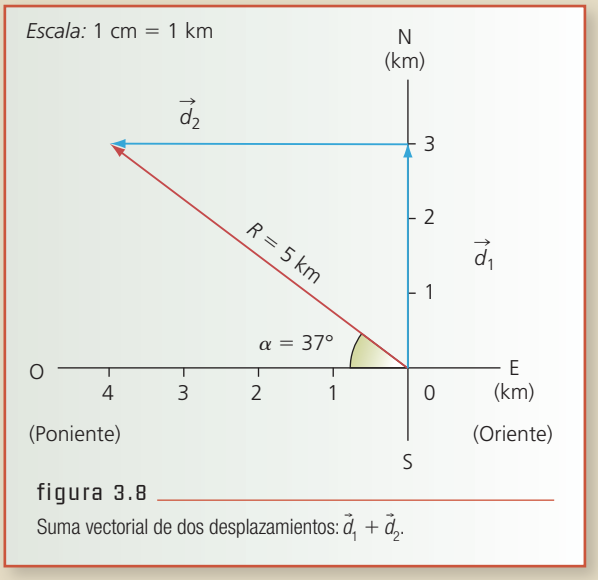


figura 3.8

Suma vectorial de dos desplazamientos: $\vec{d}_1 + \vec{d}_2$.

longitud de acuerdo con la escala utilizada y su dirección se determina por el ángulo α que forma. Así, encontramos que

$$\vec{R} = 5 \text{ km con un ángulo } \alpha \text{ de } 37^\circ \text{ en dirección noroeste.}$$

2 Una lancha de motor efectúa los siguientes desplazamientos: 300 m al oeste, 200 m al norte, 350 m al noreste y 150 m al sur.

Calcular:

a) ¿Qué distancia total recorre?

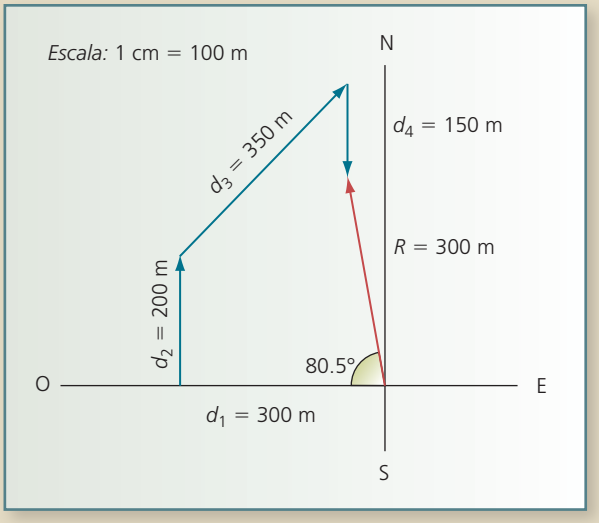
b) Determinar gráficamente cuál es su desplazamiento resultante, en qué dirección actúa y cuál es el valor de su ángulo medido respecto al oeste.

Solución:

a) La distancia total es igual a: $d_t = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$

$d_t = 300 \text{ m} + 200 \text{ m} + 350 \text{ m} + 150 \text{ m} = 1\,000 \text{ m}$

b) Como se ve en la figura, el desplazamiento total de la lancha es de 300 m en una dirección noroeste que forma un ángulo de 80.5° medido con respecto al oeste.



3 Una ardilla camina en busca de comida efectuando los siguientes desplazamientos: 15 m al sur, 23 m al este, 40 m en dirección noreste con un ángulo de 35° medido respecto al este, 30 m en dirección noroeste que forma un ángulo de 60° medido con respecto al oeste, y finalmente 15 m en una dirección suroeste con un ángulo de 40° medido respecto al oeste.

Calcular:

a) ¿Cuál es la distancia total recorrida?

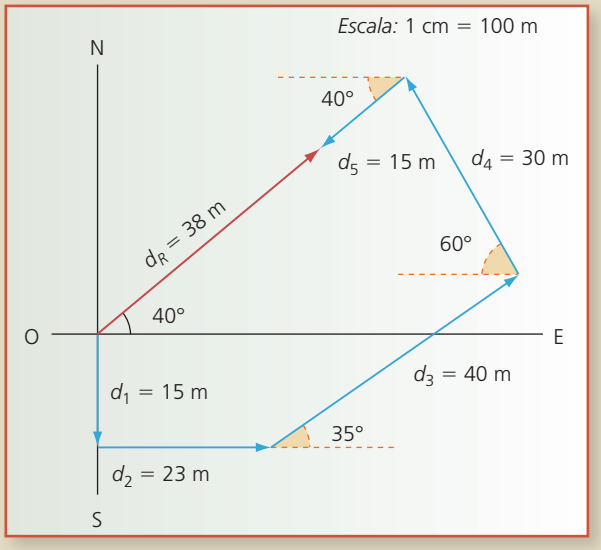
b) Mediante una escala conveniente represente gráficamente los desplazamientos; determine la magnitud del desplazamiento resultante, la dirección en que se efectúa y el valor del ángulo formado respecto al este.

Solución:

a) La distancia total es igual a:

$d_t = 15 \text{ m} + 23 \text{ m} + 40 \text{ m} + 30 \text{ m} + 15 \text{ m} = 123 \text{ m}$

b) Al medir el desplazamiento resultante encontramos que es igual a 38 m en una dirección noreste con un ángulo de 40° medido respecto al este.



Ejercicios propuestos

1 Un ciclista efectúa dos desplazamientos, el primero de 7 km al norte y el segundo de 5 km al este.

Calcular:

a) ¿Cuál es la distancia total recorrida por el deportista?

b) Encuentre gráficamente cuál es su desplazamiento resultante, así como la dirección en que actúa y el valor del ángulo medido respecto al este.

2 Un jugador de fútbol americano efectúa los siguientes desplazamientos: 6 m al este, 4 m en

dirección noreste y finalmente 2 m al norte.

Calcular:

a) ¿Cuál es la distancia total que recorre?

b) Encuentre en forma gráfica cuál fue su desplazamiento resultante, en qué dirección actúa y cuál es el valor del ángulo medido respecto al este.

3. Un camello en el desierto realiza los siguientes desplazamientos: 3 km al sur, 4 km al este, 2.5 km en dirección noreste con un ángulo de 37° medido respecto al este y 2.4 km al norte.

Calcular:

a) ¿Cuál es la distancia total recorrida por el camello?

b) Determine gráficamente cuál fue su desplazamiento resultante, su dirección y el valor del ángulo medido respecto al este.

4. Una lancha de vela realiza los siguientes desplazamientos: 300 m al oeste, 200 m al norte, 350 m en dirección noroeste formando un ángulo de 40° medido respecto al oeste, 600 m al sur y finalmente 250 m en dirección sureste formando un ángulo de 30° medido respecto al este.

Calcular:

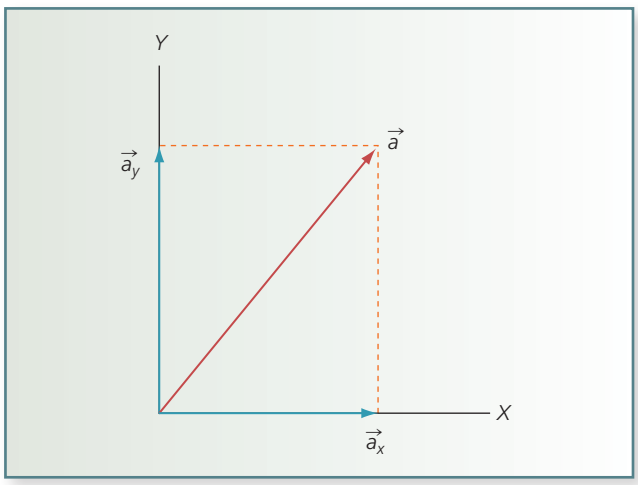
a) ¿Cuál es la distancia total recorrida?

b) Determinar gráficamente la magnitud del desplazamiento resultante, la dirección en que se efectúa y el valor del ángulo formado respecto al oeste.

9 Composición y descomposición rectangular de vectores por métodos gráficos y analíticos

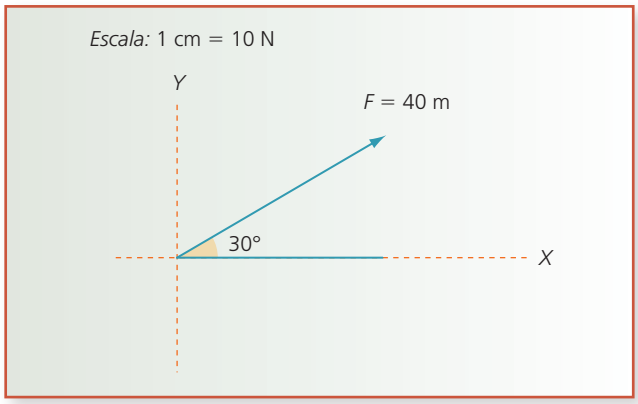
Un sistema de vectores puede sustituirse por otro equivalente, el cual contenga un número mayor o menor de vectores que el sistema considerado. Si el sistema equivalente tiene un número mayor de vectores, el procedimiento se llama descomposición. Si el sistema equivalente tiene un número menor de vectores, el procedimiento se denomina composición.

En la siguiente figura, se muestra un vector $\vec{a}$ cuyo punto de aplicación se ha colocado en el origen de un sistema de coordenadas cartesianas o coordenadas rectangulares. Si a partir del extremo del vector $\vec{a}$ trazamos una línea perpendicular hacia el eje de las X y otra hacia el eje de las Y, los vectores $\vec{a}_x$ y $\vec{a}_y$ así formados reciben el nombre de las componentes rectangulares del vector $\vec{a}$. Este proceso se conoce como descomposición de un vector en sus componentes rectangulares y se les llama rectangulares porque las componentes forman entre sí un ángulo recto (90°). También se les denominan **componentes perpendiculares**.



Revisemos el siguiente ejemplo:

Encontrar gráfica y analíticamente las componentes rectangulares del siguiente vector:

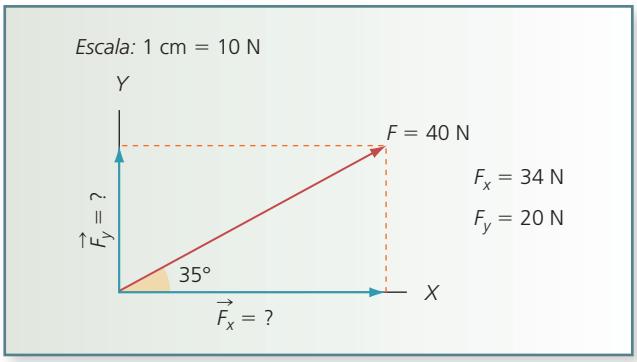


Solución por el método gráfico

Para encontrar en forma gráfica las componentes rectangulares o perpendiculares del vector, primero tenemos que establecer una escala. Para este caso puede ser: 1 cm = 10 N.

Trazamos nuestro vector al medir el ángulo de 30° con el transportador. Después, a partir del extremo del vector,

trazamos una línea perpendicular hacia el eje de las *X* y otra hacia el eje de las *Y*. En el punto de intersección del eje *X*, quedará el extremo del vector componente $\vec{F}_x$. En el punto de intersección del eje *Y* quedará el extremo del vector componente $\vec{F}_y$. En ambas componentes su origen será el mismo que tiene el vector $\vec{F}$ cuya magnitud es de 40 N, el cual estamos descomponiendo:



Para encontrar la magnitud de la componente en *X* del vector $\vec{F}$ es decir $\vec{F}_x$, basta medir con la regla la longitud, y de acuerdo con la escala encontrar su valor. En este caso mide aproximadamente 3.4 cm que representan 34 N.

Para hallar la magnitud de la componente en *Y* del vector $\vec{F}$ o sea $\vec{F}_y$ es suficiente medir con la regla la longitud, y según la escala encontrar su magnitud que en este caso es de casi 2.0 cm, es decir, de 20 N.

Solución por el método analítico

A fin de determinar la magnitud de las componentes en forma analítica observemos que se forma un triángulo rectángulo al proyectar una línea hacia el eje de las *X* y otro al proyectar una línea hacia el eje de las *Y*. Trabajaremos sólo con el triángulo rectángulo formado al proyectar la línea hacia el eje de las *X*. Las componentes perpendiculares del vector $\vec{F}$ serán: para $\vec{F}_x$ el cateto adyacente y para $\vec{F}_y$ el cateto opuesto al ángulo de 30°. Por tanto, debemos calcular cuánto valen estos dos catetos; para ello, utilizaremos las funciones trigonométricas seno y coseno (ver Nociones Matemáticas en el apéndice de este libro).

Cálculo de F_y:

$$\text{sen } 30^\circ = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}} = \frac{F_y}{F}$$

despejamos F_y:

$$F_y = F \text{ sen } 30^\circ = 40 \text{ N} \times 0.5 = 20 \text{ N}$$

Cálculo de F_x:

$$\cos 30^\circ = \frac{\text{cateto adyacente}}{\text{hipotensa}} = \frac{F_x}{F}$$

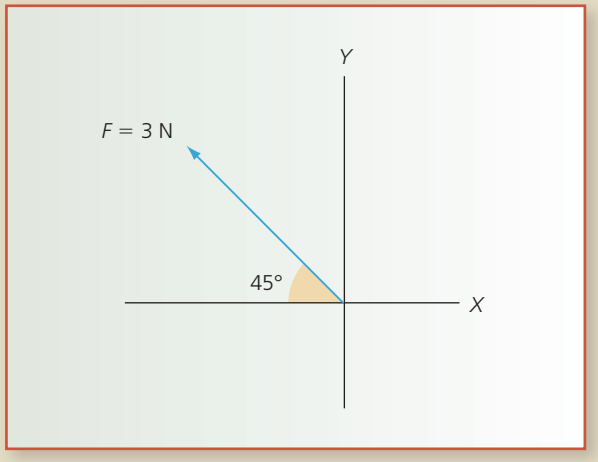
despejamos F_x:

$$F_x = F \cos 30^\circ = 40 \text{ N} \times 0.8660 = 34.64 \text{ N}$$

Si comparamos los dos resultados obtenidos para calcular la magnitud de $\vec{F}_y$ y $\vec{F}_x$ en forma gráfica y analítica, encontraremos una pequeña diferencia. Esto se explica si consideramos que al hallar las componentes en forma gráfica estamos expuestos a cometer errores al trazar el vector y al medir la magnitud de las componentes. En cambio, en forma analítica se eliminan estos errores y la magnitud de las componentes es obtenido con mayor precisión.

Resolución de problemas de descomposición y composición rectangular de vectores

1 Encontrar en forma gráfica y analítica los componentes rectangulares o perpendiculares del siguiente vector:



Solución:

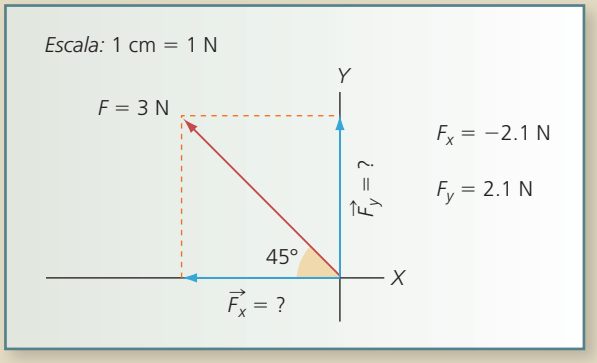
En forma gráfica, de acuerdo con una escala convencional de 1 cm = 1 N las componentes rectangulares tienen los siguientes valores:

Método analítico:

$F_y = F \text{ sen } 45^\circ = 3 \text{ N} \times 0.7071 = 2.1213 \text{ N}$

$F_x = -\vec{F} \cos 45^\circ = -3 \text{ N} \times 0.7071 = -2.1213 \text{ N}$

El signo menos de la componente en *X*, es decir, $\vec{F}_x$ se debe a que su sentido es a la izquierda.

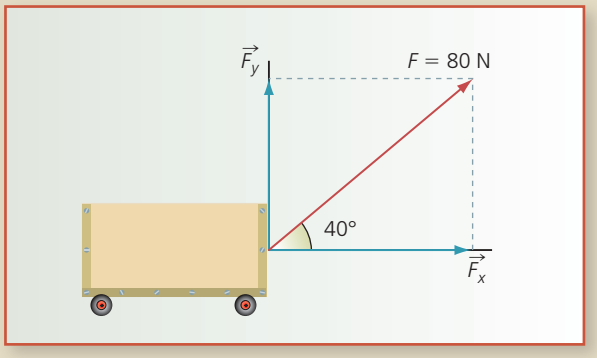


2 Mediante una cuerda un niño jala un carro con una fuerza de 80 N, la cual forma un ángulo de 40° con el eje horizontal como se ve en la figura.

Calcular:

a) La magnitud de la fuerza que jala el carro horizontalmente.

b) La magnitud de la fuerza que tiende a levantar el carro.



Solución:

a) La fuerza que jala el carro horizontalmente es la componente horizontal ($\vec{F}_x$) de la fuerza de 80 N, cuya magnitud es:

$$F_x = F \cos 40°$$

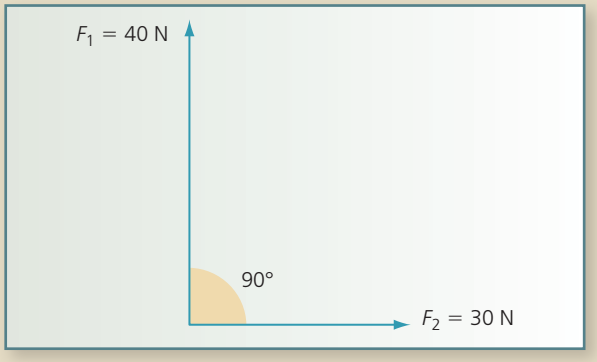
$$F_x = 80 \text{ N} \times 0.7660 = 61.28 \text{ N}$$

b) La fuerza que tiende a levantar el carro es la componente vertical ($\vec{F}_y$) de la fuerza de 80 N, cuya magnitud es:

$$F_y = F \text{ sen } 40°$$

$$F_y = 80 \text{ N} \times 0.6428 = 51.42 \text{ N}$$

3 Dadas las componentes rectangulares de un vector, encontrar el vector resultante por los metodos gráfico y analítico. Encuentre también el ángulo que forma la resultante respecto al eje horizontal.



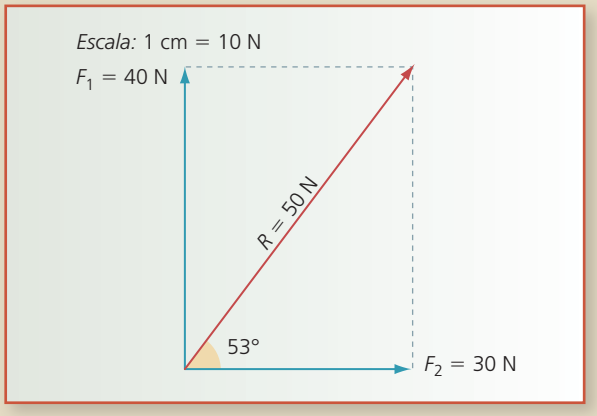
Solución:

Método gráfico del paralelogramo:

Para encontrar la resultante, es decir, aquel vector capaz de sustituir un sistema de vectores al usar el método gráfico, basta con trazar primero las componentes $\vec{F}_1$ y $\vec{F}_2$ utilizando una escala conveniente y, después, una paralela a $\vec{F}_1$, a partir de $\vec{F}_2$ y una paralela a $\vec{F}_2$ a partir de $\vec{F}_1$. La resultante será la línea que une el origen de los dos vectores con el punto donde hacen intersección las dos paralelas. **Este método se llama del paralelogramo,** porque se forma un cuadrilátero cuyos lados opuestos son paralelos.

La resultante tiene su origen en el mismo punto que las componentes. Medimos la longitud de la resultante y vemos que aproximadamente mide 5 cm, éstos equivalen a 50 N y el ángulo de la resultante a 53°.

Si se desea que el sistema quede en equilibrio, será necesario tener un vector de la misma magnitud y dirección de la resultante, pero de sentido contrario; a este vector se le llama **equilibrante.**



Método analítico:

Para encontrar analíticamente la magnitud de la resultante utilizaremos el Teorema de Pitá-

goras, pues observamos que este vector es la hipotenusa y $\vec{F}_1$ y $\vec{F}_2$ son los catetos (revisar la sección 6 de nociones de matemáticas en el ápendice de este libro).

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{40^2 + 30^2} = 50 \text{ N}$$

Para calcular el ángulo que forma la resultante, utilizamos la función tangente:

$$\tan \alpha = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}} = \frac{40 \text{ N}}{30 \text{ N}} = 1.333$$

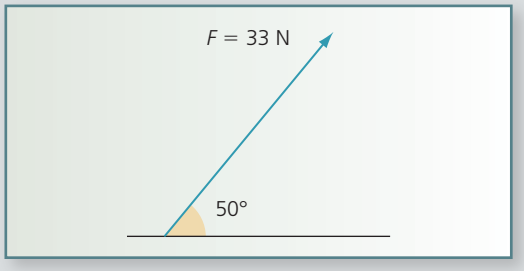
$\therefore \alpha$ es igual a un ángulo cuya tangente es 1.333.

$\alpha = 53.1° = 53°6'$.

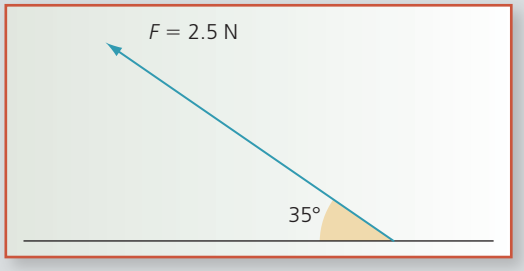
Ejercicios propuestos

1 Encontrar por el método gráfico y analítico las componentes rectangulares de los siguientes vectores:

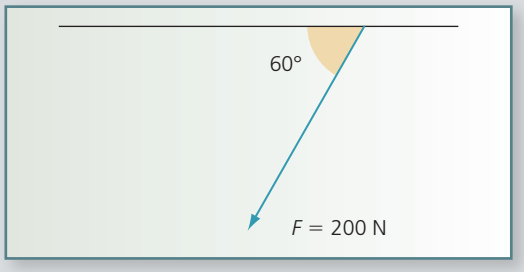
a)



b)



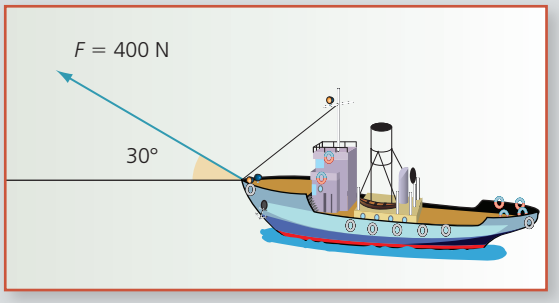
c)



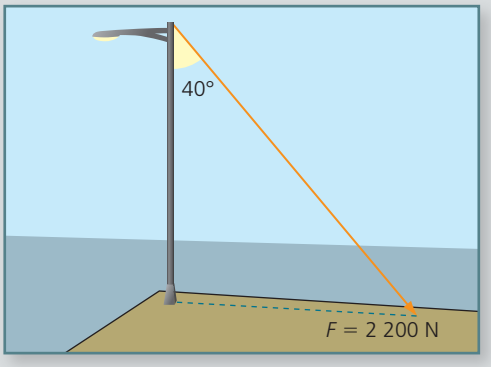
2 Con ayuda de una cuerda se jala un bote aplicando una fuerza de 400 N, la cual forma un ángulo de 30° con el eje horizontal, como se ve en la figura siguiente:

a) Determinar con el método analítico la magnitud de la fuerza que jala el bote horizontalmente.

b) Calcular en forma analítica la magnitud de la fuerza que tiende a levantar el bote.



3 Determinar gráfica y analíticamente las componentes perpendiculares de la fuerza de 2 200 N que ejerce el cable para sostener un poste, como se aprecia en la siguiente figura:



4 Encontrar gráfica y analíticamente la magnitud de las componentes perpendiculares de los siguientes vectores, cuyos ángulos están medidos respecto al eje horizontal positivo, es decir, el eje X positivo:

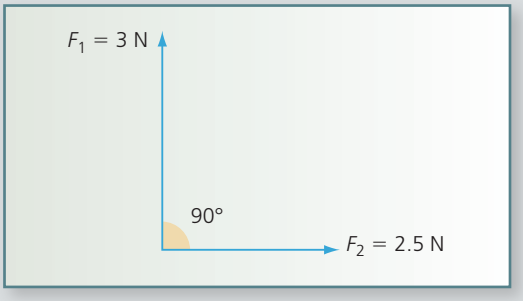
a) $F_x = 320$ N
$\measuredangle$ 25°

b) $d = 45$ m
$\measuredangle$ 70°

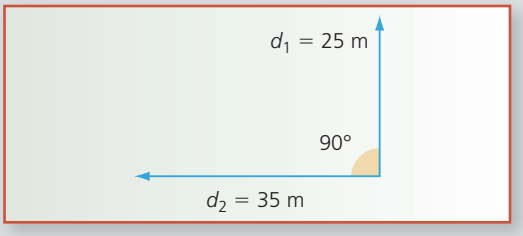
c) $v = 8$ m/s
$\measuredangle$ 130°

5 Por medio de los métodos gráfico y analítico, hallar para cada uno de los casos el vector resultante y el ángulo que forma respecto a la horizontal.

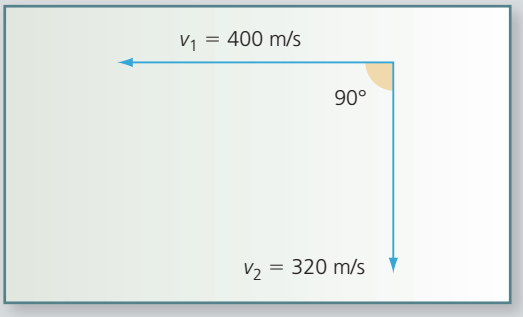
a)



b)



c)

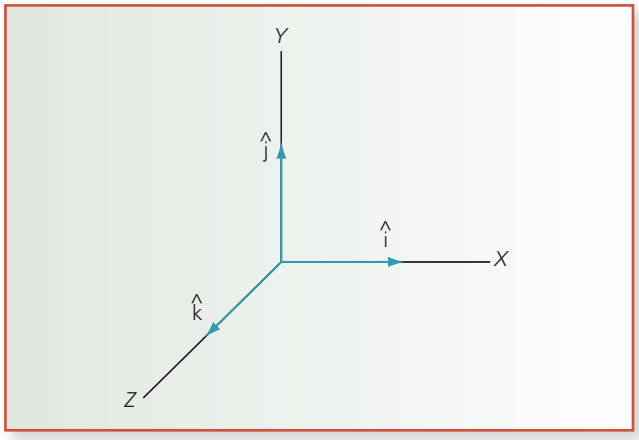


6 La magnitud resultante de la suma de dos velocidades perpendiculares equivale a 100 m/s. Si una de las velocidades tiene una magnitud de 60 m/s, calcular la magnitud de la otra velocidad.

10 VECTORES UNITARIOS

Cuando descomponemos un vector en sus componentes rectangulares, algunas veces se considera útil emplear vectores unitarios en las direcciones de los ejes de las coordenadas rectangulares o cartesianas. Un vector unitario es aquel que tiene una magnitud igual a uno y no tiene dimensiones. Se utiliza con el único fin de especificar una dirección determinada, ya que no tiene ningún otro significado físico.

En un sistema de coordenadas rectangulares es común utilizar los símbolos especiales $\hat{\mathbf{i}}$, $\hat{\mathbf{j}}$ y $\hat{\mathbf{k}}$ para representar vectores unitarios en las direcciones y sentidos positivos de los ejes X, Y y Z, respectivamente. Por tanto, los vectores unitarios $\hat{\mathbf{i}}$, $\hat{\mathbf{j}}$ y $\hat{\mathbf{k}}$, forman un conjunto de vectores perpendiculares entre sí, tal como se aprecia en la figura anterior:



Vale la pena señalar que no es forzoso que los vectores $\hat{\mathbf{i}}$, $\hat{\mathbf{j}}$ y $\hat{\mathbf{k}}$ estén localizados en el origen del sistema de coordenadas, ya que como todos los vectores, también ellos se pueden trasladar a cualquier lugar en el espacio de las coordenadas con la condición de que conserven su misma dirección y sentido respecto a los ejes de las coordenadas.

Así pues, las componentes rectangulares de un vector $\vec{a}$ en función de los vectores unitarios, se expresan de la siguiente manera:

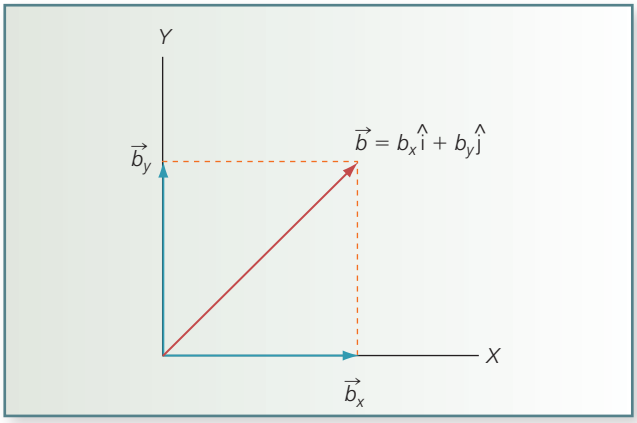
$$\vec{A}_x = A_x \hat{\mathbf{i}}$$

$$\vec{A}_y = A_y \hat{\mathbf{j}}$$

$$\vec{A}_z = A_z \hat{\mathbf{k}}$$

A_x, A_y y A_z representan respectivamente la magnitud de la componente en X, en Y y en Z, toda vez que como ya señalamos, la magnitud de cada vector unitario es igual a la unidad, es decir: $i = j = k = 1$.

En la siguiente figura observamos un vector $\vec{b}$ en un plano con coordenadas cartesianas o rectangulares X, Y, dicho vector puede especificarse como un vector unitario en los siguientes términos:



$$\vec{b} = b_x\,\hat{\mathbf{i}} + b_y\,\hat{\mathbf{j}}$$

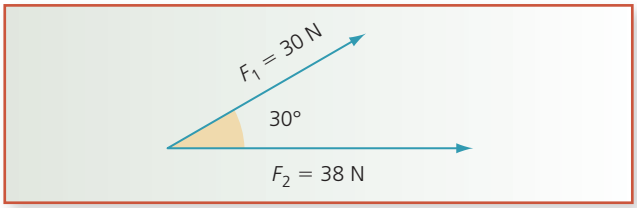
Como se observa, las componentes de $\vec{b}$ en las coordenadas X y Y, son b_x y b_y. El producto de la componente b_x y el vector unitario $\hat{\mathbf{i}}$ es el vector $b_x\,\hat{\mathbf{i}}$, mismo que es paralelo al eje X y su magnitud es b_x. Por tanto, el vector $b_x\hat{\mathbf{i}}$ es otra posibilidad de representar la componente rectangular en el eje X del vector $\vec{b}$, es decir, a $\vec{b}_x$. De igual manera, $b_y\,\hat{\mathbf{j}}$ es un vector de magnitud b_y paralelo al eje Y y el vector $b_y\,\hat{\mathbf{j}}$ es otra posibilidad de representar a $\vec{b}_y$, que es la componente rectangular en el eje Y del vector $\vec{b}$.

11 Suma de dos vectores angulares o concurrentes

Cuando en forma gráfica se desean sumar dos vectores concurrentes se utiliza el método del paralelogramo, ya descrito en la sección anterior. Mientras que para encontrar la resultante por el método analítico se usará el teorema de Pitágoras si los dos vectores forman un ángulo de 90°, pero si originan cualquier otro ángulo se usará la Ley de los Cosenos y para calcular el ángulo de la resultante se aplicará la Ley de los Senos. (Ambas leyes están descritas en la sección de Nociones Matemáticas que se encuentra en el apéndice de este libro.)

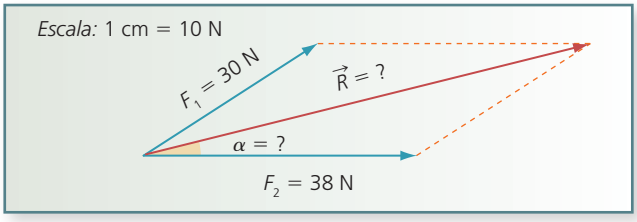
Ejemplo:

Por los métodos gráfico y analítico hallar la resultante y el ángulo que forma con la horizontal en la siguiente suma de vectores:



Método gráfico

Establecemos primero la escala y trazamos los vectores con su ángulo de 30°. Dibujamos la paralela de cada vector y obtenemos el paralelogramo. Medimos la resultante y el ángulo formado.

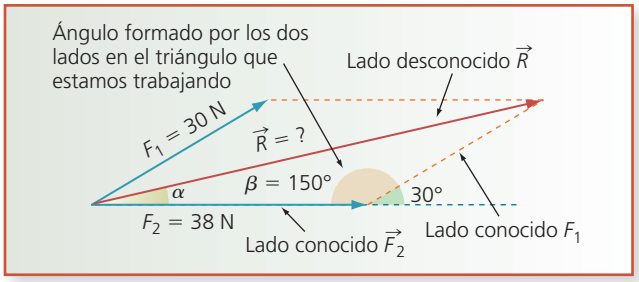


Respuestas:

$$R = 65 \text{ N}$$
$$\alpha = 13.2° = 13°\ 12'$$

Método analítico

Para calcular la resultante debemos encontrar uno de los tres lados de un triángulo oblicuo, cuyos lados conocidos son $\vec{F}_1$ y $\vec{F}_2$. Aplicamos la ley de los cosenos, tomando en cuenta que en el triángulo oblicuo el ángulo β formado por los dos vectores es de 150°. Veamos:



Aplicamos la ley de los cosenos para encontrar la resultante:

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos\beta}$$

Sustituyendo:

$$R = \sqrt{30^2 + 38^2 - 2\times 30\times 38\times \cos 150°}$$

Como el ángulo formado por los dos lados conocidos es mayor de 90°, buscaremos el coseno de 150° de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\cos 150° = -\cos(180° - 150°) = -\cos 30°$$

Leemos en la calcualdora el valor del coseno del ángulo de 30° y le agregamos el signo menos:

$$\cos 30° = 0.8660 \therefore -\cos 30° = -0.8660$$

$$R = \sqrt{900 + 1\,444 - 2 \times 30 \times 38 \times -0.8660}$$
$$= \sqrt{2\,344 + 1\,974.48} = \sqrt{4\,318.48}$$
$$= 65.715 \text{ N}$$

Para calcular el ángulo α que forma la resultante respecto a la horizontal, aplicamos la ley de los senos:

$$\frac{F_1}{\operatorname{sen}\alpha} = \frac{R}{\operatorname{sen}\beta} \therefore \operatorname{sen}\alpha = \frac{F_1 \operatorname{sen}\beta}{R}$$

Como $\beta = 150°$ tenemos que sen β = sen 150°.

Como el ángulo es mayor de 90° encontramos el valor del sen 150° de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\operatorname{sen} 150° = \operatorname{sen}(180° - 150°) = \operatorname{sen} 30° = 0.5$$

Sustituyendo:

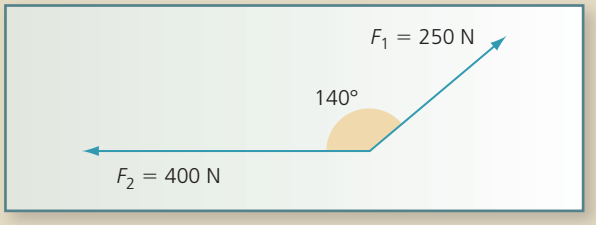
$$\operatorname{sen}\alpha = \frac{30 \text{ N} \times 0.5}{65.715 \text{ N}} = 0.2282$$

α = ángulo cuyo seno es 0.2282

$\alpha = 13.2° = 13°12'$

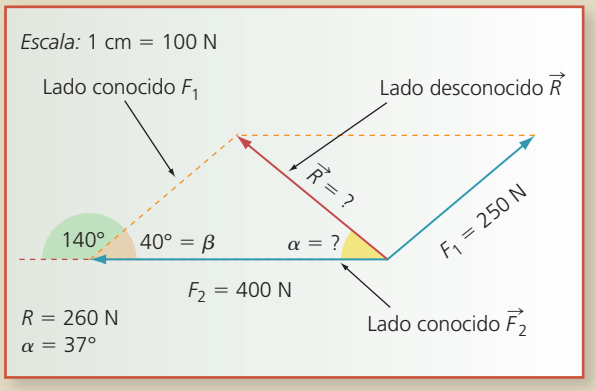
Resolución de problemas de la suma de dos vectores angulares o concurrentes por los métodos gráfico y analítico

1 En la siguiente suma de vectores encontrar, por los métodos gráfico y analítico, la resultante y el ángulo que forma con el eje horizontal.



Solución:

Método gráfico:



Método analítico:

Recordar: Para la ley de los cosenos debemos utilizar el ángulo formado por los dos lados conocidos en el triángulo oblicuo que estamos trabajando.

Cálculo de la resultante:

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos 40°}$$
$$= \sqrt{250^2 + 400^2 - 2 \times 250 \times 400 \times 0.7660}$$
$$= \sqrt{62\,500 + 160\,000 - 153\,200}$$
$$= \sqrt{69\,300} = 263.25 \text{ N}$$

Cálculo del ángulo que forma la resultante:

$$\frac{F_1}{\operatorname{sen}\alpha} = \frac{R}{\operatorname{sen}\beta} \therefore \operatorname{sen}\alpha = \frac{F_1 \operatorname{sen}\beta}{R}$$

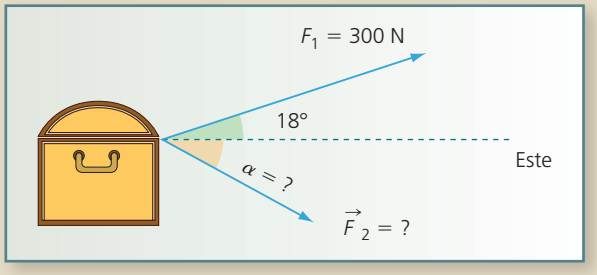
Sustituyendo:

$$\operatorname{sen}\alpha = \frac{250 \text{ N} \times 0.6428}{263.25 \text{ N}} = 0.6104$$

α = ángulo cuyo seno es 0.6104

$\alpha = 37.6° = 37°36'$

2 Dos personas jalan, mediante una cuerda cada una, un baúl de madera, como se ve en la figura:



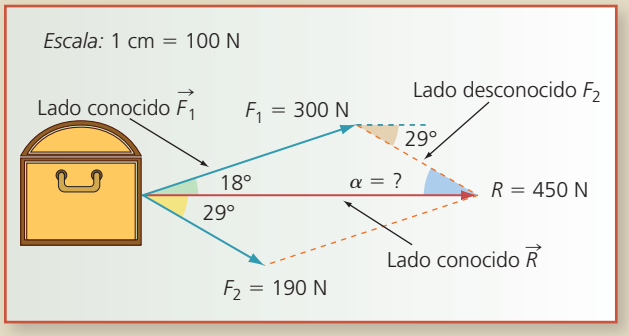
Una de las personas aplica una fuerza F_1 de 300 N con un ángulo de 18° respecto al este. Determinar gráfica y analíticamente la fuerza F_2 que debe aplicar la otra persona y el ángulo que debe formar respecto al este para que el baúl se desplace hacia el este con una fuerza resultante de 450 N.

Solución:

Método gráfico:

Se establece una escala conveniente: 1 cm = 100 N. Se traza la fuerza F_1 de 300 N con un ángulo

de 18° respecto al este. Después se traza la resultante $\vec{R}$ cuya magnitud es de 450 N dirigida al este. Unimos el extremo de $\vec{F}_1$ con el extremo de $\vec{R}$ y esta línea representará la paralela de la fuerza $\vec{F}_2$ buscada. Medimos su valor y el ángulo formado respecto al este. Trazamos con estos datos la fuerza $\vec{F}_2$ y encontramos una magnitud de 190 N con un ángulo α de 29° respecto al este, como se ve en la siguiente figura:



Método analítico:

Como desconocemos $\vec{F}_2$ y conocemos $\vec{F}_1$ y $\vec{R}$ aplicamos la ley de los cosenos. Si sabemos que el ángulo formado por los dos lados conocidos en nuestro triángulo es de 18°.

$$F_2 = \sqrt{F_1^2 + R^2 - 2F_1R\cos 18°}$$

Sustituyendo:

$$F_2 = \sqrt{300^2 + 450^2 - 2 \times 300 \times 450 \times 0.9511}$$
$$= \sqrt{90\,000 + 202\,500 - 256\,797}$$
$$= \sqrt{35703} = 188.95 \text{ N}$$

Cálculo del ángulo α que forma $\vec{F}_2$, aplicando la ley de los senos:

$$\frac{F_1}{\operatorname{sen}\alpha} = \frac{F_2}{\operatorname{sen} 18°} \therefore \operatorname{sen}\alpha = \frac{F_1 \operatorname{sen} 18°}{F_2}$$

Sustituyendo:

$$\operatorname{sen}\alpha = \frac{300 \text{ N} \times 0.3090}{188.95 \text{ N}} = 0.4906$$

α = ángulo cuyo seno es 0.4906

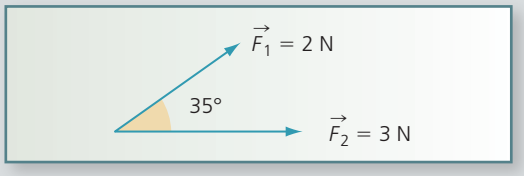
$\alpha = 29.4° = 29°24'$

Nota: Existe una pequeña diferencia entre el resultado obtenido gráficamente y el obtenido analíticamente; sin embargo, este último es más preciso.

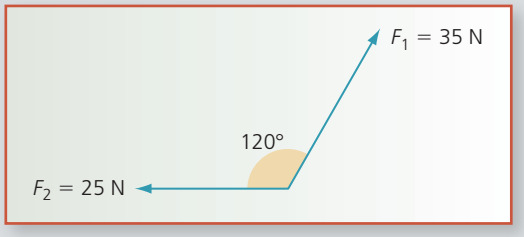
Ejercicios propuestos

1 Encontrar por los métodos gráfico y analítico la resultante, así como el ángulo que forma con el eje horizontal en cada una de las siguientes sumas de vectores.

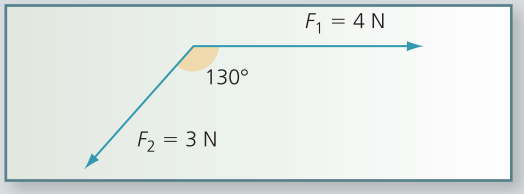
a)



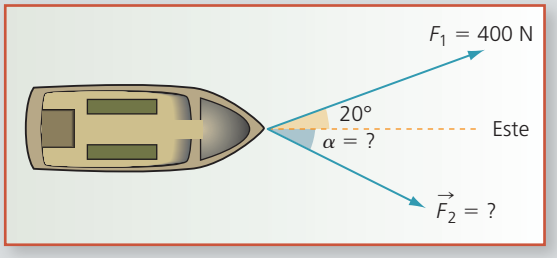
b)



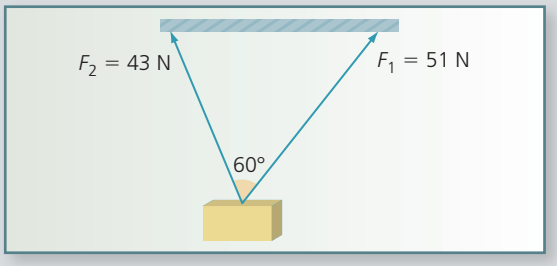
c)



2 Determinar por los métodos gráfico y analítico la fuerza F_2 y el ángulo correspondiente para que la lancha de la figura siguiente se mueva hacia el este con una fuerza resultante de 650 N.



3 Determinar gráficamente el peso de un cuerpo que está suspendido y sostenido por dos cuerdas, como se ve en la figura:



4. Encuentre en forma gráfica el peso de un cuerpo que se encuentra suspendido del techo por dos cuerdas, las cuales ejercen una fuerza cuyas magnitudes son de 320 N y 400 N, y forman un ángulo de 80°.
5. Dos caballos arrastran un tronco mediante sendas cuerdas que llevan atadas a uno de los extremos de dicho tronco. Uno de los caballos ejerce una fuerza de 500 N hacia el este y el otro una fuerza de 800 N en dirección noreste. Determinar gráfica y analíticamente la magnitud de la fuerza resultante, así como el ángulo formado respecto al este.
6. Mediante dos cables enganchados en la proa, un barco es remolcado por dos lanchas de motor. Una lleva una velocidad de 18 m/s al sur y la otra una velocidad de 15 m/s con dirección suroeste, formando un ángulo de 60° respecto al sur. Encontrar por cualquiera de los métodos mencionados la magnitud de la velocidad resultante del barco y el ángulo que forma respecto al sur.
7. Una lancha de motor lleva una velocidad de 16 m/s al cruzar perpendicularmente hacia el norte la corriente de un río cuya velocidad es de 4 m/s al este. Determinar gráfica y analíticamente la velocidad resultante que lleva la lancha y el ángulo formado respecto a la corriente del río.

12 Suma de más de dos vectores concurrentes o angulares

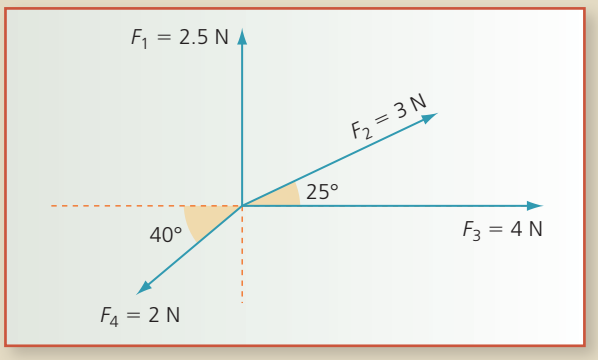
Método gráfico del polígono

Para sumar más de dos vectores angulares o concurrentes en forma gráfica, se utiliza el llamado método del polígono. Dicho método consiste en trasladar paralelamente a sí mismo cada uno de los vectores sumados, de tal manera que al tomar uno de los vectores como base los otros se colocarán uno a continuación del otro, poniendo el origen de un vector en el extremo del otro y así sucesivamente hasta colocar el último vector. La resultante será el vector que una el origen de los vectores con el extremo libre del último vector sumado y su sentido estará dirigido hacia el extremo del último vector.

Resolución de problemas de la suma de más de dos vectores angulares o concurrentes

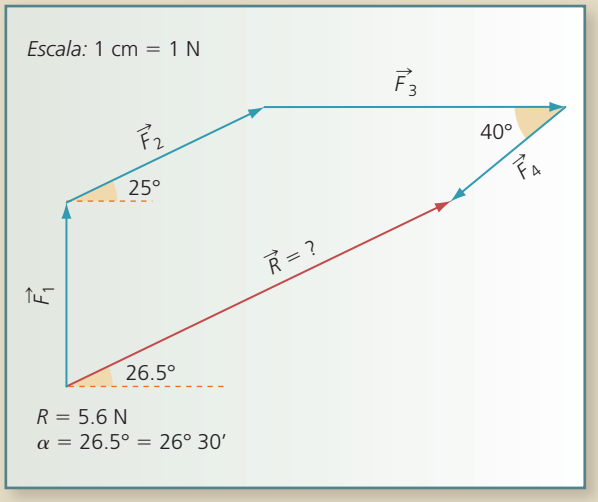
Encontrar en forma gráfica y analítica la resultante de la suma de los siguientes vectores. Determinar también el ángulo que forma la resultante respecto al eje horizontal.

Solución:



Método gráfico del polígono:

Para hallar la resultante podemos tomar como base cualquiera de los cuatro vectores. Si tomamos a $\vec{F}_1$, entonces trasladamos el origen de $\vec{F}_2$ al extremo de $\vec{F}_1$; el origen de $\vec{F}_3$ al extremo de $\vec{F}_2$; y el origen de $\vec{F}_4$ al extremo de $\vec{F}_3$. La resultante será el vector que una el origen de $\vec{F}_1$ con el extremo de $\vec{F}_4$:



Método analítico:

Para encontrar la resultante por el método analítico se procede de la siguiente forma:

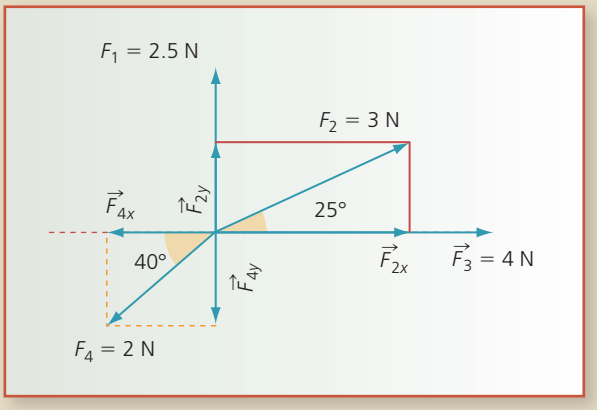
Paso 1. Descomponer cada vector en sus componentes rectangulares.

Paso 2. Calcular la magnitud de la componente en *X*, usando la función coseno y la magnitud de la componente en *Y*, con la función seno para cada vector. (Si la componente es horizontal a la derecha o vertical hacia arriba, es positiva. Si la componente es horizontal a la izquierda o vertical hacia abajo, es negativa.)

Paso 3. Al conocer las magnitudes de todas las componentes en *X* y en *Y* para cada vector, hacer la suma de las componentes en *X* y en *Y*, de tal forma que el sistema original de vectores se reduzca a dos vectores perpendiculares: uno, representando la resultante de todas las componentes en *X*, y otro, representando la resultante de todas las componentes en *Y*.

Paso 4. Encontrar la magnitud resultante de los dos vectores perpendiculares utilizando el teorema de Pitágoras.

Paso 5. Por medio de la función tangente calcular el ángulo que forma la resultante con la horizontal. Veamos:



Al trazar las componentes rectangulares para cada vector tenemos que:

$\vec{F}_1$ no tiene componente horizontal, porque está totalmente sobre el eje vertical positivo.

$\vec{F}_2$ tiene componente horizontal y componente vertical, ambas son positivas.

$\vec{F}_3$ no tiene componente vertical, pues está totalmente sobre el eje horizontal positivo.

$\vec{F}_4$ tiene componente horizontal y componente vertical, ambas son negativas.

Cálculo de las componentes de cada vector:

$$\vec{F}_1 : F_{1x} = 0$$
$$F_{1y} = F_1 = 2.5 \text{ N}$$
$$\vec{F}_2 : F_{2x} = F_2 \cos 25^\circ = 3 \text{ N} \times 0.9063 = 2.7189 \text{ N}$$
$$F_{2y} = F_2 \text{ sen } 25^\circ = 3 \text{ N} \times 0.4226 = 1.2678 \text{ N}$$
$$\vec{F}_3 : F_{3x} = F_3 = 4 \text{ N}$$
$$F_{3y} = 0$$
$$\vec{F}_4 : -F_{4x} = -F_4 \cos 40^\circ = -2 \text{ N} \times 0.7660 = -1.532 \text{ N}$$
$$-F_{4y} = -F_4 \cos 40^\circ = -2 \text{ N} \times 0.6428 = -1.2856 \text{ N}$$

Cálculo de la magnitud de la resultante de la suma de todas las componentes en el eje *X*, es decir, R_x:

$$R_x = \Sigma F_x = F_{2x} + F_{3x} + (-F_{4x})$$

En función de sus magnitudes y tomando en cuenta sus sentidos, tenemos que

$$R_x = 2.7189 \text{ N} + 4 \text{ N} - 1.532 \text{ N} = 5.1869 \text{ N}$$

Nota: La letra griega Σ, llamada sigma, indica suma.

Como se observa $\vec{R}_x$ es positiva, lo que quiere decir que es horizontal hacia la derecha.

Cálculo de la magnitud de la resultante de la suma de todas las componentes en el eje *Y*, es decir, $\vec{R}_y$:

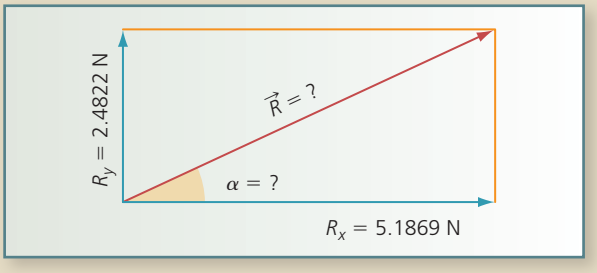
$$R_y = \Sigma F_y = F_{1y} + F_{2y} + (-F_{4y})$$

En función de sus magnitudes y tomando en cuenta sus sentidos, tenemos:

$$R_y = 2.5 \text{ N} + 1.2678 \text{ N} - 1.2856 \text{ N} = 2.4822 \text{ N}$$

Como se observa $\vec{R}_y$ es positiva, lo que quiere decir que es vertical hacia arriba.

Al encontrar $\vec{R}_x$ y $\vec{R}_y$ todo nuestro sistema inicial se redujo a dos vectores rectangulares:



La magnitud de la resultante se calcula con el teorema de Pitágoras:

$$R = \sqrt{R_x^2 R_y^2}$$

$$R = \sqrt{(5.1869)^2 + (2.4822)^2} = 5.75 \text{ N}$$

Cálculo del ángulo α formado por la resultante:

$$\tan\alpha = \frac{R_y}{R_x} = \frac{2.4822}{5.1869} = 0.4785$$

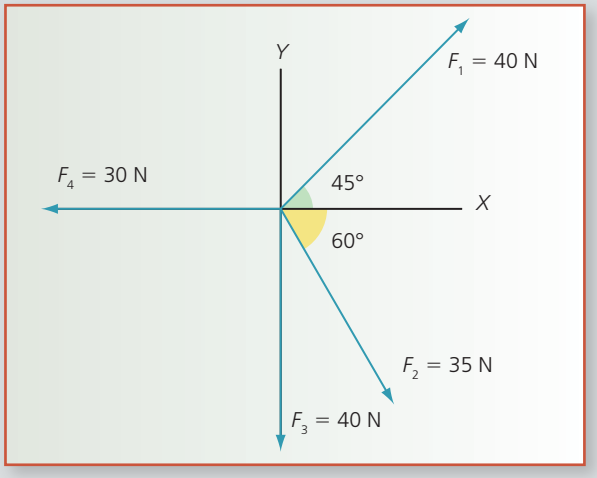
α = ángulo cuya tangente es 0.4785

$\alpha = 25.6° = 25°36'$

Al comparar los resultados obtenidos por el método gráfico y el analítico, se observa una pequeña diferencia, la cual, como ya señalamos anteriormente, se debe a que por el método gráfico estamos expuestos a cometer varios errores al medir los vectores y los ángulos. Por tanto, la ventaja de utilizar el método analítico es que nos dará un resultado más confiable.

Ejercicios propuestos

1. Encontrar la magnitud resultante de las siguientes fuerzas concurrentes, así como el ángulo que forma respecto al eje X positivo, utilizando el método gráfico del polígono:

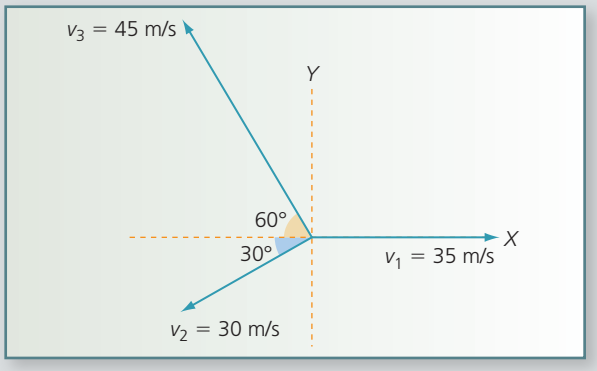


2. Determinar por el método gráfico del polígono la magnitud resultante de las siguientes fuerzas concurrentes, así como el ángulo formado respecto al eje X positivo. Los ángulos de las fuerzas están medidos respecto al eje X positivo.

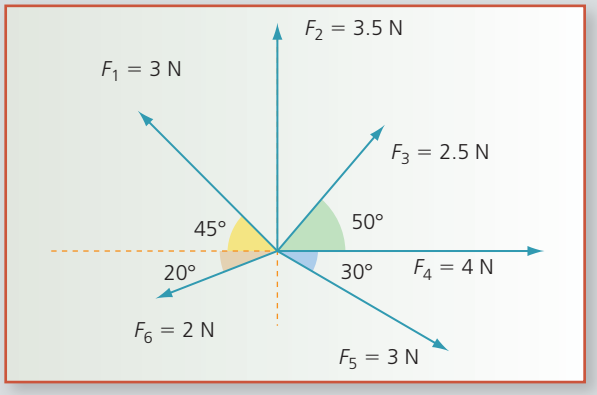
$F_1 = 200$ N a 30°; $F_2 = 300$ N a 90°

$F_3 = 150$ N a 120°; $F_4 = 250$ N a 220°

3. Encontrar por el método gráfico del polígono y por el método analítico de las componentes rectangulares la magnitud resultante de las siguientes velocidades y el ángulo que ésta forma respecto al eje X positivo:



4. Hallar gráfica y analíticamente la magnitud resultante de la suma de los siguientes vectores. Determinar también el ángulo formado con respecto al eje X positivo.

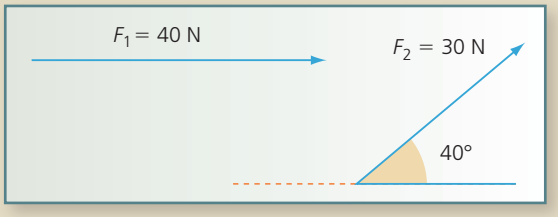


13 Método del triángulo

El método del triángulo se utiliza para sumar o restar dos vectores no concurrentes, es decir, que no tienen ningún punto en común. Este método se basa en el principio de los vectores libres, ya mencionado en la sección 3 de esta unidad.

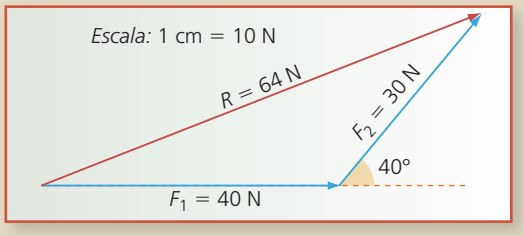
Resolución de problemas del método del triángulo

1 Encontrar por el método gráfico del triángulo la resultante de la suma de los siguientes vectores:

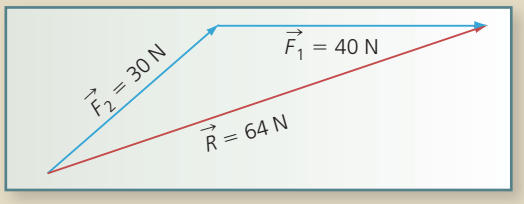


Solución:

a)



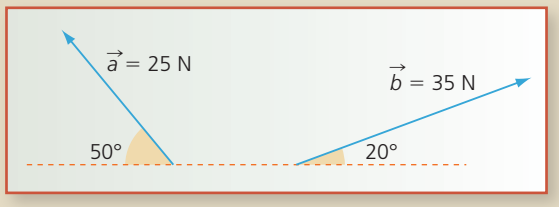
b)



Para sumar los vectores trasladamos el origen de cualquiera de ellos al extremo del otro y la resultante será el vector que una el origen de uno con el extremo del otro. El sentido estará dirigido del origen al extremo.

Como el resultado es el mismo si trasladamos el origen de $\vec{F}_2$ al extremo de $\vec{F}_1$ o el origen de $\vec{F}_1$ al extremo de $\vec{F}_2$, podemos comprobar que con los vectores también se cumple la Ley Conmutativa de la Adición $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_2 + \vec{F}_1$.

2 Hallar la resta de los vectores $\vec{a} - \vec{b}$ por el método gráfico del triángulo y encuentre también el resultado de la resta $\vec{b} - \vec{a}$.



Solución:

Para encontrar la resta de estos vectores debemos revisar el siguiente concepto, es decir, producto de un vector por un escalar.

14 Producto de un vector por un escalar

El producto de un escalar k y de un vector $\vec{r}$ se escribe: $k\vec{r}$ y se define como un nuevo vector cuya magnitud es k veces mayor que la magnitud de $\vec{r}$.

Por ejemplo:

$$\text{si } \vec{r} = 5 \text{ N} \quad \text{y} \quad k = 6$$
$$k\vec{r} = 6 \times 5 \text{ N} = 30 \text{ N}$$

El nuevo vector tiene el mismo sentido que $\vec{r}$ si k es positivo; sin embargo, si k es negativo, el vector resultante cambiará su sentido y magnitud, o sólo su sentido, es decir:

$$\text{si } \vec{r} = 4 \text{ N y } k = -1$$
$$k\vec{r} = -1 \times 4 \text{ N} = -4 \text{ N}$$

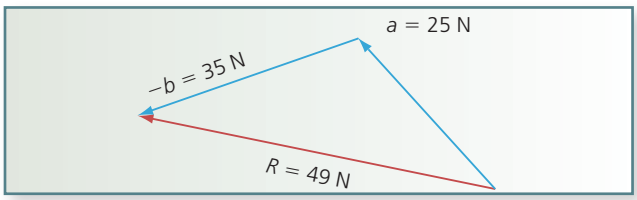
De manera que el nuevo vector es opuesto al vector $\vec{r}$, con la misma magnitud y dirección, pero con sentido contrario. La suma de un vector $\vec{r}$ con su vector opuesto es igual a cero:

$$\vec{r} + (-\vec{r}) = 0$$

De acuerdo con el concepto visto, podemos definir la resta de dos vectores como la suma al vector minuendo del vector opuesto del sustraendo:

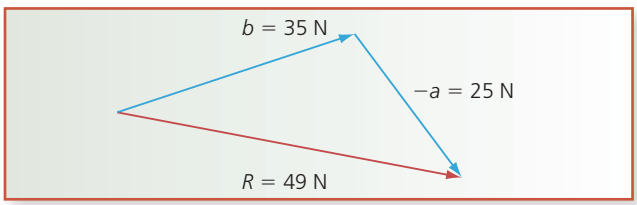
$$\vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$$

Por tanto, la resta de los vectores $\vec{a} - \vec{b}$ del ejemplo 2 de la sección anterior que había quedado pendiente, es:



La resta de los vectores $\vec{b} - \vec{a}$ es:

$$\vec{b} - \vec{a} = \vec{b} + (-\vec{a})$$



15 Producto escalar de dos vectores

El producto escalar de dos vectores, llamado también producto punto, da como resultado una magnitud escalar, pues carece de dirección y sentido. Por definición, el producto escalar de dos vectores es igual **a multiplicar la magnitud de un vector por la componente perpendicular del otro vector en la dirección del primero**.

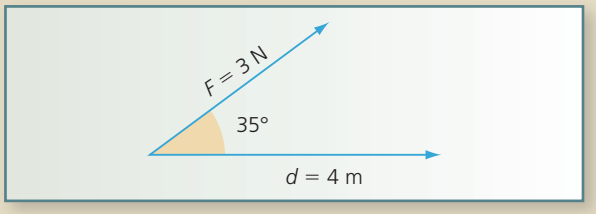
De donde:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = ab \cos \theta$$

Algunas magnitudes físicas que resultan del producto escalar de dos vectores son: el trabajo mecánico, la potencia eléctrica y la densidad de energía electromagnética.

Resolución de un problema de producto escalar

Calcular el producto escalar de los siguientes vectores:



Solución:

$\vec{F} \cdot \vec{d} = Fd \cos 35°$

$\vec{F} \cdot \vec{d} = 3\ \text{N} \times 4\ \text{m} \times 0.8192 = 9.83\ \text{Nm}$

16 Producto vectorial de dos vectores

El producto vectorial de dos vectores, llamado también producto cruz, da como resultado otro vector, el cual siempre es perpendicular al plano formado por los dos vectores que se multiplican.

$$\vec{a} \times \vec{b} = \vec{c}$$

Por definición, la magnitud del producto vectorial de dos vectores es igual a multiplicar la magnitud de un vector por la componente perpendicular del otro respecto al primero.

$$|\vec{a} \times \vec{b}| = ab \text{ sen } \theta$$

En el producto vectorial el orden de los factores debe tomarse en cuenta, pues no es lo mismo $\vec{a} \times \vec{b}$ que $\vec{b} \times \vec{a}$.

En el producto vectorial de $\vec{a}$ y $\vec{b}$ la multiplicación de ab sen θ nos proporciona únicamente la magnitud del vector $\vec{c}$, porque si deseamos conocer su sentido se debe usar la regla de la mano derecha, misma que describiremos en el ejemplo de la resolución de un problema de producto vectorial. **La dirección**, como ya mencionamos, **siempre es perpendicular al plano formado por los vectores que se multiplican.**

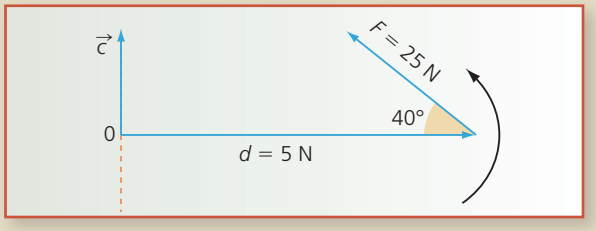
Algunas magnitudes físicas que resultan del producto vectorial son: el momento de una fuerza, la fuerza que recibe una carga en movimiento al penetrar a un campo magnético y la cantidad de movimiento angular.

Resolución de un problema de producto vectorial

Calcular el producto vectorial de los siguientes vectores, $\vec{F}$ y $\vec{d}$ determinando el sentido del vector resultante $\vec{c}$.

Solución:

Para conocer únicamente la magnitud del resultado del producto vectorial $\vec{F} \times \vec{d}$, tenemos:



$|\vec{F} \times \vec{d}\,| = Fd \operatorname{sen} 40°$

$|\vec{F} \times \vec{d}\,| = 25\ \text{N} \times 5\ \text{m} \times 0.6428 = 80.35\ \text{Nm}$

La dirección del vector resultante es perpendicular al plano de $\vec{F}$ y $\vec{d}$, por lo que la dirección es como si saliera de la hoja. **El sentido del vector resultante se determina con la regla de la mano derecha,** que a continuación se explica:

Se analiza primero la dirección que llevará la resultante, la cual resulta perpendicular al plano formado por $\vec{F}$ y $\vec{d}$. Consideramos la dirección del vector resultante como si fuera un eje, alrededor de él cerramos los dedos de la mano derecha con el pulgar extendido. Las puntas de los dedos señalarán el sentido del giro producido por el efecto de la fuerza; mientras el dedo pulgar indicará el sentido del vector resultante. Como se podrá comprobar, el sentido del vector resultante $\vec{c}$ es hacia arriba, como está representado en la figura de la pagina anterior.

Actividad experimental 4

Equilibrio de fuerzas colineales y de fuerzas angulares o concurrentes

Objetivo

Encontrar la resultante y la equilibrante de un sistema de fuerzas colineales y de fuerzas angulares o concurrentes.

Consideraciones teóricas

Para definir las magnitudes escalares sólo se requiere la cantidad expresada en números y el nombre de la unidad de medida. Ejemplos: longitud, masa y volumen. Las magnitudes vectoriales son las que para definirse, además de la cantidad expresada en números y el nombre de la unidad, necesitan que se señale la dirección y el sentido. Ejemplos: desplazamiento, velocidad, aceleración y fuerza. Cualquier magnitud vectorial puede ser representada en forma gráfica por medio de una flecha llamada **vector**. Gráficamente, un vector es un segmento de recta dirigido. Un vector cualquiera tiene las siguientes características: a) punto de aplicación; b) magnitud; c) dirección; e) sentido. Para representar un vector gráficamente se necesita una escala, la cual es convencional porque se establece de acuerdo con la magnitud del vector y el tamaño que se le quiera dar. Una recomendación práctica es utilizar escalas sencillas, como 1:1, 1:10, 1:100 y 1:1 000, cuando sea posible.

Un sistema de vectores es colineal cuando dos o más vectores se encuentran en la misma dirección o línea de acción.

Un sistema de vectores es angular o concurrente cuando la dirección o línea de acción de los vectores se cruza en algún punto; dicho punto constituye el punto de aplicación de los vectores. La **resultante** de un sistema de vectores es aquel vector que produce el mismo efecto de los demás vectores integrantes del sistema. El vector capaz de equilibrar un sistema de vectores recibe el nombre de **equilibrante**, tiene la misma magnitud y dirección que la resultante, pero con sentido contrario. Para sumar magnitudes vectoriales empleamos métodos gráficos, como el del paralelogramo o el del polígono, y métodos analíticos, porque los vectores no pueden sumarse aritméticamente por tener dirección y sentido.

El efecto que una fuerza produce sobre un cuerpo depende de su magnitud, así como de su dirección y sentido, por tanto, la fuerza es una magnitud vectorial. Para medir la intensidad o magnitud de una fuerza se utiliza un instrumento llamado dinamómetro, su funcionamiento se basa en la **Ley de Hooke**, la cual dice: dentro de los límites de elasticidad las deformaciones sufridas por un cuerpo son directamente proporcionales a la fuerza recibida. El dinamómetro consta de un resorte con un índice y una escala graduada; la deformación producida en el resorte al colgarle un peso conocido, se transforma mediante la lectura del índice en la escala graduada, en un valor concreto de la fuerza aplicada. La unidad de fuerza usada en el Sistema Internacional es el newton (N), aunque en ingeniería se utiliza todavía mucho el llamado kilogramo-fuerza (kg_f) o kilopondio: 1 kg_f = 9.8 N. También se utiliza el gramo-fuerza (g_f) o pondio: 1 kg_f = 1 000 g_f.

Material empleado

Tres dinamómetros, tres prensas de tornillo, una regla graduada, un transportador, una argolla metálica, tres trozos de cordón, un lápiz y tres hojas de papel.

Desarrollo de la actividad experimental

1. A la mitad de un lápiz ate dos cordones de tal manera que uno quede a la izquierda y otro a la derecha. Pídale a un compañero sujetar uno de los extremos y usted tire del otro, evitando mover el lápiz. ¿Qué se puede concluir de la magnitud de las dos fuerzas que actúan sobre el lápiz? Para cuantificar la magnitud de las fuerzas enganche un dinamómetro en cada extremo de los cordones y vuelvan a tirar de ambos dinamómetros sin mover el lápiz. Registren las lecturas que marcan los dinamómetros. ¿Cómo son esas lecturas?

2. Sujete tres cordones a la argolla metálica como se ve en la figura 3.9. Con ayuda de otros dos compañeros tire cada uno un extremo de los cordones, de tal manera que la argolla no se mueva. ¿Cuál es su conclusión acerca de las fuerzas que actúan sobre la argolla? Enganche un dinamómetro a cada extremo de los cordones y monte un dispositivo como el mostrado en la figura 3.10. Registre la lectura de cada dinamómetro cuando el sistema quede en equilibrio.

3. Coloque debajo de la argolla una hoja de papel y trace sobre ella las líneas correspondientes a las posiciones de los cordones. Anote en cada trazo la magnitud de la lectura de los dinamómetros, así como el ángulo que forman entre sí, medido con su transportador. Con los trazos hechos en la hoja y mediante una escala conveniente, represente el diagrama vectorial. Considere la fuerza $\vec{F}_3$, la cual se lee en el dinamómetro C, como la equilibrante de las otras dos fuerzas: $\vec{F}_1$ y $\vec{F}_2$. Compare la magnitud de $\vec{F}_3$, leída en el dinamómetro, con la obtenida gráficamente al sumar $\vec{F}_1$ y $\vec{F}_2$ por el método del paralelogramo. ¿Cómo son ambas magnitudes? Cualquiera de las fuerzas puede ser la equilibrante de las otras dos, por ello $\vec{F}_2$ es la equilibrante de $\vec{F}_1$ y $\vec{F}_3$, así como $\vec{F}_1$, es la equilibrante de $\vec{F}_2$ y $\vec{F}_3$. Reproduzca un sistema similar al de la figura 3.10, pero con ángulos diferentes, trace un diagrama vectorial representativo de esta nueva situación; sume dos vectores cualesquiera por el método del paralelogramo y compare la magnitud de la resultante obtenida con la tercera fuerza. ¿Cómo son estas magnitudes?

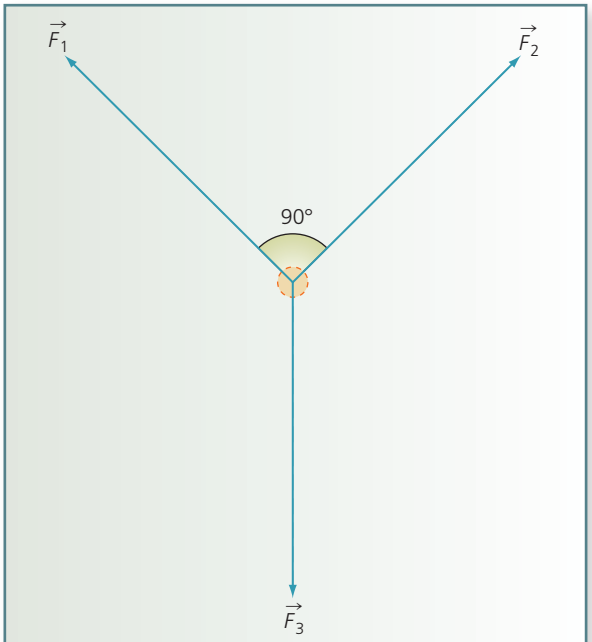


figura 3.9

Sistemas de fuerzas concurrentes.

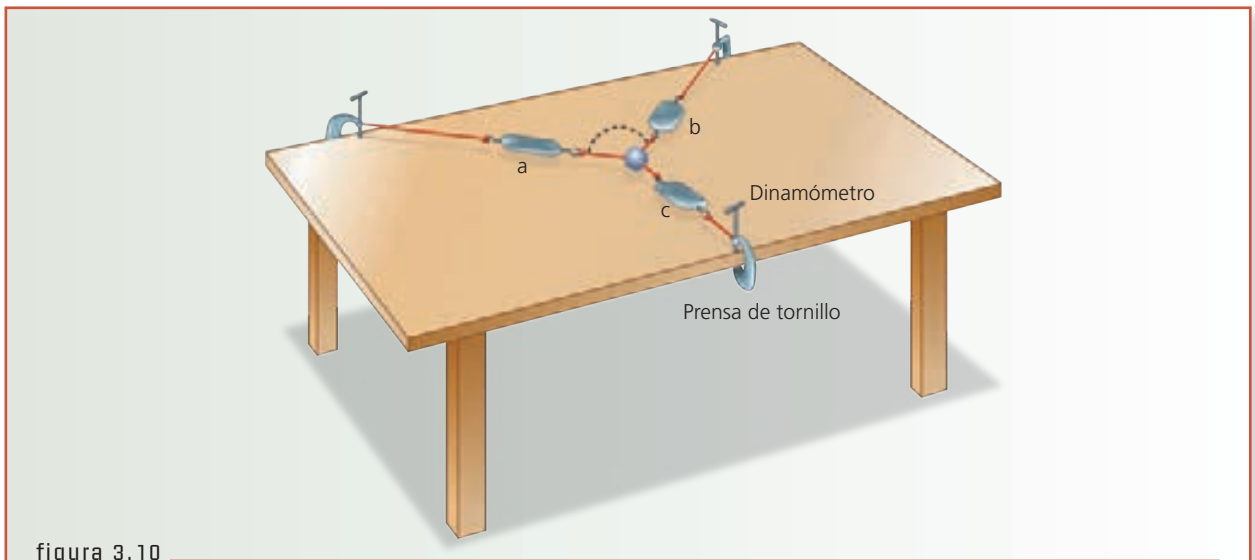


figura 3.10

Lectura de la magnitud de las fuerzas concurrentes mediante el uso de los dinamómetros.

Cuestionario

1. ¿Qué condición se debe cumplir para que un cuerpo esté en equilibrio?
2. ¿Cómo lograron que el lápiz no se moviera?
3. ¿Qué sistema de fuerzas contruyeron de acuerdo con el punto 1 de su actividad experimental?
4. ¿Cómo se determina la resultante de dos fuerzas concurrentes en forma gráfica?
5. ¿Cómo define a la resultante de un sistema de fuerzas?
6. ¿Qué características tiene la equilibrante de un sistema de fuerzas?
7. ¿Qué método gráfico utilizaría para sumar tres o más fuerzas concurrentes?
8. ¿Por qué decimos que cualquiera de las fuerzas concurrentes puede considerarse como la equilibrante de las otras fuerzas que forman al sistema?

Resumen

1. Para definir las *magnitudes escalares* sólo se requiere la cantidad expresada en números y el nombre de la unidad de medida. Ejemplo: longitud, masa y volumen. Las *magnitudes vectoriales* son aquellas que para definirse, además de la cantidad expresada en números y el nombre de la unidad, necesitan que se señale la dirección y el sentido. Ejemplos: desplazamiento, velocidad, aceleración y fuerza. Cualquier magnitud vectorial puede ser representada en forma gráfica por medio de una flecha llamada vector. Gráficamente, un vector es un segmento de recta dirigido.

2. Todo vector tiene las siguientes características: **a)** *Punto de aplicación*. **b)** *Magnitud*: intensidad o módulo del vector. **c)** *Dirección*: que puede ser horizontal, vertical u oblicua. **d)** *Sentido*: queda señalado por la punta de la flecha, se puede identificar de manera convencional con signos (+) o (−).

3. Para representar un vector se necesita una escala convencional, la cual se establece de acuerdo con la magnitud del vector y el tamaño que se le quiera dar. Una recomendación práctica es utilizar escalas sencillas, como 1:1, 1:100, 1:1 000, cuando sea posible.

4. Los vectores que se localizan en un mismo plano, es decir, en dos ejes, reciben el nombre de coplanares. Son no coplanares cuando se ubican en diferente plano, es decir, en tres ejes (X, Y y Z). Los vectores deslizantes son aquellos que se pueden desplazar o deslizar a lo largo de su línea de acción, o sea, en su misma dirección. Los vectores libres son aquellos que no tienen un punto de aplicación en particular.

5. Un sistema de vectores *colineales* se presenta cuando dos o más vectores se encuentran en la misma dirección o línea de acción. Un sistema de vectores es angular o concurrente cuando la dirección o línea de acción de los vectores se cruza en algún punto; el punto de cruce constituye el punto de aplicación de los vectores.

6. Un vector resultante es aquel capaz de sustituir un sistema de vectores. El vector que es capaz de cancelar el vector resultante de un sistema de vectores recibe el nombre de equilibrante, tiene la misma magnitud y dirección que la resultante, pero con sentido contrario.

7. Los vectores tienen las siguientes propiedades: **a)** *Igualdad de vectores*. Dos vectores son iguales cuando su magnitud, dirección y sentido también son iguales. **b)** *Adición*. Sólo se pueden sumar dos o más vectores si tienen las mismas unidades de medida. **c)** *Negativo de un vector*. El negativo de un vector $\vec{a}$ es aquel vector que sumado al vector $\vec{a}$ da un resultado igual a cero. **d)** *Ley conmutativa de la adición de vectores*. Cuando se suman dos vectores, la resultante de la adición es la misma sin importar el orden en que se sumen los vectores. **e)** *Transmisibilidad del punto de aplicación*. El efecto externo de un vector deslizante no se modifica si es trasladado en su misma dirección, es decir, sobre su propia línea de acción. **f)** *Vectores libres*. Los vectores se modifican si se trasladan paralelamente a sí mismos.

8. Un sistema de vectores puede sustituirse por otro equivalente que contenga un número mayor o menor de vectores que el sistema considerado. Si el sistema equivalente tiene un número mayor de vectores, el procedimiento se llama *descomposición*. Si el sistema equivalente tiene un número menor de vectores, el procedimiento se llama *composición*. Se llaman componentes de un vector aquellos que lo sustituyen en la descomposición. Las componentes rectangulares o perpendiculares

de un vector se pueden encontrar en forma gráfica haciendo lo siguiente: se traza el vector de acuerdo con una escala convencional y a partir del extremo del vector se dibuja una línea hacia el eje de las *X* y otra hacia el eje de las *Y*. En el punto de intersección del eje *X* quedará el extremo del vector componente $\vec{F}_x$. En el punto de intersección del eje *Y* quedará el extremo del vector componente $\vec{F}_Y$. A fin de encontrar en forma analítica las magnitudes de las componentes rectangulares o perpendiculares, se usan las expresiones: $F_X = F \cos \theta$ para la componente horizontal y, $F_Y = F \operatorname{sen} \theta$ para la componente vertical.

9. Un vector unitario es aquel que tiene una magnitud igual a 1 y no tiene dimensiones, se utiliza con el único fin de especificar una dirección determinada, ya que no tiene ningún otro significado físico.

10. Para hallar la resultante, es decir, aquel vector capaz de sustituir a un sistema de vectores, se pueden usar métodos gráficos como el del paralelogramo cuando se trata de sumar dos *vectores angulares o concurrentes* o el del *polígono* cuando se suman más de dos *vectores concurrentes*. Si la resultante se desea encontrar por métodos analíticos se usa el *teorema de Pitágoras,* siempre y cuando los dos vectores formen un ángulo de 90°; pero si forman cualquier otro ángulo se empleará la ley de los cosenos, y para calcular el ángulo de la resultante se aplicará la ley de los senos. Cuando se trata de encontrar por el método analítico la suma de más de dos vectores concurrentes, se procede de la siguiente forma: **a)** Se descompone cada vector en sus componentes rectangulares. **b)** Se calcula la magnitud de la componente en *X* usando la función coseno y la magnitud de la componente en *Y* usando la función seno. **c)** Se hace la suma de las componentes en *X* y en *Y*, de tal forma que el sistema original de vectores se reduzca a dos vectores perpendiculares. **d)** Se encuentra la resultante de los dos vectores perpendiculares utilizando el teorema de Pitágoras. **e)** Se determina el ángulo que forma la resultante con la horizontal, por medio de la función tangente.

11. El método del triángulo se utiliza para sumar o restar dos vectores libres, es decir, dos vectores que no se localizan en un solo punto fijo en el espacio.

12. El producto de un escalar k y de un vector $\vec{r}$ se escribe: $k\vec{r}$ y se define como un nuevo vector cuya magnitud es k veces la magnitud de $\vec{r}$. Si k vale 1 y su signo es negativo, al multiplicarlo por el vector $\vec{r}$ se obtendrá un nuevo vector opuesto al vector $\vec{r}$, el cual tendrá la misma magnitud y dirección pero diferente sentido.

13. El producto escalar de dos vectores, llamado también producto punto, da como resultado una magnitud escalar. Por definición, el producto escalar de dos vectores es igual a multiplicar la magnitud de un vector por la componente perpendicular del otro vector, en la dirección del primero: $\vec{a} \cdot \vec{b} = ab \cos \theta$.

14. El producto vectorial de dos vectores, llamado también producto cruz, da como resultado otro vector que siempre es perpendicular al plano formado por los dos vectores multiplicados: $\vec{a} \times \vec{b} = \vec{c}$. Por definición, la magnitud del producto vectorial de dos vectores es igual a multiplicar la magnitud de un vector por la componente perpendicular del otro vector con respecto al primero: $|\vec{a} \cdot \vec{b}| = ab \operatorname{sen} \theta$. Esta expresión representa únicamente la magnitud del vector $\vec{c}$, de manera que si se desea conocer su sentido se debe usar la *regla* llamada *de la mano derecha.* La dirección siempre es perpendicular al plano formado por los vectores multiplicados.

Autoevaluación

Escriba en su cuaderno las respuestas a las siguientes preguntas. Si se le presentan dudas al responder vuelva a leer la sección correspondiente del libro, la cual viene señalada al final de cada pregunta para su fácil localización.

1. Defina qué es una magnitud escalar y mencione tres ejemplos. *(Introducción de la unidad 3)*
2. Defina qué es una magnitud vectorial y nombre tres ejemplos de ellas. *(Introducción de la unidad 3)*
3. Explique por medio de un dibujo qué es un vector y cuáles son sus características. *(Introducción de la unidad 3 y Sección 1)*
4. Dibuje dos vectores que tengan la misma magnitud y dirección, pero diferente sentido. *(Sección 1)*
5. Dibuje los siguientes vectores, utilizando una escala conveniente para cada caso: **a)** $\vec{F} = 5\,000$ N dirección vertical; **b)** $\vec{v} = 23.5$ m/s dirección horizontal; **c)** $\vec{d} = 45$ m, $\measuredangle = 30°$ respecto al eje horizontal. *(Sección 2)*
6. Represente en forma gráfica dos vectores coplanares y dos vectores no coplanares. *(Sección 3)*

7. Explique qué es un sistema de vectores colineales y cite un ejemplo observable en su entorno. *(Sección 4)*

8. Explique qué es un sistema de vectores concurrentes y dibuje un ejemplo observable en su vida cotidiana. *(Sección 5)*

9. ¿Cómo se define la resultante de un sistema de vectores y cómo la equilibrante? *(Sección 6)*

10. Dé un ejemplo de su vida cotidiana en el cual se compruebe el principio de transmisibilidad del punto de aplicación de un vector. *(Sección 7)*

11. Mencione en qué consiste la propiedad de los vectores libres. *(Sección 7)*

12. Explique por qué no es posible sumar aritméticamente los vectores y diga de qué manera sí se puede hacer. *(Sección 8)*

13. ¿Utilice un ejemplo de su entorno que le sea útil para explicar la diferencia que existe entre distancia y desplazamiento? *(Sección 8)*

14. Explique, mediante un ejemplo gráfico, en qué consiste el procedimiento llamado descomposición rectangular de un vector. *(Sección 9)*

15. Describa brevemente en forma analítica cómo se encuentran los componentes rectangulares o perpendiculares de un vector. *(Sección 9)*

16. ¿Por qué es más preciso emplear un método analítico que uno gráfico? *(Sección 9)*

17. Explique en qué consiste el método gráfico del paralelogramo para encontrar la resultante de la suma de dos vectores concurrentes. *(Sección 9)*

18. Si se le pide encontrar analíticamente la resultante y el ángulo que ésta forma respecto al eje horizontal de dos vectores concurrentes que componen un ángulo de 90°, ¿qué conocimientos de trigonometría aplicaría? *(Sección 9)*

19. Explique qué es un vector unitario y para qué se utiliza. *(Sección 10)*

20. Al sumar vectores concurrentes, ¿cuándo se utiliza la ley de los cosenos y la ley de los senos? *(Sección 11)*

21. Al aplicar la ley de los cosenos, ¿qué ángulo nos interesa para calcular la resultante de la suma de dos vectores concurrentes? *(Sección 11)*

22. Si en un triángulo oblicuángulo el ángulo que forman los dos lados conocidos mide 130º, ¿cuánto vale el coseno de 130°? *(Sección 11)*

23. Describa por medio de un dibujo, en qué consiste el método gráfico del polígono para encontrar la resultante de la suma de más de dos vectores concurrentes. *(Sección 12)*

24. Al sumar más de dos vectores usando el método gráfico del polígono, ¿importa el orden en que se sumen los vectores? Sí o no y por qué. *(Sección 12)*

25. Describa brevemente por el método analítico en qué consiste el procedimiento para encontrar la resultante de la suma de más de dos vectores concurrentes. *(Sección 12)*

26. Explique por medio de un dibujo el método gráfico del triángulo. *(Sección 13)*

27. Si un vector r tiene una magnitud de 50 N dirección horizontal y se multiplica por un escalar k, cuál sería el nuevo vector en cada caso si k tiene los siguientes valores: **a)** $k = -1$; **b)** $k = 10$; **c)** $k = -0.5$. *(Sección 14)*

28. Cuando se multiplican dos vectores y se obtiene una magnitud escalar, ¿qué nombre recibe el producto de los vectores? *(Sección 15)*

29. Si se realiza el producto escalar de un vector $\vec{s}$ y uno $\vec{p}$, ¿cómo se expresa matemáticamente dicho producto? *(Sección 15)*

30. ¿Qué tipo de producto se efectúa cuando al multiplicar un vector $\vec{d}$ por otro vector $\vec{h}$ se obtiene un nuevo vector $\vec{z}$? *(Sección 16)*

31. Para conocer la magnitud del producto vectorial de los vectores $\vec{d}$ y $\vec{h}$, ¿qué expresión matemática se usa? *(Sección 16)*

32. Mencione dos ejemplos de magnitudes físicas que sean el resultado de un producto: a) escalar; b) vectorial. *(Secciones 15 y 16)*

Coevaluación

Instrucciones: Consolide su aprendizaje, para ello lea y conteste en una hoja las siguientes preguntas. Luego, intercambie con un(a) compañero(a) sus respuestas. Coméntenlas, pónganse de acuerdo y den respuestas comunes. Discútanlas con las demás parejas y enriquezcan sus conocimientos con las aportaciones de todos.

1. Investigue en la bibliografía, en Internet o preguntando a algún conocido, cómo se construye una cometa o papalote. Construya uno y póngalo a volar. Después, conteste lo siguiente:

   a) ¿Cómo explica la causa del vuelo de su cometa o papalote?

   b) ¿Cómo puede lograr que una cometa vuele más alto o bajo?

2. Necesita subir una carretilla a la planta alta de una casa utilizando la escalera.

¿Qué le resultará más conveniente, empujar o jalar la carretilla para poder subir cada uno de los escalones? ¿Por qué?

Glosario

- **Equilibrante de un sistema de vectores**

  Es el vector que es capaz de cancelar el vector de la fuerza resultante de un sistema de vectores. Por tanto, tiene la misma magnitud y dirección que la resultante, pero con sentido contrario.

- **Magnitud escalar**

  Es aquella que queda perfectamente definida con sólo indicar su cantidad expresada en números y la unidad de medida.

- **Magnitud vectorial**

  Es aquella que para quedar definida, además de la cantidad expresada en números y el nombre de la unidad de medida, necesita indicarse claramente la dirección y el sentido en que actúa.

- **Resultante de un sistema de vectores**

  Es el vector que produce por sí solo el mismo efecto que los demás vectores del sistema.

- **Sistema de vectores colineales**

  Cuando dos o más vectores se encuentran en la misma dirección o línea de acción.

- **Sistema de vectores angulares o concurrentes**

  Cuando la dirección o línea de acción de los vectores se cruza en algún punto.

- **Vector**

  Segmento de recta dirigido.

- **Vectores coplanares**

  Son aquellos que se localizan en el mismo plano, es decir, en dos ejes (X, Y).

- **Vectores deslizantes**

  Son aquellos que se pueden desplazar o deslizar a lo largo de su línea de acción, es decir, en su misma dirección.

- **Vectores libres**

  Son aquellos que no tienen un punto de aplicación en particular.

- **Vectores no coplanares**

  Son aquellos que se localizan en diferente plano, es decir, en tres ejes (X, Y, Z).

- **Vectores unitarios**

  Son aquellos que tienen una magnitud igual a 1 y no tienen dimensiones. Se utilizan con el único fin de especificar una dirección determinada.

Una vez que te hayas registrado en www.recursosacademicosenlinea-gep.com.mx localiza el enlace del libro Física General 4ª. edición de Héctor Pérez Montiel e ingresa la clave PRZFS74G para que puedas utilizar los recursos en línea que diseñamos para ti.

UNIDAD 4

CONTENIDO

- Importancia del estudio de la cinemática
- Concepto de partícula material en movimiento…
- Sistemas de referencia
- Distancia, desplazamiento, velocidad y rapidez
- Movimiento rectilíneo uniforme (MRU)
- Velocidad media
- Velocidad instantánea
- Interpretación de gráficas de la magnitud de desplazamiento-tiempo y magnitud de la velocidad-tiempo
- Aceleración y movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA)
- Tiro parabólico
- Movimiento circular
- Movimiento circular uniformemente acelerado (MCUA)
- Movimiento armónico simple (MAS)
- Actividades experimentales: 5, 6, 7, 8, 9 y 10
- Resumen
- Autoevaluación
- Coevaluación
- Glosario

Todo el Universo se encuentra en constante movimiento. Los cuerpos presentan movimientos rápidos, lentos, periódicos y azarosos. La Tierra **describe un movimiento de rotación girando sobre su propio eje**, al mismo tiempo describe **un movimiento de traslación alrededor del Sol**. La Luna gira alrededor de la Tierra; los electrones alrededor del núcleo atómico. Así, a nuestro alrededor siempre observaremos algo en movimiento: niños corriendo y saltando, nubes desplazándose por el cielo, pájaros volando, árboles balanceándose a uno y otro lado por un fuerte viento. Todo es movimiento. **La mecánica es la rama de la Física encargada de estudiar los movimientos y estados de los cuerpos.** Se divide en dos partes: **1) Cinemática**, estudia los diferentes tipos de movimiento de los cuerpos sin atender las causas que lo producen. **2) Dinámica**, estudia las causas que originan el movimiento de los cuerpos. **La estática** que analiza las situaciones que posibilitan el equilibrio de los cuerpos, queda comprendida dentro del estudio de la dinámica.

Un cuerpo tiene movimiento cuando cambia su posición a medida que transcurre el tiempo. Para poder expresar en forma correcta un movimiento o cambio de posición, debemos relacionarlo con un marco o sistema de referencia claramente establecido. **Un sistema de referencia es absoluto** cuando toma en cuenta un sistema fijo de referencia, tal es el caso de considerar a la Tierra como sistema fijo para analizar el movimiento de automóviles, trenes, barcos o aviones, entre otros. En cambio, **un sistema de referencia relativo** considera móvil al sistema de referencia; un caso representativo lo tenemos al determinar las trayectorias a seguir por una nave espacial que parte de la Tierra a la Luna, pues se debe considerar que las posiciones de la Tierra, la Luna y la nave cambian constantemente. En realidad, el sistema de referencia absoluto no existe porque todo se encuentra en constante movimiento. **El movimiento de los cuerpos puede ser en una dimensión o sobre un eje,** por ejemplo, el desplazamiento en línea recta de un automóvil o el de un tren; **en dos dimensiones o sobre un plano**, como el movimiento de la rueda de la fortuna, de un disco fonográfico, el de un avión al despegar o aterrizar, o el de un proyectil cuya trayectoria es curva; **en tres dimensiones o en el espacio**, como el de un tornillo que al hacerlo girar con un desarmador penetra en la pared.

La Tierra, la Luna, un avión, un tren, un automóvil, una pelota y, en general, un cuerpo físico cualquiera, **puede ser considerado como una partícula**, lo cual nos facilita describir su movimiento.

La velocidad experimentada por un cuerpo puede ser constante o variable y es una **magnitud vectorial;** su dirección queda determinada por la dirección del desplazamiento.



Cinemática

1 Importancia del estudio de la cinemática

Cuando decimos que un cuerpo se encuentra en movimiento, interpretamos que su posición está variando respecto a un punto considerado fijo. El estudio de la cinemática nos posibilita conocer y predecir en qué lugar se encontrará un cuerpo, qué velocidad tendrá al cabo de cierto tiempo, o bien, en qué lapso llegará a su destino. Hacer la descripción del movimiento de un cuerpo significa precisar, a cada instante, su posición en el espacio. Para ello, debemos disponer de instrumentos que nos posibiliten hacer mediciones, como es el caso de las cintas métricas, los relojes y las cámaras fotográficas con luz estroboscópica; estas últimas permiten ver, aparentemente inmóviles o con movimientos lentos, aquellos cuerpos que tienen movimientos rápidos, ya sean de rotación o alternativos.

2 Concepto de partícula material en movimiento e interpretación de su trayectoria

En la descripción del movimiento de cualquier objeto material, también llamado cuerpo físico o simplemente cuerpo, resulta útil interpretarlo como una partícula material en movimiento, es decir, como si fuera un solo punto en movimiento. Para ello, se considera la masa de un cuerpo concentrada en un punto. Por supuesto, no se requiere que el cuerpo sea de dimensiones pequeñas para considerarlo como una partícula material, pues sólo se pretende facilitar la descripción de sus cambios de posición al suponer que todas sus partes constitutivas están animadas del mismo movimiento.

El considerar a un cuerpo físico como una simple partícula nos evita analizar en detalle los diferentes movimientos experimentados por el mismo cuerpo durante su desplazamiento de un punto a otro. Pensemos en la trayectoria de un balón de fútbol cuando es pateado; en realidad, mientras se desplaza en el aire puede ir girando, pero si lo suponemos una partícula eliminamos los diferentes giros que hace y consideramos únicamente un solo movimiento, de manera que **cualquier cuerpo físico puede ser considerado como una partícula.**

La trayectoria de una partícula, o el camino recorrido al pasar de su posición inicial a su posición final, puede ser recta o curva, resultando así los movimientos rectilíneos o curvilíneos, los cuales pueden ser uniformes o variados dependiendo de que la velocidad permanezca constante o no.

3 Sistemas de referencia

En la descripción del movimiento de un objeto o de una partícula es necesario señalar perfectamente cuál es su posición; para ello, se usa un sistema de referencia. Existen dos tipos de sistemas de referencia: el absoluto y el relativo.

El sistema de referencia absoluto es aquel que considera un sistema fijo de referencia, y el sistema de referencia relativo es el que considera móvil al sistema de referencia. En realidad, el sistema de referencia absoluto no existe; por ejemplo, si una persona parada en una esquina observa a un automóvil circular a una velocidad de 50 km/h hacia el norte podría considerarse que el automóvil se mueve respecto a un punto fijo, el cual es la persona misma parada en la esquina; pero en realidad la persona también se mueve, pues la Tierra está en continuo movimiento de rotación y de traslación alrededor del Sol. Sin embargo, resulta útil tomar en cuenta los movimientos que se producen sobre la superficie de la Tierra, suponiendo a ésta como un sistema de referencia absoluto, es decir, fijo (figura 4.1).

La importancia de definir claramente el sistema de referencia empleado al describir el movimiento de un cuerpo, se comprenderá mejor con los siguientes ejemplos: en un tren cuya marcha es de 80 km/h viaja una persona a la cual se le ocurre cami-

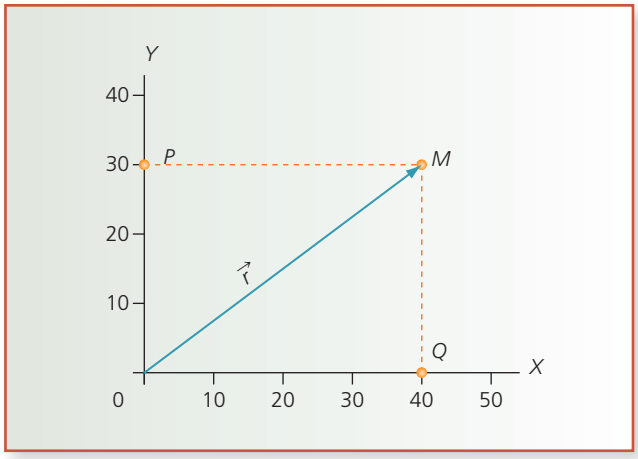


figura 4.1
El movimiento de los esquiadores se analiza suponiendo a la Tierra como un sistema fijo de referencia.

nar en el vagón en la misma dirección que la máquina y a una velocidad cuya magnitud es 5 km/h, esto lo hace considerando al tren como un sistema de referencia inmóvil; sin embargo, si otra persona observa el paso del tren, su sistema de referencia será la Tierra, y para él la magnitud de la velocidad del pasajero se obtendrá al sumar la magnitud de la velocidad de éste y la del tren, dando como resultado 85 km/h. De igual manera, cuando viajamos en un avión y observamos el movimiento de las azafatas por el pasillo central, lo referimos respecto al avión, considerado como un sistema de referencia fijo. Pero para el piloto que supervisa meticulosamente el vuelo del avión y mira en forma permanente hacia el exterior, tendrá como sistema de referencia a la Tierra considerada fija o inmóvil.

Sistema de coordenadas cartesianas o coordenadas rectangulares

Para describir la posición de una partícula sobre una superficie, se utiliza un sistema de coordenadas cartesianas o coordenadas rectangulares. En este sistema, los ejes se cortan perpendicularmente en un punto 0 llamado origen. El eje horizontal es el de las abscisas o de las X y el eje vertical es el de las ordenadas o de las Y. Observemos la siguiente figura:



La posición de una partícula M situada en el plano está determinada por dos magnitudes: la abscisa o distancia $0Q$ medida entre el origen y la intersección en Q de una línea que pasa por M, y la ordenada o distancia $0P$ existente entre el origen y la intersección en P de una línea que pasa por M.

Por tanto, la posición de la partícula es:

$$M = (X, Y)$$

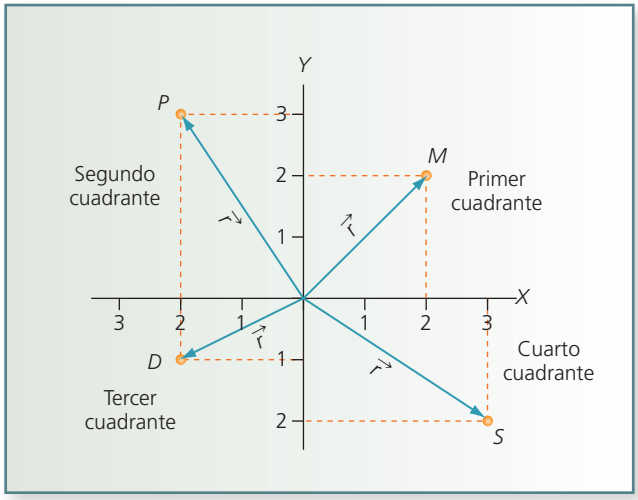
donde: $X = 40$

$Y = 30$

$M = (40, 30)$

Localización de una partícula en el espacio utilizando un vector de posición

La posición de la partícula también puede representarse por el vector $\vec{r}$ llamado vector de posición, cuyas componentes rectangulares son X, Y. Según el cuadrante en que se encuentren las coordenadas, éstas tendrán signo positivo o negativo:



En el primer cuadrante X, Y son positivas, $M = (2, 2)$.

En el segundo cuadrante X es negativa, Y positiva,

$$P = (-2, 3).$$

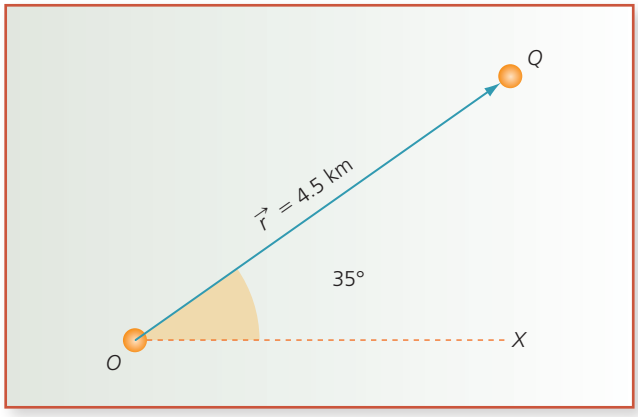
En el tercer cuadrante X, Y son negativas,

$$D = (-2, -1).$$

En el cuarto cuadrante X es positiva, Y negativa,

$$S = (3, -2).$$

Para determinar la posición de una partícula, también se utilizan las llamadas coordenadas polares. Consideremos la siguiente figura:



La posición de la partícula Q queda determinada por la distancia de esta partícula al origen 0, así como por el ángulo formado por $0Q$ respecto a $0X$, recta del plano que recibe el nombre de eje polar. Por tanto, para la partícula Q las coordenadas polares son $\vec{r} = 4.5$ km, $\theta = 35°$. Observemos que la posición de la partícula Q está determinada por el vector de posición $\vec{r}$ cuya magnitud es de 4.5 km con un ángulo de 35° respecto al eje polar.

4 Distancia, desplazamiento, velocidad y rapidez

Distancia y desplazamiento

La distancia recorrida por un móvil es una magnitud escalar, ya que sólo interesa saber cuál fue la magnitud de la longitud recorrida por el móvil durante su trayectoria seguida, sin importar en qué dirección lo hizo. Por ejemplo, si a una persona le recomiendan correr 3 km todos los días para tener buena condición física, no importa si lo hace en línea recta corriendo 1.5 km de ida y 1.5 km de regreso, o los recorre dando vueltas a un parque hasta completar los 3 kilómetros. En cambio, el desplazamiento de un móvil es una magnitud vectorial, pues corresponde a una distancia medida en una dirección particular entre dos puntos: el de partida y el de llegada. Así, una persona puede caminar 10 m al norte y 10 m al sur para regresar al mismo punto de donde partió. Tendremos entonces que su distancia recorrida es de 20 m, sin embargo, su desplazamiento es igual a cero, porque regresó al mismo lugar de partida. Encontrará más ejemplos en la sección 8 de esta unidad.

Velocidad y rapidez

La velocidad y la rapidez generalmente se usan como sinónimos en forma equivocada, no obstante que la rapidez es una cantidad escalar que únicamente indica la magnitud de la velocidad, y la velocidad es una magnitud vectorial, pues para quedar bien definida requiere que se señale, además de su magnitud, su dirección y su sentido. Cuando un móvil sigue una trayectoria en línea recta, recorriendo distancias iguales en cada unidad de tiempo, su rapidez y velocidad permanecen constantes; en cambio, si en una trayectoria curva el móvil logra conservar una rapidez constante, por ejemplo, 30 km/h, su velocidad va cambiando, aunque su magnitud, o rapidez, no varía, pero su sentido sí va modificándose. En conclusión, cuando en Física se habla de velocidad, no se refiere sólo a la rapidez con que se mueve un cuerpo, sino también en qué dirección lo hace.

La dirección de la velocidad de un cuerpo móvil queda determinada por la dirección o línea de acción en la cual se efectúa su desplazamiento. La velocidad de un cuerpo puede ser constante o variable. Por ejemplo, un ciclista al inicio de una carrera va aumentando paulatinamente la magnitud de su velocidad y durante algunos tramos en línea recta, la conserva constante; al subir una cuesta reduce la magnitud de su velocidad, misma que se incrementa durante la bajada. Al final de la carrera, trata de incrementar al máximo la magnitud de su velocidad hasta llegar a la meta, después la va disminuyendo hasta detenerse totalmente.

La velocidad se define como el desplazamiento realizado por un móvil dividido entre el tiempo que tarda en efectuarlo:

$$\vec{v} = \frac{\vec{d}}{t}$$

donde: $\vec{v}$ = velocidad del móvil
$\vec{d}$ = desplazamiento del móvil
t = tiempo en que se realiza el desplazamiento

Las unidades de velocidad son:

En el SI $\vec{v}$ = m/s

En el CGS $\vec{v}$ = cm/s

Resolución de problemas de distancia, desplazamiento, velocidad y rapidez

1 Encontrar la velocidad en m/s de un automóvil cuyo desplazamiento es de 7 km al norte en 6 minutos.

Solución:

Datos

$\vec{d}$ = 7 km al norte
$\vec{t}$ = 6 min
$\vec{v}$ = ? m/s

Fórmula

$$\vec{v} = \frac{\vec{d}}{t}$$

Transformación de unidades

$$7 \text{ km} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 7\,000 \text{ m}$$

$$6 \text{ min} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 360 \text{ s}$$

Sustitución y resultado

$$\vec{v} = \frac{7\,000 \text{ m}}{360 \text{ s}} = 19.44 \text{ m/s al norte}$$

2 Determinar el desplazamiento en metros que realizará un ciclista al viajar hacia el sur a una velocidad de 35 km/h durante 1.5 minutos.

Solución:

Datos

$\vec{v} = 35$ km/h al sur

$t = 1.5$ min

$\vec{d} = ?$ m

Fórmula

$$v = \frac{d}{t} \therefore d = vt$$

Transformación de unidades

$$35\frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1\,000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} = 9.7\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$1.5 \text{ min} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 90 \text{ s}$$

Sustitución y resultado

$$d = 9.7\frac{\text{m}}{\text{s}} \times 90 \text{ s} = 873 \text{ m}$$

$\vec{d} = 873$ m al sur

3 Una lancha de motor desarrolla una velocidad cuya magnitud es de 6.5 m/s, si la velocidad que lleva la corriente de un río hacia el este es de 3.4 m/s.

Calcular:

a) La velocidad de la lancha si va en la misma dirección y sentido que la corriente del río.

b) La velocidad de la lancha si va en la misma dirección, pero en sentido contrario a la corriente del río.

c) La velocidad de la lancha si se requiere cruzar perpendicularmente el río de una orilla a la otra. Determinar también cuál será la dirección que llevará la lancha, emplear el método del paralelogramo.

Solución:

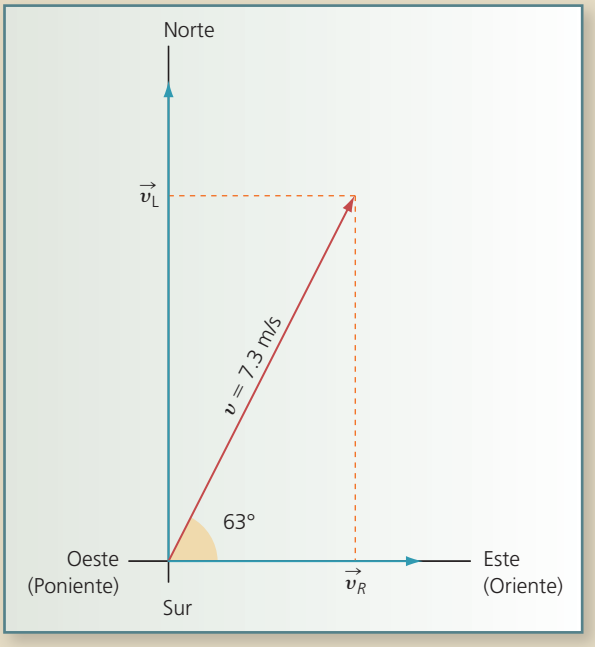
a) $\vec{v} = \vec{v}_L + \vec{v}_R = 6.5\frac{\text{m}}{\text{s}} + 3.4\frac{\text{m}}{\text{s}} = 9.9\frac{\text{m}}{\text{s}}$ al este

b) $\vec{v} = -\vec{v}_L + \vec{v}_R = -6.5\frac{\text{m}}{\text{s}} + 3.4\frac{\text{m}}{\text{s}}$

$= -3.1\frac{\text{m}}{\text{s}}$ al oeste

Nota: El signo (−) de la velocidad de la lancha (v_L) se debe a que va hacia el oeste (poniente), o sea, hacia la izquierda del eje X.

c) Escala: 1 cm = 1 m/s



Como se aprecia, la velocidad de la lancha es de 7.4 m/s con un ángulo de 63° en dirección noreste.

Ejercicios propuestos

1 Determinar el desplazamiento en metros de un automóvil que va a una velocidad de 80 km/h al este, durante 0.5 min.

2 Calcular el tiempo en segundos que tardará un tren en desplazarse 3 km en línea recta hacia el sur con una velocidad de 70 km/h.

3 Un barco navega a una velocidad cuya magnitud es de 60 km/h en un río cuya velocidad es de 15 km/h al norte.

Calcular:

a) La velocidad del barco si va en la misma dirección y sentido que la corriente del río.

b) La velocidad del barco si va en la misma dirección, pero en sentido contrario a la corriente del río.

c) La velocidad del barco al cruzar perpendicularmente el río de una orilla a la otra. Encontrar también la dirección que llevará el barco.

4 Si un barco navega en el mismo sentido de la corriente de un río, consume menos combustible que cuando va en sentido contrario a la corriente. ¿Cómo explicaría este comportamiento en el consumo de combustible?

5 Movimiento rectilíneo uniforme (MRU)

Cuando un móvil sigue una trayectoria recta en la cual realiza desplazamientos iguales en tiempos iguales se dice que efectúa un movimiento rectilíneo uniforme (figura 4.2). Supongamos que en 1 segundo un móvil se desplaza 2 metros; al transcurrir 2 segundos, se habrá desplazado 4 metros; al transcurrir 3 segundos, se habrá desplazado 6 metros y así sucesivamente; en este caso observaremos que la velocidad permanece constante, ya que por cada incremento en el tiempo de 1 segundo, tendrá un incremento de 2 metros en su desplazamiento. Para representar algún cambio en una variable se utiliza la letra griega Δ (delta), por tanto, podemos escribir la fórmula de la velocidad en función de los cambios en su desplazamiento respecto al cambio en el tiempo de la siguiente forma:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{d}}{\Delta t} = \frac{\vec{d}_2 - \vec{d}_1}{t_2 - t_1}$$

Siempre que se trate del movimiento de un móvil en línea recta, recorriendo desplazamientos iguales en tiempos iguales, la relación: $\frac{\Delta \vec{d}}{\Delta \vec{t}}$ será un valor constante.

Donde: $\frac{\Delta \vec{d}}{\Delta t} = k = \text{constante.}$



figura 4.2

Todo cuerpo que describe una trayectoria recta en la cual recorre distancias iguales en tiempos iguales efectúa un movimiento rectilíneo uniforme.

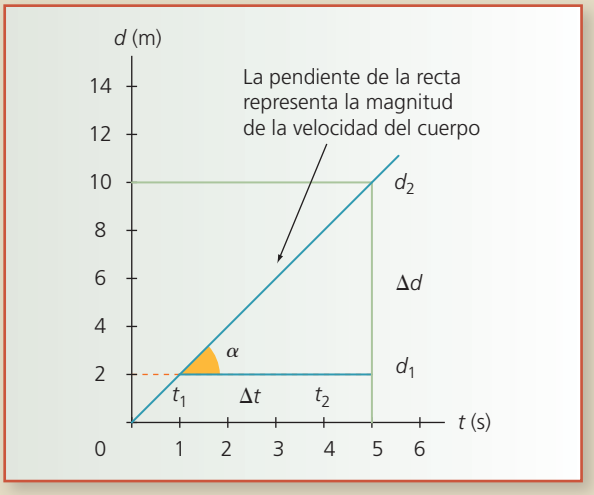
Resolución de un problema de MRU

En el movimiento de un cuerpo se obtuvieron los siguientes datos:

cuadro 4.1 Datos del movimiento de un cuerpo

Número de intervalo	t_1 (s)	d_1 (m)	t_2 (s)	d_2 (m)	Δt (s)	Δd (m)	$\Delta d / \Delta d$ (m/s)
1	0	0	1	2	1	2	2
2	1	2	2	4	1	2	2
3	2	3	3	6	1	2	2
4	3	4	4	8	1	2	2
5	4	5	5	10	1	2	2
6	5	6	6	12	1	2	2

Si graficamos los datos de la magnitud del desplazamiento en función del tiempo que utilizó el cuerpo para realizarlo, tendremos:



Como se observa, al graficar las diferentes magnitudes del desplazamiento en función del tiempo y al

unir los puntos se obtuvo una línea recta. La pendiente de la recta representa la magnitud de la velocidad e indica que ésta permanece constante, ya que sólo para una línea recta las variaciones iguales a lo largo de un eje corresponden a variaciones iguales sobre el otro eje. Por tanto, existe una relación de proporcionalidad directa entre la variable desplazamiento del cuerpo y la variable tiempo.

También podemos decir que la pendiente de la recta obtenida en la gráfica desplazamiento-tiempo es la constante de proporcionalidad entre las dos variables y representa a la magnitud de la velocidad. Mientras mayor es la pendiente de la recta, mayor será la magnitud de la velocidad del móvil.

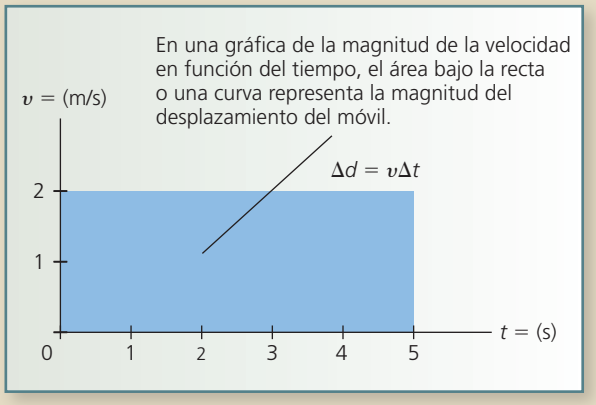
Para calcular la magnitud de la velocidad basta determinar la tangente de la recta, es decir, el valor de su pendiente en cualquier punto de ella. Por tanto, se dibuja un triángulo rectángulo entre dos puntos cualquiera de la recta, misma que equivaldrá a la hipotenusa. De acuerdo con el triángulo rectángulo que trazamos en nuestra gráfica, su tangente es igual a:

$$\tan\alpha = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}} = v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$$

$$v = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1} = \frac{10\text{ m} - 2\text{ m}}{5\text{ s} - 1\text{ s}} = \frac{8\text{ m}}{4\text{ s}} = 2\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

En conclusión, siempre que grafiquemos los datos de la magnitud del desplazamiento de un móvil en función del tiempo que tarda en realizarlo, la pendiente de la recta o de la curva obtenida representará la magnitud o de la velocidad del móvil.

Con los mismos datos del cuadro 4.1 graficaremos la magnitud de la velocidad (relación $\Delta d/\Delta t$) en función del tiempo:



Cuando se grafican la magnitud de la velocidad y el tiempo, y permanece constante la magnitud de la velocidad, se obtiene una línea recta paralela al eje t. Para cualquier tiempo, el área del rectángulo representa el producto $v\Delta t$ equivalente a la magnitud del desplazamiento realizado por el móvil, pues $\Delta d = v\Delta t$.

Por tanto, la magnitud del desplazamiento a un tiempo de 5 segundos con una velocidad cuya magnitud es de 2 m/s será de 10 m.

6 Velocidad media

La mayoría de los movimientos que realizan los cuerpos no son uniformes, es decir, sus desplazamientos generalmente no son proporcionales al cambio de tiempo; debido a ello es necesario considerar el concepto de velocidad media; por ejemplo, cuando oímos decir que de la ciudad de México a la de Puebla se hace en autobús una hora treinta minutos, al recorrer la distancia de 128 kilómetros que las separa, podemos calcular la magnitud de la velocidad media durante el viaje:

$$v_m = \frac{d}{t} = \frac{128\text{ km}}{1.5\text{ h}} = 85.3\text{ km/h}$$

Evidentemente, la magnitud de la velocidad del autobús durante el viaje no puede ser constante, pues en las partes rectas su magnitud de velocidad será mayor que en las curvas (figura 4.3). Por tanto, una magnitud de velocidad media representa la relación entre la magnitud del desplazamiento total hecho por un móvil y el tiempo en efectuarlo.

Cuando un móvil experimenta dos o más magnitudes de velocidades distintas durante su movimiento se puede obtener una magnitud de la velocidad media o promedio si sumamos las magnitudes de las velocidades y las dividimos entre el número de las magnitudes de las velocidades sumadas.



figura 4.3

La magnitud de la velocidad de un vehículo es mayor en las rectas que en las curvas.

Resolución de problemas de velocidad media

1 Encuentre la velocidad promedio de un móvil que durante su recorrido hacia el norte tuvo las siguientes magnitudes de velocidades:

$v_1 = 18.5$ m/s, $v_2 = 22$ m/s

$v_3 = 20.3$ m/s, $v_4 = 21.5$ m/s

Solución:

Datos

$v_1 = 18.5$ m/s

$v_2 = 22$ m/s

$v_3 = 20.3$ m/s

$v_4 = 21.5$ m/s

$v_m = ?$

Fórmula

$$v_m = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + v_4}{4}$$

$$v_1 + v_2 + v_3 + v_4 = \Sigma v$$

$$\therefore v_m = \frac{\Sigma v}{4}$$

Sustitución y resultado

$$\Sigma v = 18.5 \text{ m/s} + 22 \text{ m/s} + 20.3 \text{ m/s} + 21.5 \text{ m/s}$$
$$= 82.3 \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_m = \frac{82.3 \text{ m/s}}{4} = 20.57 \text{ m/s al norte}$$

2 Calcular la velocidad media de un móvil si partió al este con una velocidad inicial de 2 m/s y su velocidad final fue de 2.7 m/s.

Solución:

Datos

$v_0 = 2$ m/s

$v_f = 2.7$ m/s

$v_m = ?$

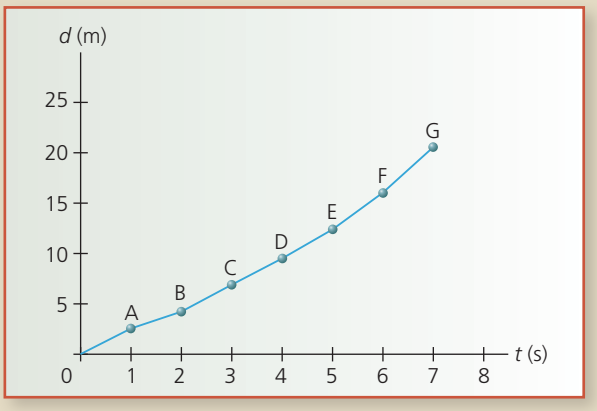
Fórmula

$$v_m = \frac{v_0 + v_f}{2}$$

Sustitución y resultado

$$\vec{v}_m = \frac{2 \text{ m/s} + 2.7 \text{ m/s}}{2} = 2.35 \text{ m/s al este}$$

3 Con los datos de la magnitud del desplazamiento de un automóvil en función del tiempo se obtuvo la siguiente gráfica:

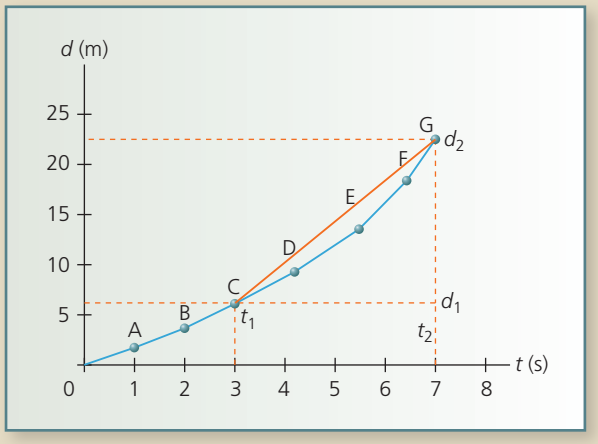


Calcular:

a) La magnitud de la velocidad media del automóvil durante el intervalo de $t_1 = 3$ s a $t_2 = 7$ s.

Solución:

Para encontrar la magnitud de la velocidad media calcularemos la pendiente de una recta hipotética trazada desde C hasta G, como se ve en la gráfica siguiente:



Donde la pendiente que representa la magnitud de la velocidad media del automóvil es igual a:

$$v_m = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1} = \frac{22 \text{ m} - 6 \text{ m}}{7 \text{ s} - 3 \text{ s}} = \frac{16 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}$$

Este resultado indica que durante el intervalo de 4 segundos, desde 3 a 7 segundos, la magnitud de la velocidad media del automóvil fue de 4 m/s.

4 Determine el tiempo en que un móvil recorre una distancia de 30 m si lleva una velocidad media de 3 m/s al sur.

Solución:

Datos

$d = 30$ m

$v_m = 3$ m/s

$t = ?$

Fórmula

$$v_m = \frac{d}{t} \therefore t = \frac{d}{v_m}$$

Sustitución y resultado

$$t = \frac{30 \text{ m}}{3 \text{ m/s}} = 10 \text{ s}$$

5 Calcule la distancia en metros que recorrerá un motociclista durante 10 segundos si lleva una velocidad media de 60 km/h al oeste.

Solución:

Datos

$v_m = 60$ km/h

$t = 10$ s

$d = ?$

Fórmula

$$v_m = \frac{d}{t} \therefore d = v_m t$$

Transformación de unidades

$$60\frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1\,000\text{ m}}{1\text{ km}} \times \frac{1\text{ h}}{3600\text{ s}} = 16.66\text{ m/s}$$

Sustitución y resultado

$d = 16.66$ m/s $\times$ 10 s $=$ 166.6 m

Ejercicios propuestos

1. Calcular la magnitud de la velocidad promedio de un autobús de pasajeros que recorre una distancia de 120 km en 90 minutos. Exprese el resultado en km/h.
2. Determine la magnitud de la velocidad media de un móvil que lleva una velocidad inicial cuya magnitud es de 3 m/s y su velocidad final tiene una magnitud de 4.2 m/s.
3. Encuentre el desplazamiento en metros que realizará un ciclista durante 7 segundos si lleva una velocidad media de 30 km/h al norte.
4. Calcular el tiempo en horas en que un automóvil efectúa un desplazamiento de 3 km si lleva una velocidad media de 50 km/h al sur.

7 Velocidad instantánea

La velocidad media se aproxima a una velocidad instantánea, cuando en el movimiento de un cuerpo los intervalos de tiempo considerados son cada vez más pequeños (figura 4.4). Si el intervalo de tiempo es tan pequeño que casi tiende a cero, la velocidad del cuerpo será instantánea. Matemáticamente podemos decir que la velocidad instantánea en un punto es el límite de la velocidad media alrededor del punto cuando el intervalo de tiempo (Δt) es tan pequeño que tiende a cero ($\Delta t \to 0$) y se representa de la siguiente manera:

$$\vec{v}_{\text{inst}} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{d}}{\Delta t}$$

Cuando la velocidad de un móvil permanece constante, la velocidad media y la velocidad instantánea son iguales.

Sin embargo, como es muy común que la velocidad de un móvil varíe constantemente, para conocer cuál es su velocidad en un momento dado, debemos calcular su velocidad instantánea.



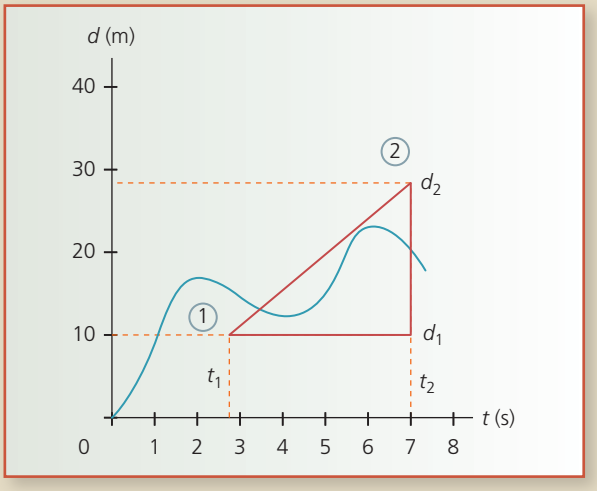
figura 4.4

La velocidad media y la instantánea son iguales cuando la velocidad de un móvil permanece constante.

Resolución de un problema de velocidad instantánea

Con los datos de la magnitud del desplazamiento de un móvil en función del tiempo, se construyó la gráfica de la página siguiente y se determinó la magnitud de la velocidad instantánea a los 6 segundos:

Para calcular la magnitud de la velocidad instantánea en cualquier momento, se traza una tangente a la curva en el punto considerado; tomando dos puntos de la tangente se determina la pendiente, es decir,



la magnitud de la velocidad instantánea. En nuestro caso, el instante considerado es a los 6 segundos. Al trazar la tangente a la curva, tomamos los puntos 1 y 2 cuya pendiente tiene el siguiente valor

$$v_{inst} = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1} = \frac{28\text{ m} - 10\text{ m}}{7\text{ s} - 2.7\text{ s}} = \frac{18\text{ m}}{4.3\text{ s}} = 4.18\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Este resultado indica que a los seis segundos, la magnitud de la velocidad instantánea del móvil es de 4.18 m/s.

8 Interpretación de gráficas de la magnitud de desplazamiento-tiempo y magnitud de la velocidad-tiempo

Para interpretar correctamente el movimiento de un cuerpo mediante el empleo de gráficas: magnitud del desplazamiento-tiempo y magnitud de la velocidad-tiempo, debemos considerar lo siguiente:

a) La magnitud del desplazamiento puede ser positiva o negativa: si d_2 es mayor que d_1 la magnitud del desplazamiento es positiva y si d_2 es menor que d_1, la magnitud del desplazamiento es negativa.

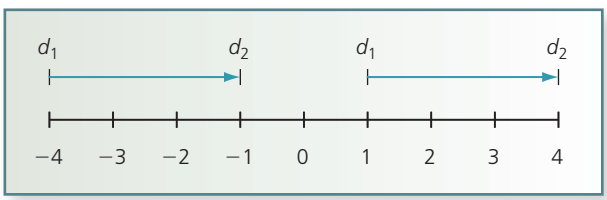
Ejemplo de desplazamientos cuya magnitud es positiva:

$\Delta d = d_2 - d_1 = -1\text{ m} - (-4\text{ m})$

$\Delta d = 3\text{ m}$

$\Delta d = d_2 - d_1 = 4\text{ m} - 1\text{ m}$

$\Delta d = 3\text{ m}$



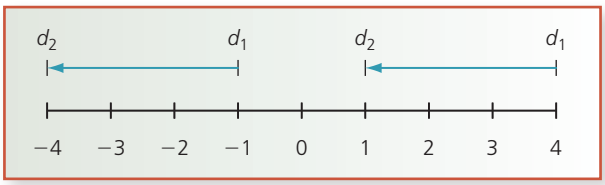
Ejemplo de desplazamientos cuya magnitud es negativa:

$\Delta d = d_2 - d_1 = -4\text{ m} - (-1\text{ m})$

$\Delta d = -3\text{ m}$

$\Delta d = d_2 - d_1 = 1\text{ m} - 4\text{ m}$

$\Delta d = -3\text{ m}$



b) El desplazamiento de un móvil no representa su distancia recorrida, sino su desplazamiento desde el punto de origen al punto final. Por ejemplo, si decimos que un móvil tiene un desplazamiento igual a cero en un intervalo de 20 segundos puede significar que no se ha movido o que se movió de un punto inicial y regresó al mismo, con lo cual, aunque recorrió una distancia, su desplazamiento fue cero.

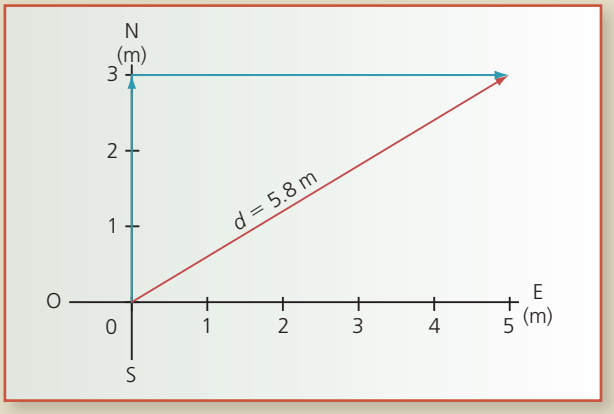
c) La magnitud de la velocidad será positiva o negativa de acuerdo con el signo que tenga el desplazamiento.

Resolución de un problema de desplazamiento de un móvil

1 Una persona caminó 3 m al norte y después recorrió 5 m al este. ¿Cuál fue su desplazamiento?

Solución:

Como se observa en la gráfica, su desplazamiento



es de 5.8 m en dirección noreste; no obstante, la distancia que recorrió fue de 8 m.

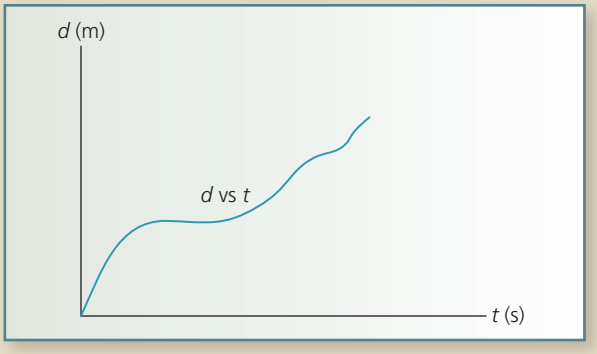
2. Un automóvil partió hacia el norte recorriendo 3 km y después recorrió otros 3 km al sur. ¿Cuál fue su desplazamiento?

Solución:

Resulta evidente que aunque recorrió 6 km en total, su desplazamiento es cero, pues regresó al mismo punto de partida.

Resolución de problemas de la magnitud del desplazamiento-tiempo y magnitud de la velocidad-tiempo

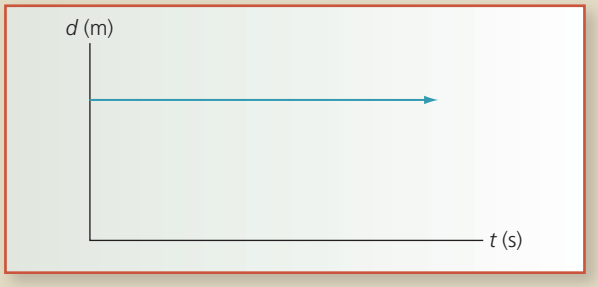
1. ¿Qué representa la curva obtenida en la gráfica siguiente al unir los puntos de la magnitud del desplazamiento de un móvil contra el tiempo?



Solución:

La curva que resulta de graficar las distintas magnitudes del desplazamiento de un cuerpo contra tiempo (magnitud del desplazamiento versus tiempo, o *d vs t*) indica que la magnitud de la velocidad, es decir, su rapidez, está variando al transcurrir el tiempo.

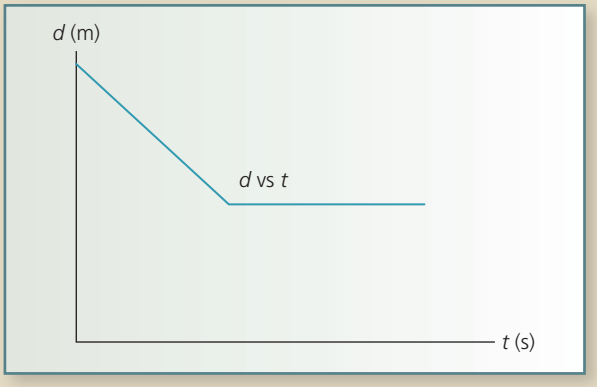
2. Explique cómo se interpreta la siguiente gráfica de *d vs t*.



Solución:

El resultado obtenido al unir los puntos del gráfico *d vs t* indica que al transcurrir el tiempo, la magnitud del desplazamiento era el mismo, es decir, el móvil no se movió y, por tanto, su velocidad es cero porque también es cero el valor de la pendiente de la recta.

3. Interprete el movimiento de un móvil que al graficar los datos de las distintas magnitudes de su desplazamiento en función del tiempo nos da la siguiente gráfica:

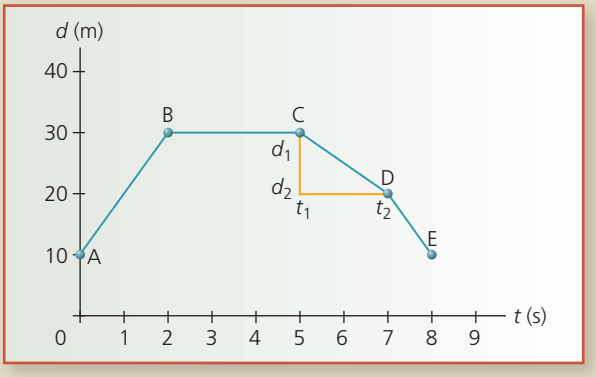


Solución:

Como se observa, a medida que transcurre el tiempo la magnitud de su desplazamiento disminuye, lo cual indica que su posición original ha invertido el sentido de su recorrido, por tanto, la magnitud de su desplazamiento es negativo pues d_2 es menor que d_1. En consecuencia, la magnitud de la velocidad también será negativa, porque el desplazamiento lo es. Por último, el

móvil detiene su movimiento totalmente, porque la magnitud del desplazamiento es el mismo al transcurrir el tiempo.

4 Con los datos de la magnitud del desplazamiento de un móvil en función del tiempo, se obtuvo la siguiente gráfica:



a) ¿Qué posición tenía el móvil antes de iniciar su movimiento?

b) ¿Cómo se comporta la magnitud de la velocidad del móvil durante los primeros 2 segundos y cuál es su valor?

c) ¿Qué magnitud tiene la velocidad durante el intervalo de tiempo entre los puntos B y C?

d) ¿Cuál fue la posición más alejada del móvil?

e) ¿En qué instante invirtió el sentido de su recorrido?

f) ¿Cuál es la magnitud de la velocidad del móvil del punto C al D?

g) ¿Regresó al punto de partida?

Solución:

a) La posición del móvil era de 10 m antes de iniciar su movimiento.

b) La magnitud de la velocidad del móvil permanece constante y su magnitud es:

$$v = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1} = \frac{30\text{ m} - 10\text{ m}}{2\text{ s} - 0} = \frac{20\text{ m}}{2\text{ s}} = 10\text{ m/s}$$

c) Entre los puntos B y C el móvil permanece detenido, pues no se mueve durante el intervalo de tiempo que va de los 2 a los 5 segundos, conservando su posición de 30 m. Por tanto, la velocidad es cero.

d) La posición más alejada del móvil fue de 30 m.

e) El sentido de su recorrido lo invirtió a los 5 segundos y a los 30 m en el punto C.

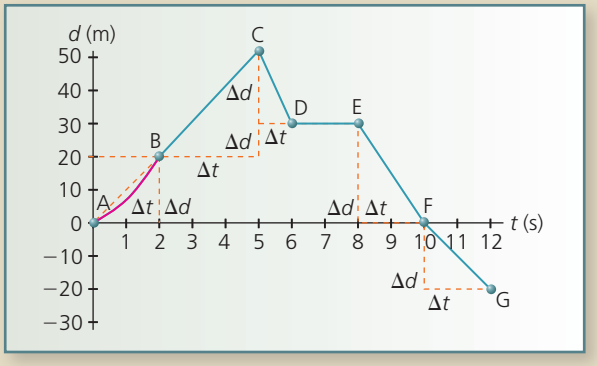
f) La magnitud de la velocidad del móvil se calcula con la pendiente de la recta que va de C a D, trazada en la gráfica:

$$v_{C-D} = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1} = \frac{20\text{ m} - 30\text{ m}}{7\text{ s} - 5\text{ s}} = \frac{-10\text{ m}}{2\text{ s}} = -5\text{ m/s}$$

La magnitud de la velocidad tiene signo negativo, ya que la magnitud del desplazamiento es negativa; esto se observa en virtud de que el móvil invirtió su recorrido y, por tanto, d_2 es menor que d_1.

g) El móvil regresó a su punto de partida, porque a los 8 segundos, instante en que terminó su recorrido, se encuentra de nuevo en la posición de 10 m, misma que tenía al iniciar su movimiento.

5 Con los datos de la magnitud del desplazamiento de un móvil en función del tiempo, se obtuvo la siguiente gráfica:



a) ¿Qué posición tenía el móvil antes de iniciar su movimiento?

b) ¿Cómo se comportó la magnitud de la velocidad en el intervalo de tiempo de 0 a 2 segundos? ¿Cuál es la magnitud de la velocidad media durante este intervalo de tiempo?

c) ¿Cómo es la magnitud de la velocidad en el intervalo de tiempo de 2 a 5 segundos y cuánto vale?

d) ¿En qué instante invirtió el sentido de su recorrido?

e) ¿Cuál es la magnitud de la velocidad del punto C al D?

f) ¿Cuál es la magnitud de la velocidad del punto D al E?

g) ¿En qué instante pasó por el mismo punto de donde partió al iniciar su movimiento?

h) ¿Cuál fue la magnitud de su máximo desplazamiento y en qué instante?

i) ¿Cuál es la magnitud de la velocidad del punto E al F y de F a G?

j) ¿Cuál fue su posición final y a qué tiempo?

k) Determine la magnitud de la velocidad del móvil en cada segundo de su recorrido y, con los datos de la magnitud de la velocidad en función del tiempo, construya la gráfica magnitudes de la velocidad-tiempo e interprétela.

l) Determine la magnitud del desplazamiento total del móvil, calculando las áreas obtenidas de la gráfica magnitud de la velocidad-tiempo.

Sugerencia: Antes de ver las respuestas trate de contestar las preguntas con el objetivo de verificar si ya aprendió a interpretar las gráficas magnitud del desplazamiento-tiempo.

Solución:

a) La posición del móvil antes de iniciar su movimiento se encuentra en el origen, es decir, desplazamiento cero a un tiempo cero.

b) La magnitud de la velocidad fue aumentando en el intervalo de 0 a 2 segundos. Como la magnitud fue variando, determinamos la magnitud de la velocidad media; para ello, trazamos una recta hipotética de A a B como se ve en la gráfica y determinamos el valor de su pendiente:

$$v_m = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1} = \frac{20\text{ cm} - 0}{2\text{ s} - 0} = \frac{20\text{ m}}{2\text{ s}} = 10\frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

c) En el intervalo de tiempo de 2 a 5 segundos la magnitud de la velocidad permanece constante, ya que la línea de B a C es recta. El valor de la pendiente, es decir, la magnitud de la velocidad es:

$$v_{B-C} = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1} = \frac{50\text{ cm} - 20\text{ cm}}{5\text{ s} - 2\text{ s}} = \frac{30\text{ cm}}{3\text{ s}} = 10\frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

d) Invirtió el sentido de su recorrido a los 5 segundos, pues de un desplazamiento cuya magnitud es de 50 cm pasó a uno de 30 cm a los 6 segundos regresándose 20 cm durante ese intervalo de tiempo.

e) La magnitud de la velocidad del punto C al D calculada con la pendiente de la recta, tiene una magnitud de:

$$v_{C-D} = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1} = \frac{30\text{ cm} - 50\text{ cm}}{6\text{ s} - 5\text{ s}} = \frac{-20\text{ cm}}{1\text{ s}} = -20\frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

La magnitud de la velocidad es negativa porque la magnitud del desplazamiento es negativa: d_2 menor que d_1.

f) La velocidad del punto D al E es igual a cero, pues la pendiente de la recta también es cero por no producirse ningún desplazamiento durante el intervalo de 6 a 8 segundos.

g) El instante en que el móvil pasa por el origen, o el punto donde inició su movimiento, es a los 10 segundos (punto F).

h) La magnitud máxima de su desplazamiento fue de 50 cm a los 5 segundos.

i) La magnitud de la velocidad del punto E al F es:

$$v_{E-F} = \frac{\vec{d}_2 - \vec{d}_1}{t_2 - t_1} = \frac{0 - 30\text{ cm}}{10\text{ s} - 8\text{ s}} = \frac{-30\text{ cm}}{2\text{ s}} = -15\frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

y de F a G es:

$$v_{F-G} = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1} = \frac{-20\text{ cm} - 0}{12\text{ s} - 10\text{ s}} = \frac{-20\text{ cm}}{2\text{ s}} = -10\frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

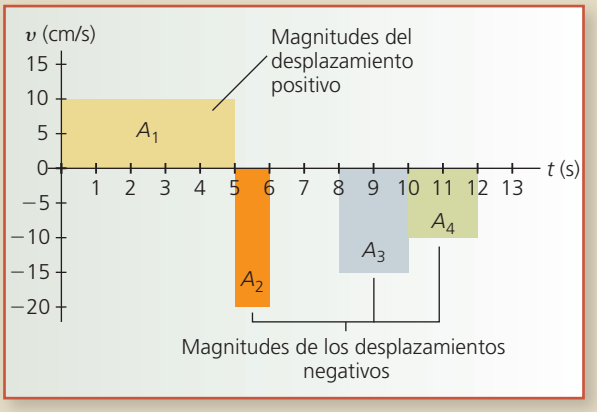
Son velocidades cuyas magnitudes son negativas porque el desplazamiento es negativo (d_2 menor que d_1).

j) La posición final es con una magnitud del desplazamiento de −20 cm a los 12 segundos.

k) Las magnitudes de las velocidades del móvil durante cada segundo de su recorrido los podemos determinar fácilmente:

v al 1er. segundo:	10 cm/s	magnitud de la velocidad
v al 2o. segundo:	10 cm/s	media de 0 a 2 s
v al 3er. segundo:	10 cm/s	magnitud de la velocidad
v al 4o. segundo:	10 cm/s	permanece constante
v al 5o. segundo:	10 cm/s	del 2o. al 5o. s
v al 6o. segundo:	−20 cm/s	magnitud de la velocidad de C a D
v al 7o. segundo:	0	
v al 8o. segundo:	0	
v al 9o. segundo:	−15 cm/s	magnitud de velocidad
v al 10o. segundo:	−15 cm/s	constante del 8o. al 10o. s
v al 11o. segundo:	−10 cm/s	magnitud de velocidad
v al 12o. segundo:	−10 cm/s	constante del 10o. al 12o. s

l) Finalmente, puesto que en una gráfica de rapidez o magnitudes de velocidad-tiempo el área bajo la curva representa la magnitud del desplazamiento de un móvil, en nuestra gráfica podemos determinar la magnitud del desplazamiento total del móvil, sumando las magnitudes de su desplazamiento positivo y su desplazamiento negativo.



Determinación de la magnitud del desplazamiento positivo:

$$A_1 = vt = 10 \text{ cm/s} \times 5 \text{ s} = 50 \text{ cm}$$

Determinación de la magnitud de su desplazamiento negativo:

$A_2 + A_3 + A_4$:

$A_2 = vt = -20 \text{ cm/s} \times 1 \text{ s} = -20 \text{ cm}$

$A_3 = vt = -15 \text{ cm/s} \times 2 \text{ s} = -30 \text{ cm}$

$A_4 = vt = -10 \text{ cm/s} \times 2 \text{ s} = -20 \text{ cm}$

$A_2 + A_3 + A_4 = -20 + (-30) + (-20 \text{ cm})$

Magnitud del desplazamiento negativo = -70 cm

Magnitud del desplazamiento total = magnitud del desplazamiento positivo + magnitud del desplazamiento negativo:

$$d_t = 50 \text{ cm} + (-70 \text{ cm}) = -20 \text{ cm}$$

Este resultado significa que finalmente el móvil quedó a 20 cm del punto de donde partió y con un sentido contrario al inicio de su desplazamiento.

Interpretación de la gráfica:

En la gráfica de rapidez o magnitud de la velocidad-tiempo vemos que hasta el quinto segundo la magnitud de la velocidad media del móvil es de 10 cm/s, después su velocidad es cero y cambia de sentido. En el sexto segundo alcanza una magnitud de máxima velocidad −20 cm/s (el signo menos indica un desplazamiento negativo). En el séptimo y octavo segundos su velocidad es cero, por tanto, el móvil permanece en reposo. En el noveno y décimo segundos la magnitud de su velocidad media es de −15 cm/s para, finalmente, disminuirla a −10 cm/s del décimo al doceavo segundos.

En general, en una gráfica de rapidez o magnitud de la velocidad-tiempo las magnitudes de las velocidades arriba del eje *t* (tiempo) son positivas y abajo del eje *t* son negativas, esto significa que si la magnitud de la velocidad es positiva la magnitud del desplazamiento también lo es y viceversa.

9 Aceleración y movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA)

Aceleración

En nuestra vida cotidiana observamos distintos cuerpos en movimiento. La mayoría de ellos no se mueven a velocidad constante, pues ésta varía, ya sea aumentando o disminuyendo su magnitud o cambiando de dirección. Por ejemplo: un autobús de pasajeros en un día de tránsito pesado aumenta y disminuye constantemente la magnitud de su velocidad, lo que fuerza a los pasajeros a mantenerse alertas, sujetándose fuertemente para no sufrir una caída. Un auto de carreras aumenta la magnitud de su velocidad cuando la pista tiene un tramo recto; sin embargo, al acercarse a una curva disminuye la magnitud de su velocidad y luego la vuelve a aumentar (figura 4.5).

Siempre que un cuerpo tiene un cambio en la magnitud de su velocidad, ya sea positivo, cuando la magnitud de la velocidad final es mayor que la de la velocidad inicial o bien un cambio negativo, cuando la magnitud de la velocidad final es menor a la de la velocidad inicial, o cuando cambia su dirección decimos que ha tenido una aceleración. Cuando la aceleración es negativa, es común decir que existe una desaceleración. Así pues, la aceleración será positiva si el cambio en la velocidad también es positivo, y será negativa si el cambio en la velocidad es negativo.



figura 4.5

Un cuerpo tiene aceleración cuando cambia su velocidad, ya sea que la aumente o la disminuya, o bien, cuando cambia su dirección.

La aceleración es una magnitud vectorial, ya que requiere que se especifique su dirección y sentido para quedar definida. En conclusión: La aceleración representa el cambio en la velocidad de un cuerpo en un tiempo determinado, por tanto, la magnitud de la aceleración la podemos calcular así:

$$\text{Magnitud de la aceleración} = \frac{\text{Cambio de la magnitud de la velocidad}}{\text{Tiempo en que ocurre el cambio}} = \frac{\Delta v}{t}$$

como $\Delta v = v_f - v_0$

$$a = \frac{v_f - v_0}{t} \qquad (1)$$

donde: a = magnitud de la aceleración del móvil en m/s^2 o cm/s^2

v_f = magnitud de la velocidad final del móvil en m/s o cm/s

v_0 = magnitud de la velocidad inicial del móvil en m/s o cm/s

t = tiempo en que se produce el cambio en la magnitud de la velocidad en segundos (s)

Cuando el móvil parte del reposo, su velocidad inicial es igual a cero ($v_0 = 0$) y la magnitud de su aceleración es igual a:

$$a = \frac{v}{t} \qquad (2)$$

Para determinar las unidades de aceleración, sustituimos las unidades de velocidad y tiempo, según el sistema de unidades utilizado:

Sistema Internacional (SI):

$$a = \frac{\frac{m}{s}}{s} = \frac{m}{s^2}$$

Sistema Cegesimal (CGS):

$$a = \frac{\frac{cm}{s}}{s} = \frac{cm}{s^2}$$

Cuando el móvil no parte del reposo, entonces en el intervalo de tiempo en el cual se considera su movimiento, ya lleva una velocidad inicial diferente de cero ($v_0 \neq 0$), y la magnitud de su aceleración se determina con la ecuación 1.

Comúnmente, al conocer la magnitud de la aceleración de un móvil y la magnitud de su velocidad inicial se desea calcular la magnitud de la velocidad final al cabo de cierto tiempo. Por tanto, despejando por pasos v_f de la ecuación 1 tenemos:

$$at = v_f - v_0$$

$$\therefore v_f = v_0 + at$$

Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA)

Se tiene un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado cuando la magnitud de la velocidad experimenta cambios iguales en cada unidad de tiempo. En este movimiento la magnitud de la aceleración permanece constante al transcurrir el tiempo. Por ejemplo, si un automóvil al viajar en línea recta lleva una velocidad cuya magnitud es de 2 m/s al primer segundo, una velocidad con una magnitud de 4 m/s al segundo segundo y una velocidad con una magnitud de 6 m/s al tercer segundo, decimos que la magnitud de su velocidad cambia 2 m/s cada segundo. De donde su aceleración es constante en los tres segundos y cuya magnitud es 2 m/s^2.

Aceleración media

De la misma manera como sucede con las velocidades de un móvil que no son constantes, sino que varían durante su movimiento, la aceleración también puede estar variando, toda vez que no siempre es constante. Por tanto, cuando un móvil varía su velocidad es conveniente determinar la magnitud de su aceleración media, conociendo la magnitud de su cambio de velocidad y el tiempo en realizar dicho cambio:

$$a_m = \frac{v_f - v_0}{t_f - t_0} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Aceleración instantánea

Cuando en el movimiento acelerado de un cuerpo los intervalos de tiempo considerados son cada vez más pequeños, la aceleración media se aproxima a una aceleración instantánea.

Cuando el intervalo de tiempo es tan pequeño que tiende a cero, la aceleración del móvil será instantánea y su magnitud se determina con la expresión:

$$a_{inst} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Si la aceleración media de un móvil no permanece constante y se desea conocer la magnitud de la aceleración del móvil en un momento dado, se debe calcular la magnitud de la aceleración instantánea.

Gráficas de magnitud del desplazamiento-tiempo, magnitud del desplazamiento-tiempo al cuadrado, magnitud de la velocidad-tiempo y magnitud de la aceleración-tiempo, para el MRUA

De acuerdo con lo estudiado en la parte correspondiente al movimiento rectilíneo uniforme, se concluye lo siguiente: siempre que tengamos una gráfica magnitud del desplazamiento-tiempo, la pendiente de la curva representará la magnitud de la velocidad, y en una gráfica magnitud de la velocidad-tiempo, el área bajo la curva representará la magnitud de desplazamiento del móvil.

Al estudiar ahora las gráficas para un MRUA encontraremos que en una gráfica magnitud del desplazamiento-

tiempo al cuadrado, la pendiente de la curva representa la mitad de la magnitud de la aceleración experimentada por un móvil durante su recorrido. En una gráfica magnitud de la velocidad-tiempo, la pendiente de la curva representa la magnitud de la aceleración y, finalmente, en una gráfica magnitud de la aceleración-tiempo, el área bajo la curva representa la magnitud de la velocidad del móvil.

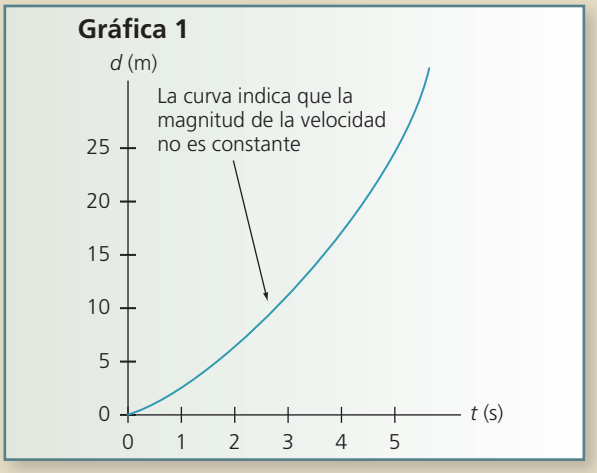
Resolución de un problema de MRUA e interpretación de gráficas

Como resultado del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado de un móvil se obtuvieron los datos del cuadro 4.2.

cuadro 4.2	Datos del móvil	
Tiempo (s)	Magnitud del desplazamiento (s)	Magnitud de la velocidad instantánea (m/s)
0	0	0
1	1	2
2	4	4
3	9	6
4	16	8
5	25	10

1. Grafique las magnitudes del desplazamiento en función del tiempo e interprete la gráfica. Si al unir los puntos la línea no es recta, ¿qué sugiere hacer para que lo sea?
2. Grafique los datos de la magnitud de la velocidad instantánea en función del tiempo. ¿Qué obtuvo al unir los puntos? ¿Cuál es el valor de la pendiente de la recta?
3. Grafique los datos de la magnitud de la aceleración en función del tiempo e interprete el significado físico del área obtenida bajo la curva al unir los puntos.

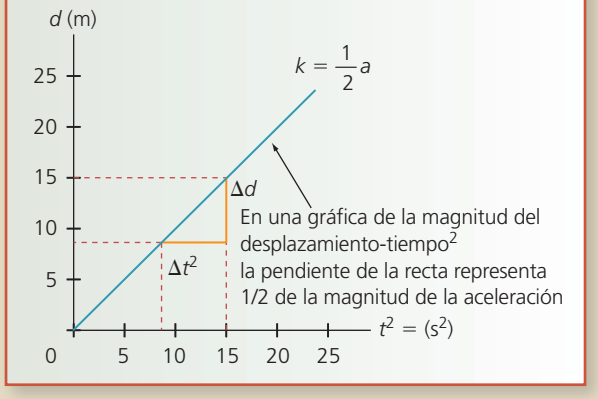
Gráfica 1



Solución:

Al unir los puntos no se obtiene una línea recta, esto es evidente, pues la magnitud de la velocidad no es constante, sino que varía uniformemente en cada unidad de tiempo. Por tanto, la magnitud del desplazamiento no es directamente proporcional al tiempo. Si se eleva el tiempo al cuadrado y graficamos las magnitudes del desplazamiento en función del tiempo al cuadrado, obtenemos la siguiente gráfica:

Gráfica 2



Al unir los puntos hemos obtenido una línea recta, la cual indica que la magnitud del desplazamiento es directamente proporcional al tiempo elevado al cuadrado:

$$d \propto t^2 \qquad (1)$$

Si cambiamos el signo de proporcionalidad a por un signo de igual e incluimos una constante de proporcionalidad k, tendremos la expresión 1 de la siguiente manera:

$$d = kt^2 \qquad (2)$$

Despejando a k tenemos:

$$k = \frac{d}{t^2} \qquad (3)$$

Nuestra constante de proporcionalidad k tiene un valor que resulta de dividir la magnitud del desplazamiento entre su correspondiente tiempo al cuadrado. Debido a que k es constante, en

todos los casos su valor será igual a la pendiente de la recta (gráfica 2).

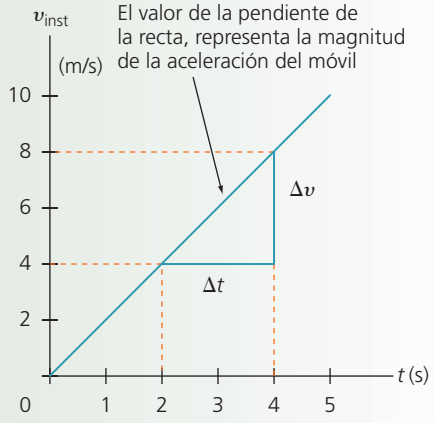
$$k = \frac{16\text{ m} - 9\text{ m}}{16\text{ s}^2 - 9\text{ s}^2} = \frac{7\text{ m}}{7\text{ s}^2} = 1\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Este valor es exactamente la mitad de la magnitud de la aceleración que el móvil experimenta durante su recorrido. Por tanto, la magnitud de la aceleración será igual a:

$$a = 2\,k = 2\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

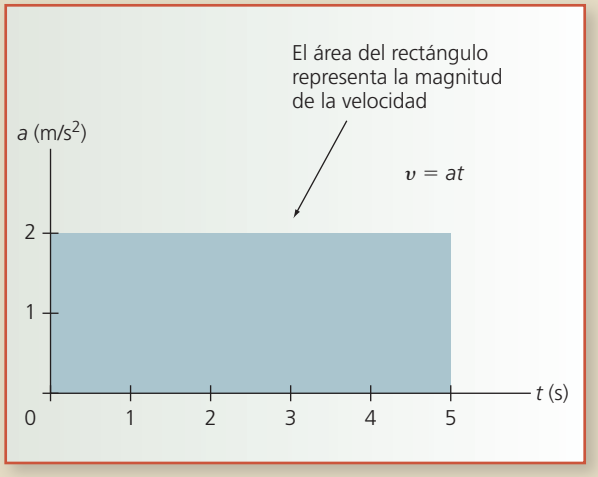
La magnitud de la aceleración también lo obtenemos con la pendiente de la gráfica magnitud de la velocidad instantánea en función del tiempo (gráfica 3).

Gráfica 3



$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{8\frac{\text{m}}{\text{s}} - 4\frac{\text{m}}{\text{s}}}{4\text{ s} - 2\text{ s}} = \frac{4\frac{\text{m}}{\text{s}}}{2\text{ s}} = 2\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Como la magnitud de la aceleración permanece constante, si la graficamos en función del tiempo tenemos la siguiente gráfica:



El área obtenida al unir los puntos en una gráfica de la magnitud de la aceleración en función del tiempo, representa la magnitud de la velocidad del móvil. Al multiplicar la base (o tiempo) por la altura (o magnitud de la aceleración), tenemos:

$$v = at = 2\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 5\text{ s} = 10\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

De donde para el quinto segundo la magnitud de la velocidad del móvil es de 10 m/s.

Deducción de las ecuaciones utilizadas en el MRUA

Como hemos observado en el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado; la velocidad cambia constantemente de magnitud; por ello, si se desea conocer la magnitud del desplazamiento en cualquier tiempo, se puede obtener si utilizamos el concepto de velocidad media que ya estudiamos:

$$v_m = \frac{v_f + v_0}{2}$$

como: $$d = v_m t \therefore d = \frac{v_f + v_0}{2} t$$

A partir de estas expresiones deduciremos las ecuaciones que se utilizan para calcular las magnitudes de los desplazamientos y velocidades finales cuando el movimiento tiene aceleración constante.

$$v_m = \frac{d}{t} \qquad (1)$$

$$d = v_m t \qquad (2)$$

$$v_m = \frac{v_f + v_0}{2} \qquad (3)$$

Sustituyendo 3 en 2:

$$d = \frac{v_f + v_0}{2} t \qquad (4)$$

Sabemos que:

$$v_f = v_0 + at \qquad (5)$$

Sustituyendo 5 en 4:

$$d = \frac{v_0 + at + v_0}{2} t \qquad (6)$$

$$d = \frac{v_0 + at}{2} t \qquad (7)$$

Multiplicando por t y dividiendo entre 2:

$$d = v_0 t + \frac{at^2}{2} \qquad (8)$$

si $v_0 = 0$

$$d = \frac{at^2}{2} \quad (9)$$

Para calcular la magnitud de las velocidades finales en un MRUA partimos de la ecuación:

$$d = \frac{v_f + v_0}{2} t \quad (4)$$

Sabemos que:

$$a = \frac{v_f - v_0}{2} \quad (10)$$

Multiplicando 10 por 4:

$$ad = \frac{(v_f - v_0)}{t} \frac{(v_f + v_0)}{2} t \quad (11)$$

$$ad = \frac{(v_f^2 - v_0^2)}{2} \quad (12)$$

Despejando la magnitud de la velocidad final:

$$v_f^2 = v_0^2 + 2ad \quad (13)$$

si $v_0 = 0$

$$v_f^2 = 2\,ad \quad (14)$$

De la ecuación 12 podemos despejar la magnitud del desplazamiento:

$$d = \frac{(v_f^2 - v_0^2)}{2a} \quad (15)$$

si $v_0 = 0$

$$d = \frac{v_f^2}{2a} \quad (16)$$

En conclusión, para calcular las magnitudes de los desplazamientos y las velocidades finales en un MRUA, tenemos varias ecuaciones que usaremos dependiendo de las situaciones en las cuales se presente el movimiento, es decir, si hay o no velocidad inicial, además de los datos conocidos. Las siguientes fórmulas resumen las ecuaciones utilizadas cuando **el movimiento es uniformemente acelerado**:

a) Ecuaciones para calcular las magnitudes de los desplazamientos en un movimiento uniformemente acelerado.

1. $d = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ 2. $d = \frac{v_f^2 - v_0^2}{2a}$ 3. $d = \frac{v_f - v_0}{2} t$

Cualquiera de estas tres ecuaciones nos da el mismo resultado, por tanto, su uso sólo depende de los datos del problema, y si éstos pueden sustituirse en cualquiera de ellas se escogerá la que nos resulte más sencilla.

Cuando se desea conocer la magnitud del desplazamiento de un móvil y éste parte del reposo, la velocidad inicial vale cero y las tres ecuaciones anteriores se reducen a las siguientes expresiones:

1. $d = \frac{at^2}{2}$ 2. $d = \frac{v_f^2}{2a}$ 3. $d = \frac{v_f}{2} t$

b) Ecuaciones para calcular la magnitud de las velocidades finales en un movimiento uniformemente acelerado.

1. $v_f = v_0 + at$
2. $v_f^2 = v_0^2 + 2ad$

Igual que en el caso de los desplazamientos, para calcular la magnitud de la velocidad de un móvil uniformemente acelerado tenemos la opción de emplear cualquiera de las dos ecuaciones, dependiendo de los datos o de la que nos resulte más sencilla.

Cuando se desea conocer la magnitud de la velocidad final que alcanzará un móvil cuando parte del reposo, tendremos que en esa circunstancia la velocidad inicial es cero y las dos ecuaciones anteriores se reducen a las siguientes expresiones:

1. $v_f = at$
2. $v_f^2 = 2ad$

Resolución de problemas de MRUA

1 Una motocicleta parte del reposo y experimenta una aceleración cuya magnitud es de 1.9 m/s^2. ¿Qué distancia habrá recorrido después de 3 segundos?

Solución:

Datos	**Fórmula**
$v_0 = 0$	$d = \frac{at^2}{2}$
$a = 1.9$ m/s^2	
$t = 3$ s	
$d = ?$	

Sustitución y resultado

$$d = \frac{1.9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (3\text{ s})^2}{2} = 8.55\text{ m}$$

2 Un automóvil adquiere una velocidad de 40 km/h al sur en 4 s. ¿Cuál es su aceleración en m/s^2?

Solución:

Datos	**Fórmula**
$v = 40$ km/h al sur	$a = \frac{v}{t}$
$t = 4$ s	
$a = ?$ m/s^2	

Transformación de unidades

$$40\frac{\text{km}}{\text{h}}\times\frac{1000\text{ m}}{1\text{ km}}\times\frac{1\text{ h}}{3600\text{ s}}=11.1\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Sustitución y resultado

$$a=\frac{11.1\text{ m/s}}{4\text{ s}}\ /\ \vec{a}=2.77\text{ m/s}^2\text{ al sur}$$

3 Un motociclista lleva una velocidad inicial de 2 m/s al sur; a los 3 segundos su velocidad es de 6 m/s.

Calcular:

a) Su aceleración media.

b) Su desplazamiento en ese tiempo.

Solución:

Datos

$v_0 = 2$ m/s

$t = 3$ s

$v_f = 6$ m/s

a) $a = ?$

b) $d = ?$

Fórmulas

a) $a=\dfrac{v_f - v_0}{t}$

b) $d=v_0t+\dfrac{at^2}{2}$

Sustitución y resultados

a) $a=\dfrac{6\text{ m/s}-2\text{ m/s}}{3\text{ s}}=1.33\text{ m/s}^2$

$\vec{a}=1.33\text{ m/s}^2$ al sur

b) $d=2\text{ m/s}\times 3\text{ s}+\dfrac{1.33\text{ m/s}^2(3\text{ s})^2}{2}$

$d = 6\text{ m} + 5.985\text{ m} = 11.985\text{ m}$

$\vec{d}=11.985\text{ m al sur}$

4 Determine la rapidez que llevará un ciclista a los 5 segundos, si al bajar por una pendiente adquiere una aceleración cuya magnitud es de 1.5 m/s² y parte con una rapidez inicial de 3 m/s.

Solución:

Datos

$v_f = ?$

$t = 5$ s

$a = 1.5$ m/s²

$v_0 = 3$ m/s

Fórmula

$v_f = v_0 + at$

Sustitución y resultado

$v_f = 3\text{ m/s} + (1.5\text{ m/s}^2 \times 5\text{ s}) = 3\text{ m/s} + 7.5\text{ m/s}$

$= 10.5\text{ m/s}$

5 Una lancha de motor parte del reposo hacia el sur y en 0.3 minutos alcanza una velocidad de 50 km/h.

Calcular:

a) ¿Cuál fue su aceleración en m/s²?

b) ¿Cuántos metros se desplazó en ese tiempo?

Solución:

Datos

$v_0 = 0$

$t = 0.3$ min

$v_f = 50$ km/h

a) $a = ?$

b) $d = ?$

Fórmulas

a) $a=\dfrac{v}{t}$

b) $d=\dfrac{at^2}{2}$

Transformación de unidades

$$0.3\text{ min}\times\frac{60\text{ s}}{1\text{ min}}=18\text{ s}$$

$$50\frac{\text{km}}{\text{h}}\times\frac{1000\text{ m}}{1\text{ km}}\times\frac{1\text{ h}}{3600\text{ s}}=13.89\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Sustitución y resultados

a) $a=\dfrac{13.89\frac{\text{m}}{\text{s}}}{18\text{ s}}=0.77\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\therefore\vec{a}=0.77\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

b) $d=\dfrac{0.77\frac{\text{m}}{\text{s}^2}(18\text{ s})^2}{2}=124.74\text{ m}$

$\vec{d}=124.74\text{ m al sur}$

6 Un tren parte del reposo al este y experimenta una aceleración cuyo valor es de 0.3 m/s² durante 0.5 minutos.

Calcular:

a) ¿Qué distancia recorre en ese tiempo?

b) ¿Qué velocidad lleva?

Solución:

Datos

$v_0 = 0$

$a = 0.3$ m/s²

$t = 0.5$ min

a) $d = ?$

b) $v_f = ?$

Fórmulas

a) $d=\dfrac{at^2}{2}$

b) $v_f = at$

Transformación de unidades

$$0.5\text{ min}\times\frac{60\text{ s}}{1\text{ min}}=30\text{ s}$$

Sustitución y resultados

a) $d=\dfrac{0.3\text{ m/s}^2(30\text{ s})^2}{2}=135\text{ m}$

b) $v_f = 0.3\ \text{m/s}^2 \times 30\ \text{s} = 9\ \text{m/s}$

$\vec{v}_f = 9\ \text{m/s al este}$

7 Un móvil tiene una velocidad inicial de 4 m/s al sur y experimenta una aceleración cuya magnitud es de 2 m/s², la cual dura 12 segundos.

Calcular:

a) ¿Qué desplazamiento tiene a los 12 segundos?

b) ¿Qué velocidad lleva a los 12 segundos?

Solución:

Datos

$v_0 = 4\ \text{m/s}$

$a = 2\ \text{m/s}^2$

$t = 12\ \text{s}$

a) $d = ?$

b) $v_f = ?$

Fórmulas

a) $d = v_0 t + \dfrac{at^2}{2}$

b) $v_f = v_0 + at$

Sustitución y resultados

a) $d = 4\ \text{m/s} \times 12\ \text{s} + \dfrac{2\ \text{m/s}^2 (12\ \text{s})^2}{2} = 48\ \text{m} + 144\ \text{m}$

$\vec{d} = 192\ \text{m al sur}$

b) $v_f = 4\ \text{m/s} + (2\ \text{m/s}^2 \times 12\ \text{s}) = 4\ \text{m/s} + 24\ \text{m/s}$

$\vec{v}_f = 28\ \text{m/s al sur}$

8 Un automóvil con una rapidez de 20 km/h se lanza cuesta abajo de una pendiente y adquiere una rapidez de 70 km/h en 1 minuto. Si se considera que su aceleración fue constante.

Calcular:

a) La magnitud de la aceleración en m/s².

b) La distancia recorrida en metros durante ese tiempo.

Solución:

Datos

$v_0 = 20\ \text{km/h}$

$v_f = 70\ \text{km/h}$

$t = 1\ \text{min}$

a) $a = ?$

b) $d = ?$

Fórmulas

a) $a = \dfrac{v_f - v_0}{t}$

b) $d = v_0 t + \dfrac{at^2}{2}$

Transformación de unidades

$$v_0 = 20 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1\,000\ \text{m}}{1\ \text{km}} \times \frac{1\ \text{h}}{3\,600\ \text{s}} = 5.55\ \text{m/s}$$

$$v_f = 70 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1\,000\ \text{m}}{1\ \text{km}} \times \frac{1\ \text{h}}{3\,600\ \text{s}} = 19.44\ \text{m/s}$$

$t = 1\ \text{min} = 60\ \text{s}$

Sustitución y resultados

a) $a = \dfrac{19.44\ \text{m/s} - 5.55\ \text{m/s}}{60\ \text{s}} = 0.23\ \text{m/s}^2$

b) $d = 5.55\ \text{m/s} \times 60\ \text{s} + \dfrac{0.23\ \text{m/s}^2 (60\ \text{s})^2}{2}$

$= 333\ \text{m} + 414\ \text{m} = 747\ \text{m}$

9 Una motocicleta arranca desde el reposo y mantiene una aceleración constante cuya magnitud es de 0.14 m/s².

Calcular:

a) ¿En qué tiempo recorrerá una distancia de 1.3 km?

b) ¿Qué rapidez llevará en ese tiempo en m/s y en km/h?

Solución:

Datos

$v_0 = 0$

$a = 0.14\ \text{m/s}^2$

$d = 1.3\ \text{km}$

$= 1\,300\ \text{m}$

a) $t = ?$

b) $v_f = ?$

Fórmulas

a) $d = \dfrac{at^2}{2} \therefore t = \sqrt{\dfrac{2d}{a}}$

b) $v_f = at$

Sustitución y resultados

a) $t = \sqrt{\dfrac{2 \times 1\,300\ \text{m}}{0.14\ \text{m/s}^2}} = 136.28\ \text{s}$

b) $v_f = 0.14\ \text{m/s}^2 \times 136.28\ \text{s} = 19.08\ \text{m/s}$

Transformación de unidades

$$19.08 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \frac{1\ \text{km}}{1\,000\ \text{m}} \times \frac{3\,600\ \text{s}}{1\ \text{h}} = 68.7\ \text{km/h}$$

10 Un camión de carga que viaja al norte con una velocidad de 70 km/h, aplica bruscamente los frenos y se detiene en 15 segundos.

Calcular:

a) La aceleración.

b) La distancia total recorrida desde que aplicó los frenos hasta detenerse.

c) La velocidad que lleva a los 6 segundos de haber aplicado los frenos.

d) La distancia que recorrió durante los primeros 6 segundos de haber frenado.

Dar todos los resultados en unidades del Sistema Internacional.

Solución:

Datos

$v_0 = 70$ km/h

$t = 15$ s

a) $a = ?$

b) $d_{total} = ?$

c) $v_{a\ los\ 6\ s} = ?$

d) $d_{a\ los\ 6\ s} = ?$

Fórmulas

a) $a = \dfrac{v_f - v_0}{t}$

b) $d = v_0 t + \dfrac{at^2}{2}$

c) $v\ 5\ v_0 + at$

d) $d = \dfrac{v_f + v_0}{2} t$

Transformación de unidades

$$v_0 = 70 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1\,000\ \text{m}}{1\ \text{km}} \times \frac{1\ \text{h}}{3\,600\ \text{s}} = 19.44\ \text{m/s}$$

Sustitución y resultados

a) $a = \dfrac{0 - 19.44\ \text{m/s}}{15\ \text{s}} = -1.3\ \text{m/s}^2$

$\vec{a} = -1.3\ \text{m/s}^2$ al norte

b) $d_{total} = 19.44\ \text{m/s} \times 15\ \text{s} + \dfrac{-1.3\ \text{m/s}^2 (15\ \text{s})^2}{2}$

$= 291.6\ \text{m} - 146.25\ \text{m} = 145.35\ \text{m}$

c) $v_{6s} = 19.44\ \text{m/s} + (-1.3\ \text{m/s}^2 \times 6\ \text{s})$

$= 19.44\ \text{m/s} - 7.8\ \text{m/s} = 11.64\ \text{m/s}$

$\vec{v} = -11.64\ \text{m/s}^2$ al norte

d) $d_{6\,s} = \dfrac{11.64\ \text{m/s} + 19.44\ \text{m/s}}{2} (6\ \text{s})$

$= 15.54\ \text{m/s} \times 6\ \text{s} = 93.24\ \text{m}$

o bien: $d_{6\,s} = v_0 t + \dfrac{at^2}{2}$

Sustituyendo:

$$d_{6\,s} = 19.44\ \text{m/s} \times 6\ \text{s} + \frac{-1.3\ \text{m/s}^2 (6\ \text{s})^2}{2} = 93.24\ \text{m}$$

11 Un avión lleva una velocidad de 110 km/h al norte en el momento en que inicia su aterrizaje y ha recorrido 1.3 km antes de detenerse. Si la aceleración es constante, determinar en unidades del Sistema Internacional:

Calcular:

a) La aceleración.

b) El tiempo que emplea para detenerse.

c) La distancia que recorre a los 7 segundos de haber iniciado su aterrizaje.

Solución:

Datos

$v_0 = 110$ km/h

$= 30.55$ m/s

$d = 1.3$ km

$= 1\,300$ m

a) $a = ?$

b) t en parar $= ?$

c) d a los 7 s $= ?$

Fórmulas

a) $v_f^2 = v_0^2 + 2ad$

como $v_f = 0$ tenemos que:

$$a = -\frac{v_0^2}{2d}$$

b) $v_f = v_0 + at$

$$\therefore t = -\frac{v_0}{a}$$

c) $d = v_0 t + \dfrac{at^2}{2}$

Sustitución y resultados

a) $v_f = 0 = v_0^2 + 2ad \therefore a = -\dfrac{v_0^2}{2d}$

$$a = -\frac{(30.55\ \text{m/s}^2)}{2 \times 1\,300\ \text{m}} = -0.359\ \text{m/s}^2$$

$\vec{a} = -0.359\ \text{m/s}^2$ al norte

b) $v_f = 0 = v_0 + at \therefore t = -\dfrac{v_0}{a}$

$$t = -\frac{30.55\ \text{m/s}}{-0.359\ \text{m/s}^2} = 85.1\ \text{s en detenerse}$$

c) $d = 30.55\ \text{m/s} \times 7\ \text{s} + \dfrac{-0.359\ \text{m/s}^2 (7\ \text{s})^2}{2}$

$= 213.85\ \text{m} - 8.8\ \text{m} = 205.05\ \text{m}$

Ejercicios propuestos

1 Un avión vuela a 980 km/h durante un tiempo de 10 minutos en la misma dirección y sentido. ¿Cuál es su aceleración durante ese intervalo de tiempo?

2 Una avioneta parte del reposo y alcanza una rapidez de 95 km/h en 7 segundos para su despegue. ¿Cuál fue la magnitud de su aceleración en m/s^2?

3 Un automóvil lleva una velocidad inicial de 20 km/h al norte y a los 4 segundos su velocidad es de 50 km/h.

Calcular:

a) Su aceleración.

b) Su desplazamiento en ese tiempo.

Dé los resultados en el SI.

4. Una lancha de motor parte del reposo y alcanza una velocidad de 60 km/h al este en 22 segundos.

   Calcular:

   a) Su aceleración en m/s^2.

   b) Su desplazamiento en m.

5. Una pelota al ser soltada en una pendiente adquiere una aceleración cuya magnitud es de 6 m/s^2 en 1.2 segundos.

   Calcular:

   a) ¿Qué rapidez lleva en ese tiempo?

   b) ¿Qué distancia recorrió?

6. Un motociclista que se dirige hacia el sur lleva una velocidad de 10 km/h, si después acelera uniformemente 3 m/s^2 durante 5 s.

   Calcular:

   a) La velocidad obtenida al término de los 5 segundos.

   b) El desplazamiento que tuvo a partir de su aceleración.

7. Un automóvil que viaja al este aumenta su velocidad de 30 km/h a 60 km/h en 4 segundos, si se considera que su aceleración fue constante.

   Calcular:

   a) Su aceleración.

   b) La distancia que recorrió en los 4 segundos.

8. Un camión de pasajeros arranca desde el reposo manteniendo una aceleración constante cuya magnitud es de 0.6 m/s^2.

   Calcular:

   a) ¿En qué tiempo recorrerá 0.3 km?

   b) ¿Qué rapidez llevará en ese tiempo en m/s y en km/h?

9. Un automovilista que lleva una rapidez de 80 km/h aplica los frenos para detenerse en 5 segundos ante un semáforo, considerando la aceleración constante.

   Calcular:

   a) La magnitud de su aceleración.

   b) La distancia total recorrida desde que aplicó los frenos hasta detenerse.

   c) La rapidez que lleva a los 2 segundos de haber aplicado los frenos.

   d) La distancia que recorrió durante los primeros 2 segundos de haber frenado.

10. Una caja se cae accidentalmente de una camioneta que lleva una velocidad de 60 km/h hacia el este, recorriendo 15 m antes de detenerse. Si la aceleración es constante.

    Calcular:

    a) La aceleración.

    b) El tiempo que tarda la caja en detenerse.

    c) La distancia que recorre el primer segundo de su caída.

Caída libre de los cuerpos y tiro vertical

Caída libre

Un cuerpo tiene una caída libre si desciende sobre la superficie de la Tierra y no sufre ninguna resistencia originada por el aire o cualquier otra sustancia. De manera práctica, cuando la resistencia del aire sobre los cuerpos es tan pequeña que se puede despreciar es posible interpretar su movimiento como una caída libre. Para cualquiera de nosotros es muy común observar la caída de los cuerpos sobre la superficie de la Tierra, pero, ¿nos hemos puesto a pensar en el tiempo que tardan en caer dos cuerpos de diferente tamaño desde una misma altura y de manera simultánea? Demos respuesta a esta interrogante experimentando con una hoja de papel y un cuaderno. Observemos que la hoja de papel cae más despacio y con un movimiento irregular, mientras la caída del cuaderno es vertical y es el primero en llegar al suelo. Ahora, hagamos una bolita con la hoja de papel comprimiéndola con las manos y dejémosla caer en forma simultánea con el cuaderno; el resultado será que ambos cuerpos caen verticalmente y al mismo tiempo, porque al comprimir la hoja de papel casi hemos eliminado los efectos de la resistencia del aire. Cuando en un tubo al vacío se dejan caer simultáneamente una pluma de ave, una piedra, una moneda y un pedazo de metal, su caída será vertical y al mismo tiempo, independientemente de su tamaño y peso, por tanto, su movimiento es en caída libre (figura 4.6). Aunque al caer al suelo un cuerpo sufre los efectos de la resistencia del aire, por lo general son despreciables y los consideramos como si fueran en caída libre.

El científico italiano Galileo Galilei fue el primero en demostrar en 1590 que todos los cuerpos, ya sean grandes o pequeños, en ausencia de fricción, caen a la Tierra con la misma aceleración. Por tanto, si dejamos caer simultáneamente desde cierta altura una piedra gran-

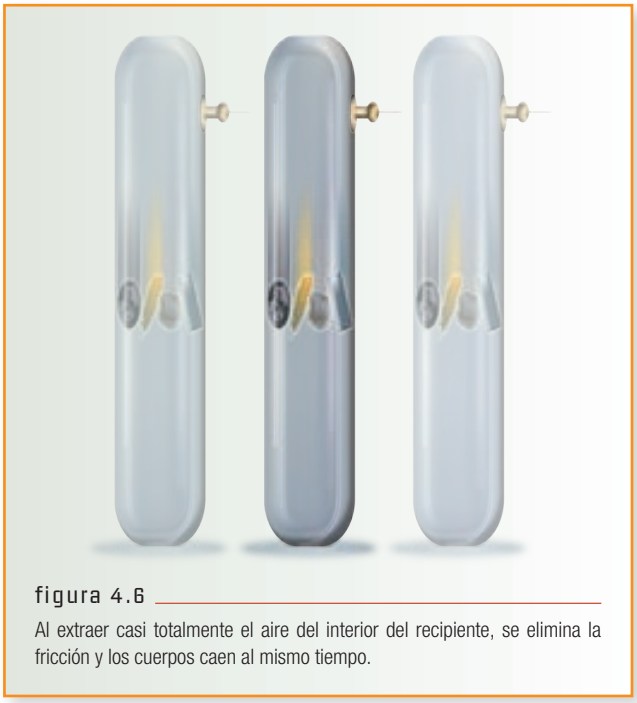


figura 4.6

Al extraer casi totalmente el aire del interior del recipiente, se elimina la fricción y los cuerpos caen al mismo tiempo.

de y una pequeña, las dos piedras caerán al suelo en el mismo tiempo. Con base en estos resultados podemos afirmar que la aceleración gravitacional produce sobre los cuerpos con caída libre un movimiento uniformemente acelerado, motivo por el cual la magnitud de su velocidad aumenta en forma constante, mientras la aceleración permanece fija. La caída libre de los cuerpos es un ejemplo práctico de movimiento uniformemente acelerado.

Al hacer la medición de la magnitud de la aceleración de la gravedad en distintos lugares de la Tierra, se ha encontrado que ésta no es igual en todas partes, pues existen pequeñas diferencias; sin embargo, para fines prácticos la magnitud aceptada es de 9.8066 m/s^2, cantidad que redondeada puede considerarse en forma aproximada como 9.8 m/s^2.

Para hacer una correcta interpretación del fenómeno que se presenta durante una caída libre, en un tiro vertical o en un tiro parabólico, que veremos más adelante, al resolver problemas, debemos considerar que **la aceleración de la gravedad es una magnitud vectorial cuya dirección está dirigida hacia el centro de la Tierra.** Como ya se ha señalado, los vectores dirigidos hacia arriba son positivos, y los dirigidos hacia abajo son negativos; entonces, **puesto que la aceleración de la gravedad está dirigida hacia abajo tendrá signo negativo.** Generalmente, se acostumbra representar a la aceleración de la gravedad con la letra g, y para fines prácticos se le da una magnitud de:

$$g = -9.8 \text{ m/s}^2$$

Para resolver problemas de caída libre se utilizan las mismas ecuaciones del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, resumidas en la Deducción de las ecuaciones utilizadas en el MRUA, pero se acostumbra cambiar la letra a de la magnitud de la aceleración por g que representa la magnitud de la aceleración de la gravedad, y la letra d de distancia por h que representa la altura. Por tanto, las ecuaciones generales para caída libre de los cuerpos serán:

1. $h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}$
2. $h = \frac{v_f^2 - v_0^2}{2g}$
3. $h = \frac{v_f - v_0}{2} t$
4. $v_f = v_0 + gt$
5. $v_f^2 = v_0^2 + 2gh$

Efectos ocasionados por la resistencia del aire sobre los cuerpos durante su caída

Velocidad terminal

Con seguridad recuerda la sensación que experimenta en su cara y tronco cuando viaja rápido en una bicicleta, por ejemplo, en una bajada; o cuando va en un automóvil o autobús a una velocidad alta y se asoma por la ventana. Cuando un cuerpo sólido se mueve desplazándose en un fluido (líquidos y gases), como puede ser aire, agua, aceite, etc., experimenta una resistencia que se opone a su movimiento, es decir, se presenta una fuerza en sentido contrario al del movimiento del cuerpo. Dicha fuerza recibe el nombre de fuerza de fricción viscosa, y depende de la velocidad del sólido, de la viscosidad (resistencia que opone un fluido a fluir) del fluido, así como de la forma geométrica del cuerpo.

Cuando un paracaidista se lanza desde un avión recibe la fuerza de fricción viscosa del aire, que actúa hacia arriba, contrarrestando la fuerza de atracción de la gravedad, es decir, su peso que actúa hacia abajo. Cuando la fuerza de fricción viscosa del aire tiene la misma magnitud que la fuerza de atracción de la gravedad, la fuerza neta o resultante que actúa sobre el paracaidista es igual a cero, por lo que **su descenso lo realiza con una velocidad constante, que recibe el nombre de velocidad terminal,** cuya magnitud es aproximadamente de 200 km/h. Observe la figura 4.7.

En general, todo cuerpo al caer, como gotas de lluvia, granizo, paracaidista, etc., alcanzará **su velocidad terminal** cuando su peso tenga la misma magnitud que la fuerza debida a la resistencia del aire.



figura 4.7

El paracaidista alcanza su velocidad terminal cuando $F = P$.

Esta velocidad dura muy pocos segundos, ya que al abrir su paracaídas la fuerza de fricción viscosa del aire se incrementa considerablemente y la velocidad terminal del paracaidista tendrá una magnitud muy por debajo de los 200 km/h.

Tiro vertical

Este movimiento se presenta cuando un cuerpo se lanza verticalmente hacia arriba observándose que la magnitud de su velocidad va disminuyendo hasta anularse al alcanzar su altura máxima. Inmediatamente inicia su regreso para llegar al mismo punto donde fue lanzado y adquiere la misma magnitud de velocidad con la cual partió. De igual manera, el tiempo empleado en subir es el mismo utilizado en bajar. En conclusión, el tiro vertical sigue las mismas leyes de la caída libre de los cuerpos y, por tanto, emplea las mismas ecuaciones.

En este tipo de movimiento generalmente resulta importante calcular la altura máxima alcanzada por un cuerpo, el tiempo que tarda en subir hasta alcanzar su altura máxima y el tiempo de permanencia en el aire; por tal motivo, haremos la deducción de las ecuaciones necesarias para calcular dichas magnitudes a partir de las ecuaciones generales para la caída libre de los cuerpos.

Para calcular la altura máxima que alcanza un cuerpo lanzado verticalmente hacia arriba usamos la ecuación:

$$v_f^2 = v_0^2 + 2\,gh$$

Cuando el cuerpo alcanza su altura máxima ($h_{máx}$) su velocidad final es cero, por consiguiente:

$$v_f^2 = 0 = v_0^2 + 2\,gh_{máx}$$

Despejando a la altura máxima tenemos:

$$h_{máx} = -\frac{v_0^2}{2g}$$

Para calcular el tiempo que tarda en subir utilizamos la ecuación:

$$v_f = v_0 + gt$$

Cuando el cuerpo alcanza su altura máxima ya no sube más y, como ya mencionamos, en ese instante su velocidad final es cero, por tanto:

$$v_f = 0 = v_0 + gt_{(subir)}$$

Despejando al tiempo que tarda en subir [$t_{(subir)}$] tenemos:

$$t_{(subir)} = -\frac{v_0}{g}$$

Como el tiempo que tarda en subir es el mismo para bajar, entonces el tiempo de permanencia en el aire será:

$$t_{(aire)} = 2\,t_{(subir)}$$

es decir:

$$t_{(aire)} = -\frac{2v_0}{g}$$

Resolución de problemas de caída libre y tiro vertical

1 Una piedra se deja caer desde la azotea de un edificio y tarda en llegar al suelo 4 segundos.

Calcular:

a) La altura del edificio.

b) La magnitud de la velocidad con que choca contra el suelo.

Solución:

Datos

$v_0 = 0$

$t = 4$ s

$g = -9.8$ m/s^2

a) $h = ?$

Fórmulas

a) $h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}$

b) $v_f = v_0 + gt$

Como $v_0 = 0$, las ecuaciones quedan:

b) $v_f = ?$

a) $h = \dfrac{gt^2}{2}$

b) $v_f = gt$

Sustitución y resultados

a) $h = \dfrac{-9.8\ \text{m/s}^2(4\ \text{s})^2}{2} = -78.4\ \text{m}$

El signo menos de la altura es porque se mide desde la azotea hasta el suelo.

b) $v_f = -9.8\ \text{m/s}^2 \times 4\ \text{s} = -39.2\ \text{m/s}$

El signo menos es porque la velocidad es hacia abajo.

2 Un niño deja caer una pelota desde una ventana que está a 60 m de altura sobre el suelo.

Calcular:

a) ¿Qué tiempo tardará en caer?

b) ¿Con qué magnitud de velocidad choca contra el suelo?

Solución:

Datos

$v_0 = 0$

$h = -60\ \text{m}$

$g = -9.8\ \text{m/s}^2$

a) $t = ?$

b) $v_f = ?$

Fórmulas

a) $h = \dfrac{gt^2}{2} \therefore t = \sqrt{\dfrac{2\ \text{h}}{g}}$

b) $v_f = gt$

Sustitución y resultados

a) $t = \sqrt{\dfrac{2(-60\ \text{m})}{-9.8\ \text{m/s}^2}} = 3.5\ \text{s}$

b) $v_f = -9.8\ \text{m/s}^2 \times 3.5\ \text{s} = -34.3\ \text{m/s}$

3 Se lanza verticalmente hacia abajo una piedra al vacío con una velocidad inicial cuya magnitud es de 5 m/s.

Calcular:

a) ¿Qué magnitud de velocidad llevará a los 3 segundos de su caída?

b) ¿Qué distancia recorrerá entre los segundos 3 y 4?

Solución:

Datos

$v_0 = -5\ \text{m/s}$

$g = -9.8\ \text{m/s}^2$

a) $v_{\text{a los 3 s}} = ?$

b) $d_{\text{entre 3 y 4 s}} = ?$

Fórmulas

a) $v_f = v_0 + at$

b) $h = v_0 t + \dfrac{gt^2}{2}$

Sustitución y resultados

a) $v_f = -5\ \text{m/s} + (-9.8\ \text{m/s}^2 \times 3\ \text{s})$
$= -5\ \text{m/s} - 29.4\ \text{m/s} = -34.4\ \text{m/s}$

$d_{3\,\text{s}} = -5\ \text{m/s} \times 3\ \text{s} + \dfrac{-9.8\ \text{m/s}^2(3\ \text{s})^2}{2}$
$= -15\ \text{m} - 44.1\ \text{m} = -59.1\ \text{m}$

b) $d_{4\,\text{s}} = -5\ \text{m/s} \times 4\ \text{s} + \dfrac{-9.8\ \text{m/s}^2(4\ \text{s})^2}{2}$
$= -20\ \text{m} - 78.4\ \text{m} = -98.4\ \text{m}$

$d_{4\,\text{s}} - d_{3\,\text{s}} = -98.4\ \text{m} - (-59.1\ \text{m}) = -39.3\ \text{m}$

4 Un cuerpo es lanzado verticalmente hacia arriba con una velocidad cuya magnitud es de 29.4 m/s.

Calcular:

a) ¿Qué altura habrá subido al primer segundo?

b) ¿Qué magnitud de velocidad llevará al primer segundo?

c) ¿Qué altura máxima alcanzará?

d) ¿Qué tiempo tardará en subir?

e) ¿Cuánto tiempo durará en el aire?

Solución:

Datos

$v_0 = 29.4\ \text{m/s}$

(positiva porque va hacia arriba)

$g = -9.8\ \text{m/s}^2$

a) $h_{1\,\text{s}} = ?$

b) $v_{1\,\text{s}} = ?$

c) $h_{\text{máx}} = ?$

d) $t_{(\text{subir})} = ?$

e) $t_{(\text{aire})} = ?$

Fórmulas

a) $h = v_0 t + \dfrac{gt^2}{2}$

b) $v_f = v_0 + gt$

c) $h_{\text{máx}} = -\dfrac{v_0^2}{2g}$

d) $t_{(\text{subir})} = -\dfrac{v_0}{g}$

e) $t_{(\text{aire})} = 2t_{(\text{subir})}$

Sustitución y resultados

a) $h_{1\,\text{s}} = 29.4\ \text{m/s} \times 1\ \text{s} + \dfrac{-9.8\ \text{m/s}^2(1\ \text{s})^2}{2}$
$= 29.4\ \text{m} - 4.9\ \text{m} = 24.5\ \text{m}$

b) $v_{1\,\text{s}} = 29.4\ \text{m/s} + (-9.8\ \text{m/s}^2 \times 1\ \text{s})$
$= 29.4\ \text{m/s} - 9.8\ \text{m/s} = 19.6\ \text{m/s}$

c) $h_{\text{máx}} = -\dfrac{(29.4\ \text{m/s})^2}{2(-9.8\ \text{m/s}^2)} = 44.1\ \text{m}$

d) $t_{(\text{subir})} = -\dfrac{29.4\ \text{m/s}}{-9.8\ \text{m/s}^2} = 3\ \text{s}$

e) $t_{(\text{aire})} = 2 \times 3\ \text{s} = 6\ \text{s}$

Ejercicios propuestos

1. ¿Cuál es la magnitud de la aceleración que experimenta una maceta que cae desde una ventana?
2. Un balón de fútbol se deja caer desde una ventana y tarda en llegar al suelo 5 segundos.

   Calcular:

   a) ¿Desde qué altura cayó?

   b) ¿Con qué magnitud de velocidad choca contra el suelo?
3. Una piedra se suelta al vacío desde una altura de 120 m.

   Calcular:

   a) ¿Qué tiempo tarda en caer?

   b) ¿Con qué magnitud de velocidad choca contra el suelo?
4. Se tira una piedra verticalmente hacia abajo con una velocidad inicial cuya magnitud es de 8 m/s.

   Calcular:

   a) ¿Qué magnitud de velocidad llevará a los 4 segundos de su caída?

   b) ¿Qué distancia recorre en ese tiempo?
5. Se lanza verticalmente hacia arriba una pelota con una velocidad cuya magnitud es de 20 m/s.

   Calcular:

   a) ¿Qué distancia recorre a los 2 segundos?

   b) ¿Qué magnitud de velocidad lleva a los 2 segundos?

   c) ¿Qué altura máxima alcanza?

   d) ¿Cuánto tiempo dura en el aire?

10 Tiro parabólico

El tiro parabólico es un ejemplo de movimiento realizado por un cuerpo en dos dimensiones o sobre un plano. Algunos ejemplos de cuerpos cuya trayectoria corresponde a un tiro parabólico son: proyectiles lanzados desde la superficie de la Tierra o desde un avión, el de una pelota de fútbol al ser despejada por el portero con un cierto ángulo con respecto al suelo, o el de una pelota de golf al ser lanzada con cierto ángulo respecto al eje horizontal (figura 4.8). El movimiento de un cuerpo es parabólico si su trayectoria es una parábola, es decir, una curva abierta, simétrica respecto a un eje y con un solo foco. El tiro parabólico, para su estudio, puede considerarse como la combinación de dos movimientos que son un movimiento horizontal uniforme y un movimiento vertical rectilíneo uniformemente acelerado. En otras palabras, el tiro parabólico es la resultante de la suma vectorial de un movimiento horizontal uniforme y de un movimiento vertical rectilíneo uniformemente acelerado. El tiro parabólico es de dos tipos: horizontal y oblicuo.



figura 4.8

La trayectoria de esta pelota de golf es un tiro parabólico.

Tiro parabólico horizontal

Se caracteriza por la trayectoria o camino curvo que sigue un cuerpo al ser lanzado horizontalmente al vacío, resultado de dos movimientos independientes: un movimiento horizontal con velocidad constante y otro vertical, el cual se inicia con una velocidad cero y va aumentando su magnitud en la misma proporción de otro cuerpo que cayera al vacío desde el mismo punto en el mismo instante. La forma de la curva descrita es abierta, simétrica respecto a un eje y con un solo foco, es decir, **una parábola.** Por ejemplo, en la figura 4.9 se grafica el descenso al mismo tiempo de dos pelotas, sólo que la pelota del lado derecho es lanzada con una velocidad horizontal de 15 m/s. Al término del primer segundo ambas pelotas han recorrido 4.9 m en su caída; sin embargo, la pelota de la

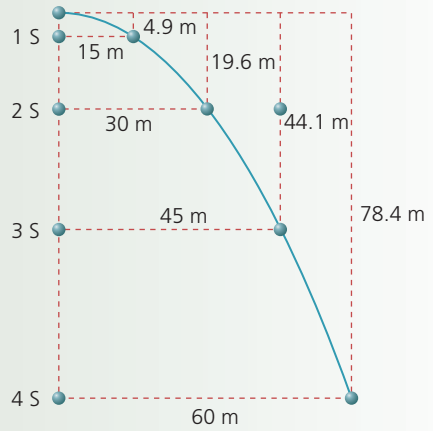


figura 4.9

Ejemplo de trayectoria seguida por un cuerpo en el tiro parabólico horizontal.

derecha también ha avanzado 15 m respecto a su posición inicial. A los dos segundos ambas pelotas ya han recorrido 19.6 m en su caída, pero la pelota de la derecha ya lleva 30 m recorridos como resultado de su movimiento horizontal. Si se desea calcular la distancia recorrida en forma horizontal puede hacerse con la expresión: $d = vt$, pues **la pelota lanzada con una velocidad horizontal tendrá una rapidez constante durante su recorrido horizontal e independiente de su movimiento vertical originado por la aceleración de la gravedad durante su caída libre**.

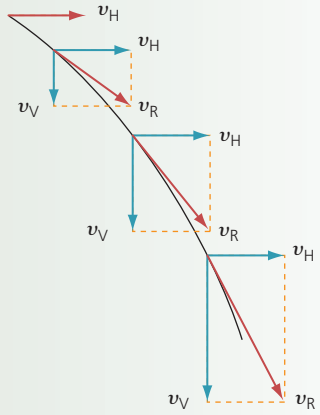


figura 4.10

Componentes rectangulares de la velocidad resultante (v_R) de un cuerpo que sigue una trayectoria parabólica horizontal. Se observa cómo la velocidad horizontal (v_H) permanece constante, mientras la velocidad vertical (v_v) aumenta su magnitud durante su caída libre por acción de la gravedad de la Tierra.

La trayectoria descrita por un proyectil cuya caída es desde un avión en movimiento, es otro ejemplo de tiro parabólico horizontal. Supongamos que un avión vuela a 250 m/s y deja caer un proyectil, la magnitud de la velocidad adquirida por dicho proyectil, en los diferentes momentos de su caída libre, se puede determinar por medio del método del paralelogramo; para ello, basta representar mediante vectores las componentes horizontal y vertical del movimiento. Al primer segundo de su caída la componente vertical tendrá una magnitud de 9.8 m/s, mientras la magnitud de la componente horizontal de su velocidad será la misma que llevaba el avión al soltar el proyectil, es decir, 250 m/s. Trazamos el paralelogramo y obtenemos la magnitud resultante de las dos velocidades. A los dos segundos la componente vertical tiene una magnitud de 19.6 m/s y la horizontal, como ya señalamos, conserva su misma magnitud: 250 m/s. Así continuaríamos hasta que el proyectil llegue al suelo. En la figura 4.10 vemos cuáles serían las componentes rectangulares de la velocidad de un cuerpo, el cual sigue una trayectoria parabólica horizontal.

Tiro parabólico oblicuo

Se caracteriza por la trayectoria que sigue un cuerpo cuando es lanzado con una velocidad inicial que forma un ángulo con el eje horizontal. Por ejemplo, la trayectoria seguida por una pelota de voleibol después de recibir el golpe durante el saque inicial, o el de un balón de fútbol al ser despejado con un cierto ángulo por el portero. En la figura 4.11 se muestran las diferentes trayectorias parabólicas que sigue un balón de fútbol después de ser pateado, de tal manera que se le imprime la misma magnitud de velocidad inicial, pero formando ángulos diferentes con respecto al eje horizontal. En dicha figura se aprecia que cuando el ángulo de tiro es de 20° y de 70°, el alcance horizontal es el mismo. Obsérvese que la suma de 20° + 70° = 90°. Una característica del tiro parabólico oblicuo es que cuando se lanza un cuerpo con una determinada magnitud de velocidad inicial, tendrá el mismo alcance horizontal, es decir, recorrerá la misma distancia en forma horizontal con dos ángulos diferentes de tiro, la única condición es que **la suma de dichos ángulos dé un resultado de 90°**. De esta manera, un cuerpo lanzado con un ángulo de 30° tiene un alcance horizontal igual a un cuerpo lanzado con un ángulo de 60°

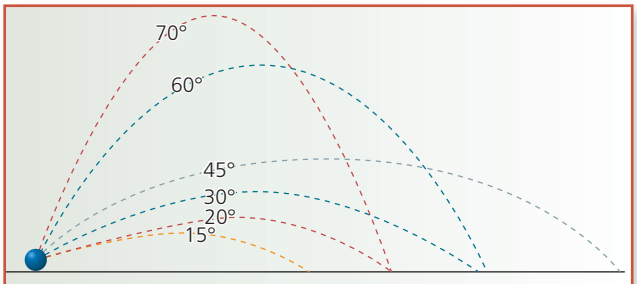


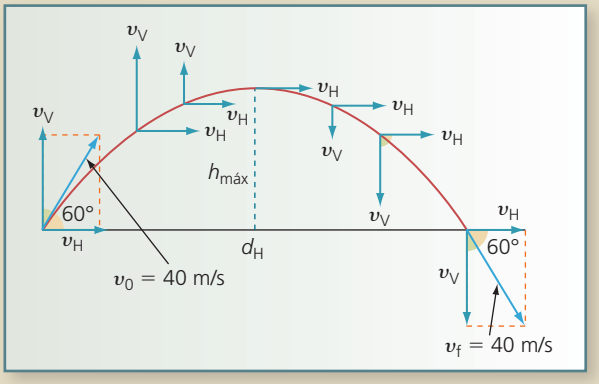
figura 4.11

El alcance horizontal del cuerpo es el mismo para los ángulos de 20° y 70°. De igual manera, el alcance horizontal es el mismo para los ángulos de 30° y 60°. Por tanto, el alcance horizontal de un objeto en tiro parabólico oblicuo será el mismo con dos ángulos diferentes de tiro, sean cuales sean, mientras que la suma de dichos ángulos dé un resultado de 90°. El alcance máximo horizontal se presenta cuando el ángulo de tiro es de 45°.

(30° + 60° = 90°). Un cuerpo lanzado con un ángulo de 15° tiene un alcance horizontal igual al de un cuerpo lanzado con un ángulo de 75° (15° + 75° = 90°), entre otros. **El alcance máximo horizontal tiene lugar cuando el ángulo de tiro es de 45°**. En conclusión, cuanto mayor es el ángulo de tiro respecto al eje horizontal, un cuerpo adquiere una mayor altura y durará más tiempo en el aire, sin embargo, al ser menor la magnitud de la componente horizontal de la velocidad inicial, su alcance horizontal también será menor.

Resolución de un problema de tiro parabólico oblicuo

En el siguiente dibujo vemos la trayectoria seguida por una pelota de golf lanzada con una velocidad de 40 m/s formando un ángulo de 60° respecto a la horizontal.



Como se observa, la pelota inicia su ascenso con una velocidad inicial cuya magnitud es de 40 m/s y con un ángulo de 60°; si descomponemos esta velocidad en sus componentes rectangulares encontraremos la magnitud de la velocidad vertical que le posibilita avanzar hacia arriba, como si hubiera sido arrojada en tiro vertical; por esta razón, la magnitud de la velocidad disminuye debido a la acción de la gravedad de la Tierra, hasta anularse y la pelota alcanza su altura máxima. Después inicia su descenso y la magnitud de la velocidad vertical comienza a aumentar, **tal como sucede en un cuerpo en caída libre**, de manera que al llegar al suelo nuevamente tendrá la misma magnitud de la velocidad vertical que tenía al iniciar su ascenso. Por otra parte, la componente horizontal nos indica la magnitud de la velocidad horizontal que le permite desplazarse como lo haría un cuerpo en un movimiento rectilíneo uniforme. Por tal motivo, esta magnitud de velocidad permanecerá constante todo el tiempo que el cuerpo dure en el aire.

Para nuestro ejemplo, las componentes vertical y horizontal de la velocidad tienen una magnitud al inicio de su movimiento de:

$$v_{0_v} = v_0 \operatorname{sen} 60° = 40 \text{ m/s} \times 0.8660 = 34.64 \text{ m/s}$$

$$v_H = v_0 \cos 60° = 40 \text{ m/s} \times 0.5 = 20.0 \text{ m/s}$$

(permanece constante)

Una vez calculada la magnitud de la componente inicial vertical de la velocidad (v_{0_v}) y utilizando las ecuaciones de tiro vertical, vistas en la sección Caída libre de los cuerpos y tiro vertical, podemos determinar con facilidad la altura máxima alcanzada por la pelota, el tiempo que tarda en subir y el tiempo que permanece en el aire; así pues, la magnitud de la velocidad inicial vertical para la pelota de golf será igual a 34.64 m/s. Por tanto, sustituyendo esta magnitud en la ecuación de la altura máxima tenemos:

$$h_{máx} = -\frac{v_{0_v}^2}{2g} = -\frac{(34.64 \text{ m/s})^2}{2(-9.8 \text{ m/s}^2)} = 61.22 \text{ m}$$

Para calcular el tiempo que tarda en subir la pelota, hacemos uso de la ecuación correspondiente que se dedujo para el tiro vertical, sustituyendo la magnitud de la componente inicial vertical:

$$t_{(subir)} = -\frac{v_{0_v}}{g} = -\frac{34.64 \text{ m/s}}{-9.8 \text{ m/s}} = 3.53 \text{ s}$$

El tiempo que dura en el aire es igual al doble del tiempo que tarda en subir:

$$t_{(aire)} = -\frac{2v_{0_v}}{g}$$

por lo que: $t_{(aire)} = 2 \times 3.53 \text{ s} = 7.06 \text{ s}$.

Para conocer el alcance horizontal d_H de la pelota, debemos considerar que mientras esté en el aire se mueve en esa dirección debido a la magitud de la componente horizontal de la velocidad, la cual no varía y en nuestro caso tiene una magnitud de 20 m/s; por tanto, para calcular d_H emplearemos la expresión:

$$d_H = v_H t_{(aire)} = 20 \text{ m/s} \times 7.068 \text{ s} = 141.3 \text{ m}$$

La magnitud del desplazamiento horizontal también puede ser calculado a partir de la siguiente deducción:

$$d_H = v_H t_{(aire)} \quad (1)$$

$$t_{(aire)} = -\frac{2v_{0_v}}{g} \quad (2)$$

Sabemos que:

$$v_{0_v} = v_0 \operatorname{sen} \theta \quad (3)$$

Sustituyendo 2 y 3 en 1:

$$d_H = v_H\left(-\frac{2v_0 \operatorname{sen}\theta}{g}\right) \qquad (4)$$

como:

$$v_H = v_0 \cos\theta \qquad (5)$$

Sustituimos 5 en 4

$$d_H = -\frac{v_0 \cos\theta\, 2v_0 \operatorname{sen}\theta}{g} \qquad (6)$$

donde:

$$d_H = -\frac{2v_0^2 \cos\theta \operatorname{sen}\theta}{g} \qquad (7)$$

Por trigonometría se demuestra que:

$$2\cos\theta \operatorname{sen}\theta = \operatorname{sen} 2\theta \qquad (8)$$

Sustituyendo 8 en 7 nos queda:

$$d_H = -\frac{2v_0^2 \operatorname{sen} 2\theta}{g} \qquad (9)$$

Sustituyendo valores para la ecuación 9 tenemos:

$$d_H = -\frac{(40\ \text{m/s})^2 \operatorname{sen} 2(60)}{-9.8\ \text{m/s}^2}$$

$$= -\frac{(1\,600\ \text{m}^2/\text{s}^2)\,0.8\,660}{-9.8\ \text{m/s}^2} = 141.3\ \text{m}$$

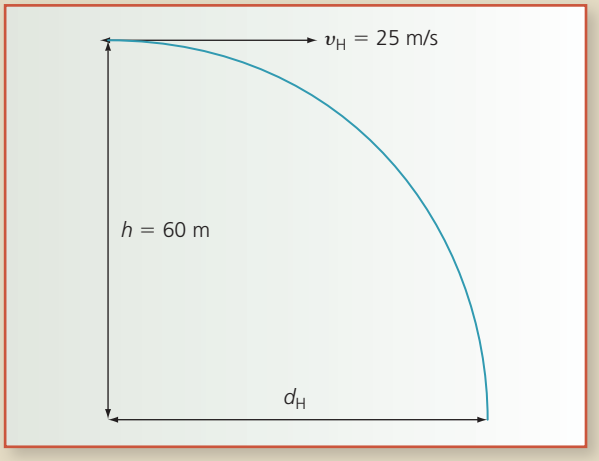
(resultado igual al anterior)

La ecuación 9 resulta útil cuando se desea hallar el ángulo con el cual debe ser lanzado un proyectil que parte con una determinada magnitud de velocidad para dar en el blanco (ver el problema 3 de la siguiente página).

En conclusión, debemos considerar a un tiro parabólico, ya sea horizontal u oblicuo, como el resultado de combinar dos movimientos, uno horizontal y otro vertical, que se presentan de manera simultánea. El movimiento en dirección horizontal es con una velocidad constante, pues carece de aceleración; sin embargo, el movimiento vertical tiene una aceleración constante debida a la acción de la gravedad y va dirigida hacia abajo, es decir, perpendicularmente a la superficie de la Tierra. Los dos movimientos no se interfieren entre sí, porque **uno es independiente del otro**.

Resolución de problemas de tiro parabólico

1 Se lanza una piedra horizontalmente con una velocidad cuya magnitud es de 25 m/s desde una altura de 60 m, como se ve en la siguiente figura:



Calcular:

a) El tiempo que tarda en llegar al suelo.

b) La magnitud de la velocidad vertical que lleva a los 2 segundos.

c) La distancia horizontal a la que cae la piedra, a partir del punto de donde fue arrojada.

Solución:

Datos	**Fórmulas**
$v_H = 25$ m/s	
$h = -60$ m	a) $t_{(caer)} = \sqrt{\frac{2h}{g}}$
a) $t_{(caer)} = ?$	
b) $v_{2\,s} = ?$	b) $v_{2\,s} = gt$
c) $d_H = ?$	c) $d_H = v_H t$

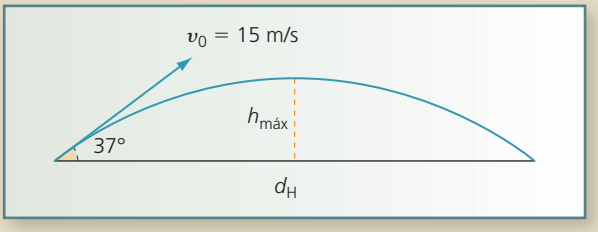
Sustitución y resultados

a) $t_{(caer)} = \sqrt{\frac{2(-60\ \text{m})}{-9.8\ \text{m/s}^2}} = 3.5\ \text{s}$

b) $v_{2\,s} = -9.8\ \text{m/s}^2 \times 2\ \text{s} = -19.6\ \text{m/s}$

c) $d_H = 25\ \text{m/s} \times 3.5\ \text{s} = 87.5\ \text{m}$

2 Un jugador le pega a una pelota con un ángulo de 37° con respecto al plano horizontal, comunicándole una velocidad inicial cuya magnitud es de 15 m/s como se ve en la siguiente figura:



Calcular:

a) El tiempo que dura la pelota en el aire.

b) La altura máxima alcanzada.

c) El alcance horizontal de la pelota.

Solución:

Datos	**Fórmulas**
$v_0 = 15$ m/s	$v_{0_v} = v_0 \operatorname{sen}\theta$
$\theta = 37°$	$v_H = v_0 \cos\theta$
$t_{(aire)} = ?$	a) $t_{(aire)} = -\dfrac{2v_{0_v}}{g}$
$h_{máx} = ?$	b) $h_{máx} = -\dfrac{v_{0_v}^2}{2g}$
$d_H = ?$	c) $d_H = v_H t_{(aire)}$

Sustitución y resultados

$v_{0_v} = v_0 \operatorname{sen}\theta = 15 \text{ m/s} \times 0.6018 = 9.027 \text{ m/s}$

$v_H = v_0 \cos\theta = 15 \text{ m/s} \times 0.7986 = 11.979 \text{ m/s}$

a) $t_{(aire)} = -\dfrac{2v_{0_v}}{g} = -\dfrac{2 \times 9.027 \text{ m/s}}{-9.8 \text{ m/s}^2} = 1.842 \text{ s}$

b) $h_{máx} = -\dfrac{v_{0_v}^2}{2g} = -\dfrac{(9.027 \text{ m/s})^2}{2(-9.8 \text{ m/s}^2)} = 4.157 \text{ m}$

c) $d_H = v_H t_{(aire)} = 11.979 \text{ m/s} \times 1.842 \text{ s} = 22.06 \text{ m}$

3 Un proyectil se lanza con una velocidad inicial cuya magnitud es de 200 m/s; si se desea que dé en un blanco localizado a 2 500 m, calcular:

a) El ángulo con el cual debe ser lanzado.

b) El tiempo que tarda en llegar al blanco.

Solución:

Datos	**Fórmulas**
$v_0 = 200$ m/s	a) $d_H = -\dfrac{v_0^2 \operatorname{sen} 2\theta}{g}$ ∴ $-\operatorname{sen} 2\theta = \dfrac{d_H g}{v_0^2}$
$d_H = 2\,500$ m	
a) $\theta = ?$	b) $t_{(aire)} = -\dfrac{2v_{0_v}}{g}$
b) $t_{(aire)} = ?$	$v_{0_v} = v_0 \operatorname{sen}\theta$

Sustitución y resultados

a) $-\operatorname{sen} 2\theta = \dfrac{2\,500 \text{ m } (-9.8 \text{ m/s}^2)}{(200 \text{ m/s})^2}$

$\operatorname{sen} 2\theta = 0.6125$

2θ = ángulo cuyo seno es 0.6125

$2\theta = 37.76°$

$\theta = 18.88° = 18°53'$

b) $t_{(aire)} = -\dfrac{2v_{0_v}}{g}$

$v_{0_v} = v_0 \operatorname{sen} 18.88° = 200 \text{ m/s} \times 0.3230$

$= 64.6 \text{ m/s}$

$t_{(aire)} = -\dfrac{2 \times 64.6 \text{ m/s}}{-9.8 \text{ m/s}^2} = 13.18 \text{ s}$

Ejercicios propuestos

1 Una pelota es lanzada horizontalmente desde una ventana con una velocidad inicial que tiene una magnitud de 10 m/s y cae al suelo después de 5 segundos.

Calcular:

a) ¿A qué altura se encuentra la ventana?

b) ¿A qué distancia cae la pelota de la base del edificio?

2 Un proyectil es lanzado con una velocidad inicial cuya magnitud es de 400 m/s y un ángulo de elevación de 35°.

Calcular:

a) El tiempo que dura en el aire.

b) La altura máxima alcanzada por el proyectil.

c) El alcance horizontal del proyectil.

3 Calcular el ángulo de elevación con el cual debe ser lanzado un proyectil que parte con una velocidad cuya magnitud es de 350 m/s para batir un blanco situado al mismo nivel que el arma y a 4 000 m de distancia.

4 Un avión vuela horizontalmente con una velocidad cuya magnitud es de 800 km/h y deja caer

un proyectil desde una altura de 500 m respecto al suelo.

Calcular:

a) ¿Cuánto tiempo transcurre antes de que el proyectil se impacte en el suelo?

b) ¿Qué distancia horizontal recorre el proyectil después de iniciar su caída?

5 Un jugador batea una pelota con una velocidad inicial cuya magnitud es de 22 m/s y con un ángulo de 40° respecto al eje horizontal.

Calcular:

a) La altura máxima alcanzada por la pelota.

b) El alcance horizontal de la pelota.

11 Movimiento circular

Un cuerpo o una partícula describe un **movimiento circular** cuando su trayectoria es una circunferencia. En este movimiento el vector velocidad varía constantemente de dirección, y su magnitud o módulo puede estar variando o permanecer constante. Por tanto, en un movimiento circular una partícula se puede mover con rapidez constante o no, pero su aceleración formará siempre un ángulo recto (90°) con su velocidad y se desplazará formando un círculo. La aceleración que recibe la partícula está dirigida hacia el centro del círculo y recibe el nombre de aceleración normal, radial o centrípeta. El **movimiento circular** se efectúa en un mismo plano y es el movimiento más sencillo en dos dimensiones y en dos direcciones.

En nuestra vida cotidiana observamos diferentes partículas (recuerde que cualquier cuerpo puede ser considerado como una partícula para su estudio), describiendo movimientos circulares, tal es el caso de una persona que se sube a una rueda de la fortuna, una niña que disfruta en un carrusel, o una piedra atada al extremo de una cuerda y que se hace girar.

Es importante señalar que el **movimiento circular es un caso particular del movimiento de traslación de una partícula**, ya que el eje de giro está fuera de dicha partícula, como puede apreciarse en la figura 4.12, la partícula (persona) tiene un movimiento circular, pero el eje de giro está en el centro de la rueda de la fortuna. No sucede así en el **movimiento de rotación de un cuerpo rígido en donde el eje de giro se localiza dentro de un cuerpo rígido**. Además, el **movimiento circular** se describe con el modelo de partícula y el movimiento de rotación con el modelo del cuerpo rígido.

Las expresiones matemáticas del movimiento circular se expresan generalmente con magnitudes angulares como el desplazamiento angular, la velocidad angular y la aceleración angular.

En el movimiento circular de una partícula, resulta práctico considerar que el origen del sistema de referencia se encuentra en el centro de su trayectoria circular.



figura 4.12

Cuando la rueda de la fortuna se pone en movimiento, las personas (consideradas partículas), experimentan un movimiento circular, ya que su trayectoria es una circunferencia.

Para estudiar este movimiento es necesario recordar conceptos ya mencionados, como son: desplazamiento, tiempo, velocidad y aceleración, ya que son aplicados a cada una de las partículas de un cuerpo en movimiento circular. No obstante, es conveniente resaltar que las trayectorias de éstas son **circunferencias concéntricas de longitud diferente y de radio igual a la distancia entre la partícula considerada y el eje de rotación**. Debido a ello debemos introducir los conceptos de ángulo y radián (figura 4.13).

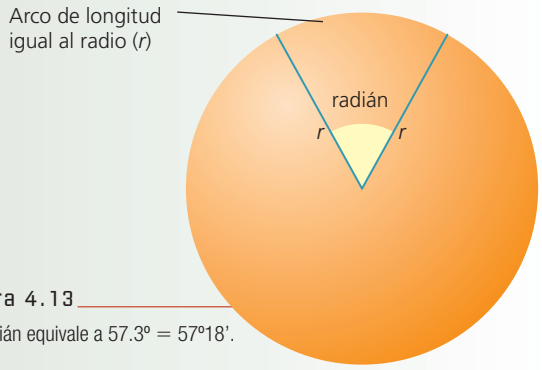


figura 4.13
Un radián equivale a 57.3º = 57°18'.

Ángulo

Es la abertura comprendida entre dos radios que limitan un arco de circunferencia.

Radián

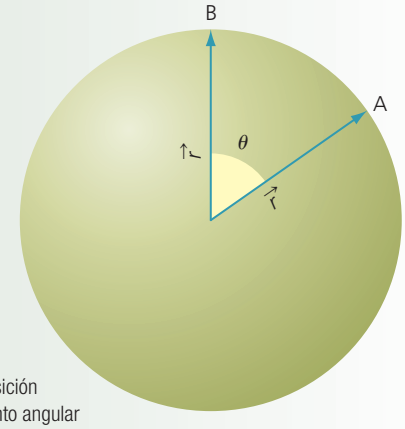
Es el ángulo central al que corresponde un arco de longitud igual al radio. La equivalencia de un radián en grados sexagesimales se determina sabiendo que:

$$2\,\pi\,\text{rad} = 360^\circ$$

$$\therefore 1\ \text{rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} = \frac{180^\circ}{\pi} = 57.3^\circ = 57^\circ 18'$$

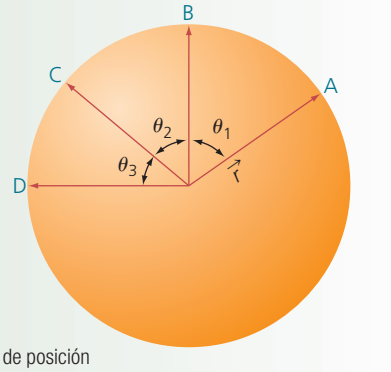
Vector de posición y desplazamiento angular

Si observamos el movimiento de una partícula o de un objeto colocado encima de un disco que gira, podemos precisar su posición si tomamos como origen del sistema de referencia el centro de la trayectoria circular. De esta forma el vector que nos indicará su posición para cada intervalo de tiempo se encontrará determinado por el radio de la circunferencia, mismo que permanece constante. Por tanto, el vector de posición tendrá una magnitud constante y su dirección será la misma que tenga el radio de la circunferencia. Cuando el objeto colocado sobre el disco se desplace, su cambio de posición se podrá expresar mediante desplazamientos del vector de posición, lo cual dará lugar a **desplazamientos angulares**. Por tanto, **el desplazamiento angular es la magnitud física que cuantifica la magnitud de la rotación que experimenta un objeto de acuerdo con su ángulo de giro** (figuras 4.14 y 4.15). El desplazamiento angular se representa con la letra griega θ (theta) y sus unidades de medida son: **el radián**, cuando el sistema usado es el Internacional; así como **grados sexagesimales y revoluciones** que son unidades prácticas. El **grado sexagesimal** es aquel que tiene como base el número 60. La circunferencia tiene 360 grados sexagesimales, cada uno de los cuales se subdivide en 60 minutos, y éstos en 60 segundos. Una revolución se efectúa cuando un objeto realiza una vuelta completa alrededor de un eje de rotación. Una revolución es igual a $360° = 2\pi$rad.



$\vec{r}$ = vector de posición
θ = desplazamiento angular
A = posición inicial del objeto
B = posición final del objeto, después de un intervalo de tiempo

figura 4.14
Al pasar una partícula o un objeto de una posición inicial A a una posición final B, experimenta un desplazamiento angular θ que se mide en radianes, grados sexagesimales o en revoluciones.



$\vec{r}$ = vector de posición
θ_1, θ_2, θ_3 = desplazamientos angulares en radianes
A, B, C, D = diferentes posiciones de un cuerpo o de una partícula en trayectoria circular

figura 4.15
Al pasar un cuerpo o una partícula por las diferentes posiciones A, B, C y D experimenta los correspondientes desplazamientos angulares representados por θ_1, θ_2 y θ_3.

Periodo y frecuencia

Periodo

Es el tiempo que tarda un móvil en dar una vuelta completa o en completar un ciclo. En el sistema Internacional, las unidades del periodo son:

$$T = \frac{\text{segundos transcurridos}}{\text{1 ciclo}}$$

Frecuencia

Es el número de vueltas, revoluciones o ciclos que efectúa un móvil en un segundo.

$$f = \frac{\text{número de ciclos}}{\text{1 segundo}}$$

Como puede observarse, el periodo equivale al inverso de la frecuencia y la frecuencia al inverso del periodo.

donde: $T = \frac{1}{f}$ en $\frac{\text{s}}{\text{ciclo}}$

$f = \frac{1}{T}$ en $\frac{\text{ciclo}}{\text{s}}$

Nota: En ocasiones, se suele escuchar que se exprese el número de vueltas o revoluciones que efectúa un móvil en un minuto (RPM), tal es el caso de un disco de pasta que se reproduce en un fonógrafo que gira a $33\frac{1}{3}$ RPM. Si se desea conocer su frecuencia, debemos transformar sus revoluciones por minuto a revoluciones o ciclos por segundo.

Velocidad angular

La magnitud de la velocidad angular representa el cociente entre la magnitud del desplazamiento angular de un cuerpo y el tiempo que tarda en efectuarlo:

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

donde: ω = magnitud de la velocidad angular en rad/s

θ = magnitud del desplazamiento angular en rad

t = tiempo en que efectúa el desplazamiento en segundos (s)

La magnitud de la velocidad angular se puede expresar en función de los cambios en la magnitud de su desplazamiento angular con respecto al cambio en el tiempo de la siguiente manera:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1}$$

La magnitud de la velocidad angular también se puede determinar si se conoce su periodo (T), es decir, el tiempo que tarda en dar una vuelta completa o una revolución (360° = 2π radianes). La expresión que se utiliza es:

$$\omega = \frac{2\pi \text{ rad}}{T} = \frac{2\pi}{T} \text{ en rad/s}$$

Como $T = 1/f$, la magnitud de la velocidad angular también se puede determinar por:

$$\omega = 2\pi f$$

Velocidad angular media

Cuando la velocidad angular de un cuerpo no es constante o uniforme, podemos determinar la magnitud de la velocidad angular media al conocer las magnitudes de la velocidad angular inicial y su velocidad angular final:

$$\omega_m = \frac{\omega_f + \omega_0}{2}$$

donde: ω_m = magnitud de la velocidad angular media en rad/s

ω_f = magnitud de la velocidad angular final en rad/s

ω_0 = magnitud de la velocidad angular inicial en rad/s

Movimiento circular uniforme (MCU)

Este movimiento se produce cuando un cuerpo o partícula con una magnitud de velocidad angular constante describe ángulos iguales en tiempos iguales. El origen de este movimiento se debe a una fuerza de magnitud constante, cuya acción es perpendicular a la trayectoria del cuerpo y produce una aceleración que afectará sólo la dirección del movimiento sin modificar la magnitud de la velocidad, es decir, la rapidez que lleva el cuerpo. Por tanto, en un movimiento circular uniforme el vector velocidad mantiene constante su magnitud, pero no su dirección, toda vez que ésta siempre se conserva tangente a la trayectoria del cuerpo.

Interpretación de gráficas de la magnitud de desplazamiento angular-tiempo y magnitud de la velocidad angular-tiempo en el MCU

Como los movimientos rectilíneo uniforme y circular uniforme son muy similares, la interpretación de gráficas para el movimiento circular uniforme (MCU) será en forma idéntica a la realizada para el movimiento rectilíneo uniforme. Sin embargo, es conveniente recordar que **uno tiene una trayectoria circular y otro una trayectoria rectilínea**. Además, en el movimiento rectilíneo uniforme un cuerpo móvil sigue una trayectoria en línea recta, recorriendo distancias iguales en cada unidad de tiempo, por lo que la velocidad y su magnitud, es decir, la rapidez, permanecen constantes (ver sección 4 de esta unidad). En cambio, **en el movimiento circular uniforme sólo permanece constante la rapidez, o sea, la magnitud de la velocidad lineal o tangencial**,

ya que ésta cambia de dirección, misma que siempre será tangente a la circunferencia y, por tanto, perpendicular al radio de la misma, como se ve en la figura 4.16. La velocidad tangencial o lineal representa la velocidad que llevará un cuerpo al salir disparado en forma tangencial a la circunferencia que describe (figura 4.17). Este concepto lo veremos con mayor detalle más adelante.

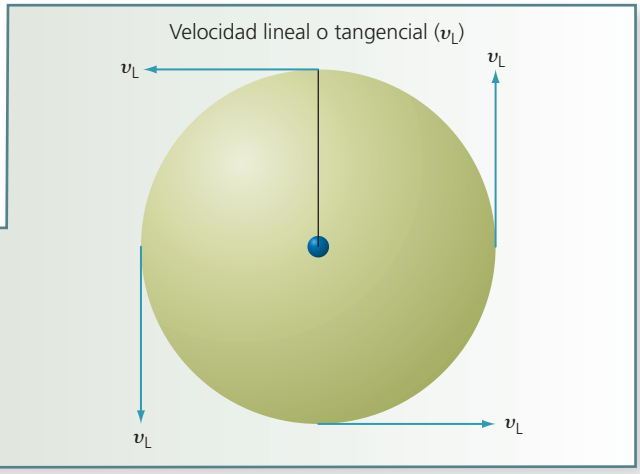


figura 4.16

La velocidad lineal o tangencial ($\boldsymbol{v}_L$) cambia constantemente de dirección, ésta siempre es tangente a la circunferencia y, por tanto, perpendicular al radio de la misma.

Resolución de un problema de interpretación de gráficas para MCU

En el movimiento circular uniforme de un cuerpo se obtuvieron los datos contenidos en el cuadro 4.3.

cuadro 4.3	Datos de un movimiento circular
Tiempo (s)	Magnitud del desplazamiento angular θ = (rad)
0	0
1	9
2	18
3	27
4	36
5	45

1. Graficar las magnitudes del desplazamiento angular en función del tiempo, interpretar el significado físico de la pendiente obtenida al unir los puntos y obtener el valor de dicha pendiente.

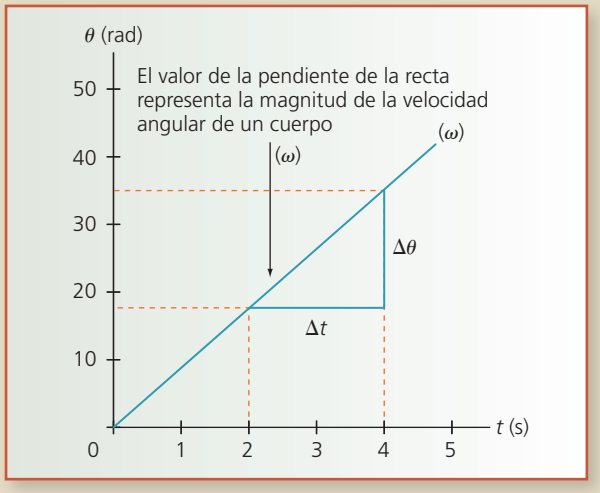
2. Graficar la magnitud de la velocidad angular del cuerpo en función del tiempo e interpretar el significado físico del área obtenida al unir los puntos.

Solución:

Cálculo del valor de la pendiente de la recta:

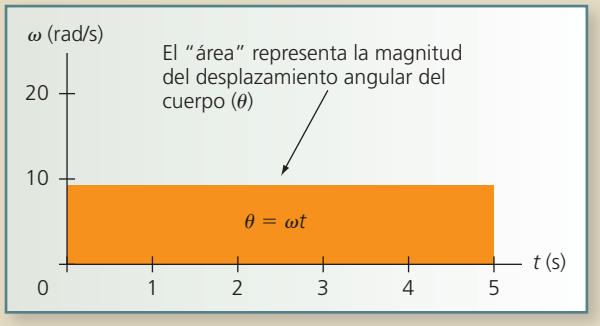
a) $$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{36\text{ rad} - 18\text{ rad}}{4\text{ s} - 2\text{ s}}$$

$$\omega = \frac{18\text{ rad}}{2\text{ s}} = 9\text{ rad/s}$$



Como se observa, el valor de la pendiente de la recta obtenida representa la magnitud de la velocidad angular, cuyo valor permanece constante, igual a 9 rad/s.

b) Como la velocidad angular no cambia en su magnitud, graficamos el mismo valor para cada segundo.



Como se ve, en una gráfica velocidad angular en función del tiempo, si la magnitud de la velocidad angular permanece constante se obtiene una línea recta paralela al eje t. Para cualquier tiempo el área del rectángulo representa el producto ωt, el cual equivale a la magnitud del desplazamiento angular realizado por el cuerpo. Por tanto, la magnitud del desplazamiento angular realizado en un tiempo de 5 segundos con una velocidad angular cuya magnitud es de 9 rad/s será de:

$$\theta = \omega t = 9 \text{ rad/s} \times 5 \text{ s} = 45 \text{ rad}$$

Resolución de problemas de movimiento circular

1 Un móvil con trayectoria circular recorrió 820°. ¿Cuántos radianes fueron?

Solución:

De la siguiente equivalencia:

$$1 \text{ rad} = 57.3°$$

Obtenemos el factor de conversión, mismo que se multiplica por 820°, es decir:

$$820° \times \frac{1 \text{ rad}}{57.3°} = 14.31 \text{ radianes}$$

2 Un cuerpo A recorrió 515 radianes y un cuerpo B recorrió 472 radianes. ¿A cuántos grados equivalen los radianes en cada caso?

Solución:

$$\text{Cuerpo A: } 515 \text{ rad} \times \frac{57.3°}{1 \text{ rad}} = 29\,509.5°$$

$$\text{Cuerpo B: } 472 \text{ rad} \times \frac{57.3°}{1 \text{ rad}} = 27\,045.6°$$

3 ¿Cuál es la magnitud de la velocidad angular de una rueda que gira desplazándose 15 rad en 0.2 segundos?

Solución:

Datos	**Fórmula**
$\omega = ?$	$\omega = \frac{\theta}{t}$
$\theta = 15$ rad	
$t = 0.2$ s	

Sustitución y resultado

$$\omega = \frac{15 \text{ rad}}{0.2 \text{ s}} = 75 \text{ rad/s}$$

4 Determinar la magnitud de la velocidad angular y la frecuencia de una piedra atada a un hilo si gira con un periodo de 0.5 s.

Solución:

Datos	**Fórmulas**
$\omega = ?$	$\omega = \frac{2\pi}{T}$
$f = ?$	$f = \frac{1}{T}$
$T = 0.5$ s	

Sustitución y resultados

$$\omega = \frac{2 \times 3.14}{0.5 \text{ s}} = 12.56 \text{ rad/s}$$

$$f = \frac{1}{0.5 \text{ s}} = 2 \text{ ciclos/s}$$

5 Hallar la magnitud de la velocidad angular y el periodo de una rueda que gira con una frecuencia de 430 revoluciones por minuto.

Solución:

Datos	**Fórmulas**
$\omega = ?$	$\omega = 2\pi f$
$T = ?$	
$f = 430$ rpm	$T = \frac{1}{f}$

Sustitución y resultados

$$430 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 7.17 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \times 3.14 \times 7.17 = 4.5 \text{ rad/s}$$

$$T = \frac{1}{7.17 \text{ rev/s}} = 0.139 \text{ s/rev}$$

6 Encontrar la magnitud de la velocidad angular de un disco de 45 rpm, así como la magnitud de su desplazamiento angular, si su movimiento duró 3 minutos.

Solución:

Datos	**Fórmulas**
$\omega = ?$	$\omega = 2\pi f$
$\theta = ?$	$\theta = \omega t$
$f = 45$ rpm	
$t = 3 \text{ min} = 180$ s	

Sustitución y resultados

$$45 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 0.75 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \times 3.14 \times 0.75 \text{ rev/s} = 4.71 \text{ rad/s}$$

$$\theta = 4.71 \text{ rad/s} \times 180 \text{ s} = 847.8 \text{ rad}$$

Ejercicios propuestos

1. ¿Cuál es la magnitud del desplazamiento angular de una rueda que gira con una velocidad angular cuya magnitud es de 63 rad/s durante 10 s?
2. Una persona se subió a la rueda de la fortuna y recorrió 7 200°. ¿Cuántos radianes recorrió?
3. Un disco gira desplazándose 20 rad en 0.1 segundos. ¿Cuál es la magnitud de su velocidad angular?
4. Un móvil con trayectoria circular recorre 750 radianes. ¿A cuántos grados equivalen?
5. Calcular la magnitud de la velocidad angular y el periodo de una rueda que gira con una frecuencia de 1 200 revoluciones por minuto.
6. Determinar la magnitud de la velocidad angular y la frecuencia de un rehilete que gira con un periodo de 0.1 s.
7. Calcular la magnitud de la velocidad angular de una rueda que gira a 600 RPM, así como la magnitud de su desplazamiento angular, si dura girando 10 minutos.
8. ¿Cuál es la magnitud de la velocidad lineal de un móvil que tiene una magnitud de velocidad angular de 40 rad/s y su radio de giro es de 0.15 m?
9. Determinar cuál es la magnitud de la velocidad lineal de un móvil que en su movimiento circular tiene un radio de giro de 40 cm y tiene un periodo de 0.012 segundos. Expresar el resultado en m/s.

12 Movimiento circular uniformemente acelerado (MCUA)

Este movimiento se presenta cuando un móvil con trayectoria circular aumenta o disminuye en cada unidad de tiempo su velocidad angular en forma constante, por lo que la magnitud de su aceleración angular permanece constante.

Velocidad angular instantánea

La magnitud de la velocidad angular instantánea representa la magnitud del desplazamiento angular efectuado por un móvil en un tiempo muy pequeño que casi tiende a cero.

$$\omega_{inst} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$$

Aceleración angular media

Cuando durante el movimiento circular de un móvil su velocidad angular no permanece constante, sino que varía, decimos que sufre una aceleración angular. Cuando la velocidad angular varía es conveniente determinar cuál es la magnitud de su aceleración angular media, misma que se expresa de la siguiente forma:

$$\alpha_m = \frac{\omega_f - \omega_0}{t_f - t_0} = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$$

donde: α_m = magnitud de la aceleración angular media en rad/s^2

ω_f = magnitud de la velocidad angular final en rad/s

ω_0 = magnitud de la velocidad angular inicial en rad/s

Δt = tiempo durante el cual varía la magnitud de la velocidad angular en segundos (s)

Aceleración angular instantánea

Cuando en el movimiento acelerado de un cuerpo que sigue una trayectoria circular, los intervalos de tiempo considerados son cada vez más pequeños, la magnitud de la aceleración angular media se aproxima a la de una aceleración angular instantánea.

Cuando el intervalo de tiempo es tan pequeño que tiende a cero, la magnitud de la aceleración angular del cuerpo será la instantánea.

$$\alpha_{inst} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$$

Gráficas de la magnitud del desplazamiento angular-tiempo, magnitud de la velocidad angular-tiempo y magnitud del desplazamiento angular-tiempo al cuadrado, para el MCUA

Al realizar la interpretación de las gráficas para el movimiento circular uniforme, pudimos comprobar que tienen la misma interpretación de las gráficas para el movimiento rectilíneo uniforme, con la salvedad de que uno sigue

una trayectoria circular y otro una trayectoria rectilínea. De igual manera, al revisar los conceptos de movimiento circular uniformemente acelerado (MCUA), velocidad angular instantánea y aceleración angular media e instantánea, también podemos observar la similitud entre el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA) con el circular uniformemente acelerado (MCUA). Por tanto, interpretamos las gráficas del MCUA como lo hicimos para el MRUA. Veamos: en una gráfica de la magnitud del desplazamiento angular-tiempo, **la pendiente de la curva representa la magnitud de la velocidad angular** en una gráfica de la magnitud del desplazamiento angular-tiempo al cuadrado, **la pendiente de la recta representa la mitad de la magnitud de la aceleración angular** $\left(\frac{1}{2}\alpha\right)$. Finalmente, **la pendiente que resulta de graficar la magnitud de la velocidad angular instantánea en función del tiempo representa la magnitud de la aceleración angular del cuerpo.**

Resolución de un problema de interpretación de gráficas para MCUA

En el movimiento circular uniformemente acelerado de un cuerpo se obtuvieron los siguientes datos:

Con los datos del cuadro 4.4 realice lo siguiente:

a) Graficar las magnitudes del desplazamiento angular en función del tiempo e interpretar el significado físico de la curva obtenida al unir los puntos.

b) Graficar las magnitudes del desplazamiento angular en función del tiempo elevado al cuadrado e interpretar el significado físico de la recta obtenida al unir los puntos. Determinar el valor de la pendiente.

c) Graficar los datos de la magnitud de la velocidad angular instantánea en función del tiempo y hallar el valor de la pendiente de la recta obtenida al unir los puntos. ¿Cuál es el significado físico de la pendiente de la recta?

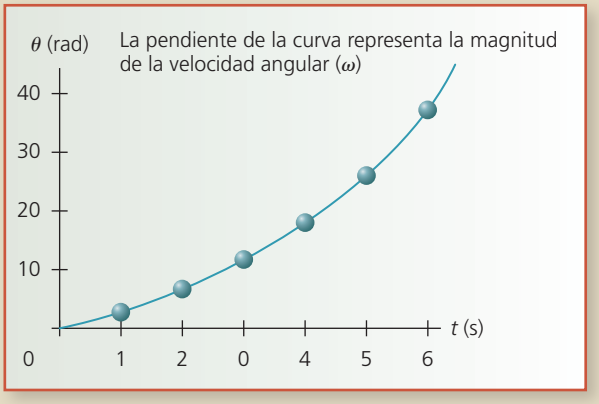
cuadro 4.4 Datos de un movimiento circular uniformemente acelerado

Tiempo (s)	Magnitud del desplazamiento angular θ (radianes)	Magnitud de la velocidad angular instantánea (rad/s)
1	1	2
2	4	4
3	9	6
4	16	8
5	25	10
6	36	12

Solución:

a) Al unir los puntos se obtiene una curva cuya pendiente representa la magnitud de la velocidad angular del móvil, la cual aumenta en forma constante mientras transcurre el tiempo.

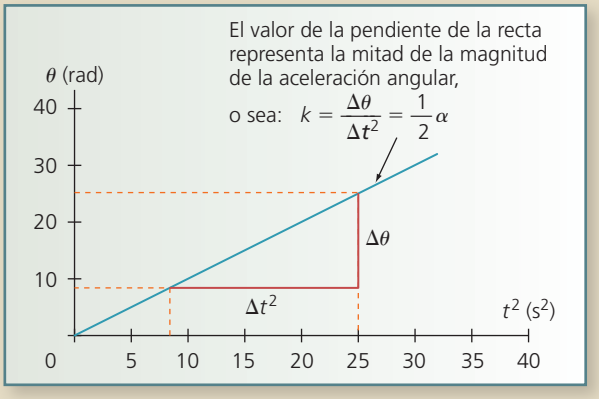
b) Al graficar las magnitudes del desplazamiento angular en función del tiempo al cuadrado encontramos una recta cuyo valor de la pendiente representa la mitad de la magnitud de la aceleración angular. El valor de la pendiente de la recta se calcula de la siguiente manera:



$$k = \frac{\Delta\theta}{\Delta t^2} = \frac{25\text{ rad} - 9\text{ rad}}{25\text{ s}^2 - 9\text{ s}^2} = \frac{16\text{ rad}}{16\text{ s}^2} = 1\text{ rad/s}^2$$

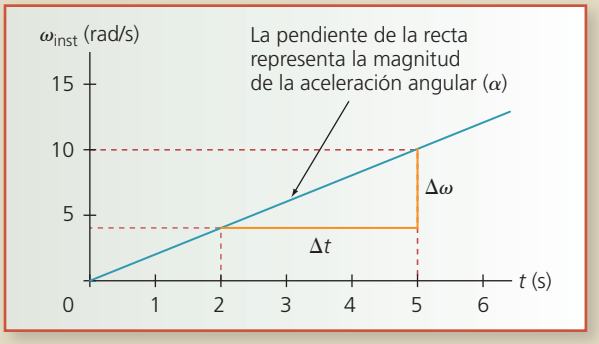
Este valor representa la mitad de la magnitud de la aceleración angular que tiene el móvil durante su movimiento. Por tanto, la magnitud de la aceleración angular es igual a:

$$\alpha = 2k = 2\text{ rads/s}^2$$



c) La pendiente que resulta de graficar las magnitudes de la velocidad angular instantánea en función del tiempo, representa la magnitud de la aceleración angular del cuerpo, cuya magnitud constante es:

$$a = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{10 \text{ rad/s} - 4 \text{ rad/s}}{5 \text{ s} - 2 \text{ s}} = \frac{6 \text{ rad/s}}{3 \text{ s}} = 2 \text{ rad/s}$$



Ecuaciones utilizadas en el movimiento circular uniformemente acelerado (MCUA)

Las ecuaciones empleadas para el movimiento circular uniformemente acelerado son las mismas que se utilizan para el rectilíneo uniformemente acelerado con las siguientes variantes:

1. En lugar de magnitud del desplazamiento en metros hablaremos de magnitud del desplazamiento angular en radianes (θ en lugar de d).
2. La magnitud de la velocidad en m/s se dará como magnitud de la velocidad angular en radianes/s (ω en lugar de v).
3. La magnitud de la aceleración en m/s^2 se cambiará a magnitud de la aceleración angular en radianes/s^2 (α en lugar de a).

En conclusión, las ecuaciones serán:

a) Para calcular la magnitud de los desplazamientos angulares:

1. $\theta = \omega_0 t + \frac{\alpha t^2}{2}$
2. $\theta = \frac{\omega_f^2 - \omega_0^2}{2\alpha}$
3. $\theta = \frac{\omega_f + \omega_0}{2} t$

Si el móvil parte del reposo, su velocidad angular inicial (ω_0) es cero, y las tres ecuaciones anteriores se reducen a:

1. $\theta = \frac{\alpha t^2}{2}$
2. $\theta = \frac{\omega_f^2}{2\alpha}$
3. $\theta = \frac{\omega_f}{2} t$

b) Para calcular la magnitud de las velocidades angulares finales:

1. $\omega_f = \omega_0 + \alpha t$
2. $\omega_f^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$

Si el móvil parte del reposo su velocidad inicial (ω_0) es cero, y las dos ecuaciones anteriores se reducen a:

1. $\omega_f = \alpha t$
2. $\omega_f^2 = 2\alpha\theta$

Resolución de problemas de MCUA

1 Un engrane adquirió una velocidad angular cuya magnitud es de 2512 rad/s en 1.5 s. ¿Cuál fue la magnitud de su aceleración angular?

Solución:

Datos

$\omega_f = 2512$ rad/s

$t = 1.5$ s

$\alpha = ?$

Fórmula

$$\alpha = \frac{\omega}{t}$$

Sustitución y resultado

$$\alpha = \frac{2512 \text{ rad/s}}{1.5 \text{ s}} = 1674.66 \text{ rad/s}^2$$

2 Un mezclador eléctrico incrementó la magnitud de su velocidad angular de 20 rad/s a 120 rad/s en 0.5 s.

Calcular:

a) ¿Cuál fue la magnitud de su aceleración media?

b) ¿Cuál fue la magnitud de su desplazamiento angular en ese tiempo?

Solución:

Datos

$\omega_0 = 20$ rad/s

$\omega_f = 120$ rad/s

$t = 0.5$ s

a) $\alpha_m = ?$

b) $\theta = ?$

Fórmulas

a) $\alpha_m = \dfrac{\omega_f - \omega_0}{t}$

b) $\theta = \omega_0 t + \dfrac{\alpha t^2}{2}$

Sustitución y resultados

a) $\alpha_m = \dfrac{120 \text{ rad/s} - 20 \text{ rad/s}}{0.5 \text{ s}} = 200 \text{ rad/s}^2$

b) $\theta = 20 \text{ rad/s} \times 0.5 \text{ s} + \dfrac{200 \text{ rad/s}^2 (0.5 \text{ s})^2}{2}$

$= 10 \text{ rad} + 25 \text{ rad} = 35 \text{ rad}$

3 Determinar la magnitud de la velocidad angular de una rueda a los 0.1 minutos si tenía una velocidad angular inicial cuya magnitud es de 6 rad/s y sufre una aceleración angular cuya magnitud es de 5 rad/s^2.

Solución:

Datos

$\omega_f = ?$

$\omega_0 = 6$ rad/s

$t = 0.1$ min $= 6$ s

$\alpha = 5$ rad/s^2

Fórmula

$\omega_f = \omega_0 + \alpha t$

Sustitución y resultado

$\omega_f = 6 \text{ rad/s} + (5 \text{ rad/s}^2 \times 6 \text{ s}) = 36 \text{ rad/s}$

4 Una rueda gira con una magnitud de velocidad angular inicial de 18.8 rad/s experimentando una aceleración angular cuya magnitud es de 4 rad/s^2 que dura 7 segundos.

Calcular:

a) ¿Qué magnitud de desplazamiento angular tiene a los 7 segundos?

b) ¿Qué magnitud de velocidad angular lleva a los 7 segundos?

Solución:

Datos

$\omega_0 = 18.8$ rad/s

$t = 7$ s

$\alpha = 4$ rad/s^2

a) $\theta = ?$

b) $\omega_f = ?$

Fórmulas

a) $\theta = \omega_0 t + \dfrac{\alpha t^2}{2}$

b) $\omega_f = \omega_0 + \alpha t$

Sustitución y resultados

a) $\theta = 18.8 \text{ rad/s} \times 7 \text{ s} + \dfrac{4 \text{ rad/s}^2 (7 \text{ s})^2}{2}$

$= 131.6 \text{ rad} + 98 \text{ rad} = 229.6 \text{ rad}$

b) $\omega_f = 18.8 \text{ rad/s} + 4 \text{ rad/s}^2 \times 7 \text{ s}$

$= 18.8 \text{ rad/s} + 28 \text{ rad/s} = 46.8 \text{ rad/s}$

5 Una rueda que gira a 4 rev/s aumenta su frecuencia a 20 rev/s en 2 segundos. Determinar la magnitud de su aceleración angular.

Solución:

Datos

$f_0 = 4$ rev/s

$f_f = 20$ rev/s

$t = 2$ s

$\alpha = ?$

Fórmulas

$\omega_0 = 2\pi f_0$

$\omega_f = 2\pi f_f$

$\alpha = \dfrac{\omega_f - \omega_0}{t}$

Sustitución y resultado

$\omega_0 = 2 \times 3.14 \times 4 = 25.12$ rad/s

$\omega_f = 2 \times 3.14 \times 20 = 125.6$ rad/s

$\alpha = \dfrac{125.6 \text{ rad/s} - 25.12 \text{ rad/s}}{2 \text{ s}} = 50.24 \text{ rad/s}^2$

6 Una hélice gira inicialmente con una velocidad angular cuya magnitud es de 10 rad/s y recibe una aceleración constante de magnitud igual a 3 rad/s^2.

Calcular:

a) ¿Cuál será la magnitud de su velocidad angular después de 7 segundos?

b) ¿Cuál será la magnitud de su desplazamiento angular a los 7 segundos?

c) ¿Cuántas revoluciones habrá dado a los 7 segundos?

Solución:

Datos

$\omega_0 = 10$ rad/s

$\alpha = 3$ rad/s^2

Fórmulas

a) $\omega_f = \omega_0 + \alpha t$

$t = 7$ s

a) $\omega_f = ?$

b) $\theta = ?$

c) No. de rev. = ?

Sustitución y resultados

a) $\omega_f = 10 \text{ rad/s} + (3 \text{ rad/s}^2 \times 7 \text{ s})$

b) $\theta = \omega_0 t + \dfrac{\alpha t^2}{2}$

$= 10 \text{ rad/s} + 21 \text{ rad/s} = 31 \text{ rad/s}$

b) $\theta = 10 \text{ rad/s} \times 7 \text{ s} + \dfrac{3 \text{ rad/s}^2 (7 \text{ s})^2}{2}$

$= 70 \text{ rad} + 73.5 \text{ rad} = 143.5 \text{ rad}$

como 1 rev = 360° = 2π rad, tenemos:

c) $143.5 \text{ rad} \times \dfrac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} = 22.85$ revoluciones

Ejercicios propuestos

1. ¿Cuál es la magnitud de la aceleración angular de una rueda que adquiere una magnitud de velocidad angular de 350 rad/s en 2 s?
2. Una rueda tuvo una aceleración angular cuya magnitud es de 5 rad/s² durante 6 segundos. ¿Qué magnitud de velocidad final adquirió?
3. Si una hélice con una velocidad inicial cuya magnitud es de 15 rad/s recibe una aceleración angular que vale 7 rad/s² durante 0.2 min. ¿Cuál es la magnitud de la velocidad final y la magnitud del desplazamiento angular que tuvo?
4. Un engrane aumentó la magnitud de su velocidad angular de 12 rad/s a 60 rad/s en 4 s. ¿Cuál fue la magnitud de su aceleración angular?
5. Una banda gira con una magnitud de velocidad angular inicial de 12 rad/s y recibe una aceleración angular con una magnitud de 6 rad/s² durante 13 segundos.

   Calcular:

   a) ¿Qué magnitud de velocidad angular lleva al cabo de los 13 segundos?

   b) ¿Qué magnitud de desplazamiento angular tuvo?
6. Un disco que gira a 2 rev/s aumenta su frecuencia a 50 rev/s en 3 s. Determinar cuál fue la magnitud de su aceleración angular en rad/s².
7. Una rueda de la fortuna gira inicialmente con una magnitud de velocidad angular de 2 rad/s, si recibe una aceleración angular cuya magnitud es de 1.5 rad/s² durante 5 segundos, calcular:

   a) ¿Cuál será la magnitud de su velocidad angular a los 5 s?

   b) ¿Cuál será la magnitud de su desplazamiento angular?

   c) ¿Cuántas revoluciones habrá dado al término de los 5 s?

Velocidad lineal o tangencial

Cuando un móvil se encuentra girando, cada una de las partículas del mismo se mueve a lo largo de la circunferencia descrita por él con una velocidad lineal mayor a medida que aumenta el radio de la circunferencia. Esta velocidad lineal también recibe el nombre de tangencial, porque la dirección del movimiento siempre es tangente a la circunferencia recorrida por la partícula y representa la magnitud de la velocidad que llevaría ésta si saliera disparada tangencialmente como se ve en la figura 4.17.

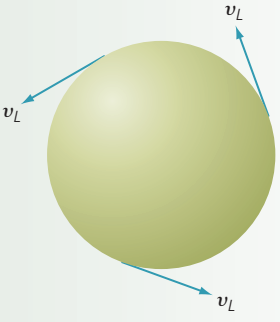


figura 4.17

La velocidad tangencial o lineal representa la magnitud de la velocidad que llevará un cuerpo al salir disparado en forma tangencial a la circunferencia que describe.

Para calcular la magnitud de la velocidad tangencial o lineal se usa la ecuación:

$$v_L = \frac{2\pi r}{T}$$

donde: r = radio de la circunferencia en metros (m)

T = periodo en segundos (s)

v_L = magnitud de la velocidad lineal en m/s

Como $\omega = \frac{2\pi}{T}$ la magnitud de la velocidad lineal puede escribirse:

$$v_L = \omega r$$

donde: v_L = magnitud de la velocidad lineal en m/s
ω = magnitud de la velocidad angular en rad/s
r = radio de la circunferencia en metros (m)

Aceleración lineal y radial

Aceleración lineal

Una partícula presenta esta aceleración cuando durante su movimiento circular cambia su velocidad lineal $(v_{L_f} - v_{L_0})$:

$$a_L = \frac{v_{L_f} - v_{L_0}}{t} \quad (1)$$

como $$v_L = \omega r \quad (2)$$

$$a_L = \frac{\omega_f r - \omega_0 r}{t} = \frac{\omega_f - \omega_0}{t} r \quad (3)$$

sabemos que $$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_0}{t} \quad (4)$$

Sustituyendo 4 en 3 nos queda:

$$a_L = \alpha r$$

donde: a_L = magnitud de la aceleración lineal en m/s^2
α = magnitud de la aceleración angular en rad/s^2
r = radio de la circunferencia en metros (m)

Aceleración radial o centrípeta

En un movimiento circular uniforme la magnitud de la velocidad lineal permanece constante, pero su dirección cambia permanentemente en forma tangencial a la circunferencia. Dicho cambio en la dirección de la velocidad se debe a la existencia de la llamada aceleración radial o centrípeta. Es radial porque actúa perpendicularmente a la velocidad lineal y centrípeta porque su sentido es hacia el centro de giro o eje de rotación. Su expresión es:

$$a_r = \frac{v_L^2}{r}$$

donde: a_r = magnitud de la aceleración radial en m/s^2
v_L = magnitud de la velocidad lineal del cuerpo en m/s
r = radio de la circunferencia en metros (m)

como $v_L = \omega r$

$$a_r = \frac{(\omega r)^2}{r} = \frac{\omega^2 r^2}{r}$$

$$a_r = \omega^2 r$$

donde: a_r = magnitud de la aceleración radial en m/s^2
ω = magnitud de la velocidad angular en rad/s
r = radio de la circunferencia en metros (m)

Como la aceleración lineal representa un cambio en la velocidad lineal y la aceleración radial representa un cambio en la dirección de la velocidad, se puede encontrar la resultante de las dos aceleraciones mediante la suma vectorial de ellas, como se ve en la figura 4.18.

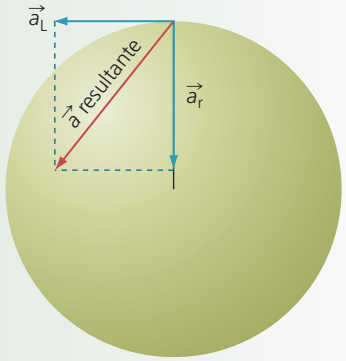


figura 4.18

La resultante de la suma vectorial de la aceleración lineal y la aceleración radial tiene una magnitud igual a: $a_{resultante} = \sqrt{a_L^2 + a_r^2}$.

Resolución de problemas de velocidad lineal y aceleración lineal radial

1. Calcular la magnitud de la velocidad lineal de una partícula cuyo radio de giro es de 25 cm y tiene un periodo de 0.01 s. Dar el resultado en cm/s y m/s.

Solución:

Datos **Fórmula**

v_L = ?

r = 25 cm
T = 0.01 s

$$v_L = \frac{2\pi r}{T}$$

Sustitución y resultado

$$v_L = \frac{2 \times 3.14 \times 25 \text{ cm}}{0.01 \text{ s}} = 15\,700 \text{ cm/s} = 157 \text{ m/s}$$

2 Determinar la magnitud de la velocidad lineal de una partícula que tiene una velocidad angular cuya magnitud es de 30 rad/s y su radio de giro es 0.2 m.

Solución:

Datos	**Fórmula**
$v_L = ?$	$v_L = \omega r$
$\omega = 30$ rad/s	
$r = 0.2$ m	

Sustitución y resultado

$$v_L = 30 \text{ rad/s} \times 0.2 \text{ m} = 6 \text{ m/s}$$

3 Calcular la magnitud de la aceleración lineal de una partícula cuya aceleración angular tiene una magnitud de 3 rad/s^2 y su radio de giro es 0.4 m.

Solución:

Datos	**Fórmula**
$a_L = ?$	$a_L = \alpha r$
$\alpha = 3$ rad/s^2	
$r = 0.4$ m	

Sustitución y resultado

$$a_L = 3 \text{ rad/s}^2 \times 0.4 \text{ m} = 1.2 \text{ m/s}^2$$

4 Encontrar la magnitud de la aceleración radial de una partícula que tiene una velocidad angular cuya magnitud es de 15 rad/s y su radio de giro es de 0.2 m.

Solución:

Datos	**Fórmula**
$a_r = ?$	$a_r = \omega^2 r$
$\omega = 15$ rad/s	
$r = 0.2$ m	

Sustitución y resultado

$$a_r = (15 \text{ rad/s})^2 \ 0.2 \text{ m} = 45 \text{ m/s}^2$$

5 Calcular las magnitudes de la velocidad angular y lineal de una partícula que gira con un periodo de 0.2 s, si su radio de giro es de 0.3 m. Determinar también las magnitudes de su aceleración lineal y radial, así como la resultante de estas dos aceleraciones.

Solución:

Datos	**Fórmulas**
$T = 0.2$ s	$\omega = \dfrac{2\pi}{T}$
$r = 0.3$ m	$v_L = \omega r$
$\omega = ?$	$a_L = \alpha r$
$v_L = ?$	$\alpha = \dfrac{\omega}{T}$
$a_L = ?$	
$a_r = ?$	$a_r = \omega^2 r$
$a_R = ?$	$a_R = \sqrt{a_L^2 + a_r^2}$

Sustitución y resultados

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2 \times 3.14}{0.2} = 31.4 \text{ rad}$$

$$v_L = \omega r = 3.14 \text{ rad/s} \times 0.3 \text{ m} = 9.42 \text{ m/s}$$

Para conocer la magnitud de α tenemos:

$$\alpha = \frac{\omega}{T} = \frac{31.4 \text{ rad/s}}{0.2 \text{ s}} = 157 \text{ rad/s}^2$$

$$a_L = \alpha r = 157 \text{ rad/s}^2 \times 0.3 \text{ m} = 47.1 \text{ m/s}^2$$

$$a_r = \omega^2 r = (31.4 \text{ rad/s})^2 \times 0.3 \text{ m} = 295.78 \text{ m/s}^2$$

$$a_R = \sqrt{a_L^2 + a_r^2}$$

$$a_R = \sqrt{(47.1 \text{ m/s}^2)^2 + (295.78 \text{ m/s}^2)^2}$$

$$= \sqrt{89\,704.218 \text{ m}^2/\text{s}^4} = 299.5 \text{ m/s}$$

Ejercicios propuestos

1 Encontrar las magnitudes de las velocidades angular y lineal de un cuerpo que tiene un radio de giro de 0.15 m y un periodo de 0.5 segundos.

2 Calcular la magnitud de la velocidad lineal de una piedra que tiene una velocidad angular con una magnitud de 20 rad/s y un radio de giro de 1.5 m.

3 ¿Cuál es la magnitud de la aceleración lineal de una partícula cuya aceleración angular tiene una magnitud de 2 rad/s^2 y su radio de giro es de 0.3 m?

4 Determinar la magnitud de la aceleración radial de una partícula que tiene una velocidad angular cuya magnitud es de 8 rad/s y su radio de giro es de 0.35 m.

5 Calcular las magnitudes de la velocidad angular y lineal de una partícula que gira con un periodo de 0.3 s, si su radio de giro es de 0.2 m.

Hallar también las magnitudes de su aceleración lineal y radial, así como la resultante de ambas aceleraciones.

13 Movimiento armónico simple (MAS)

El movimiento armónico simple es un movimiento periódico, es decir, se repite a intervalos iguales de tiempo. Puede ser descrito en función del movimiento circular uniforme, considerándolo como la proyección sobre cualquier diámetro de un punto que se mueve en una trayectoria circular con velocidad cuya magnitud permanece constante, como se ve en la figura 4.19.

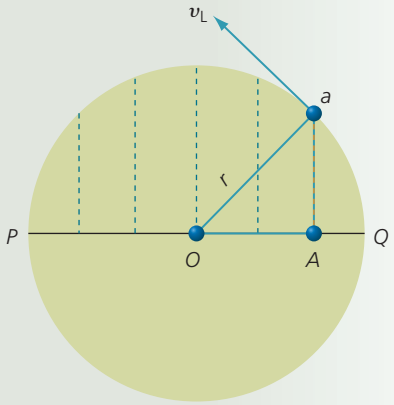


figura 4.19

El punto *a* se mueve alrededor de un círculo de radio *r* con una magnitud constante de velocidad v; si en cada intervalo de tiempo se traza una perpendicular desde *a* hasta el diámetro *P-Q*, el punto *A* de la intersección se moverá con movimiento armónico simple a uno y otro lado de la línea recta desde *P* hasta *Q*.

Al observar el movimiento armónico que describe el punto *A* de la mencionada figura al moverse de un lado a otro de la línea recta formada por *P* y *Q*, podemos apreciar que la magnitud de su velocidad cambia en forma constante: cuando está en el punto central *O* la magnitud de su velocidad es la máxima, mientras en *P* y *Q* la velocidad es momentáneamente nula; después aumenta poco a poco hasta llegar a *O* donde su magnitud es máxima para de nuevo disminuir hasta llegar a 0 en el otro extremo de la trayectoria.

Es evidente que **si la magnitud de la velocidad va cambiando existe una aceleración**. Dicha aceleración siempre se dirige a la posición central de equilibrio y su magnitud varía de la siguiente forma: cuando se inicia el movimiento en cualquiera de los extremos *P* o *Q* hacia el centro o punto 0, en los extremos **se tiene la mayor magnitud de la aceleración**, la cual disminuye a medida que se acerca al **centro donde se hace nula**; después de pasar el punto central, nuevamente aumenta la magnitud de la aceleración hasta llegar a su máxima magnitud, cuando llega al otro extremo, en el que **la velocidad se hace nula**. Por tanto, **en la posición de equilibrio la aceleración es nula y la velocidad tendrá su magnitud máxima, y en los extremos la aceleración tendrá su magnitud máxima y la velocidad será nula**.

En el movimiento armónico simple resultan útiles los siguientes conceptos:

Elongación

Distancia de una partícula a su punto de equilibrio. Puede ser positiva o negativa, según esté hacia la derecha o a la izquierda de la posición de equilibrio.

Amplitud

Es la máxima elongación cuyo valor será igual al radio de la circunferencia.

Para calcular la elongación (Y) de una partícula oscilatoria en cualquier instante de tiempo t se usa la expresión:

$$Y = r \cos 2\pi ft$$

Obtenida mediante la siguiente deducción:

Al representar a la elongación con la letra Y y al considerar que la elongación de una partícula oscilatoria es igual a la proyección sobre el diámetro horizontal del radio r descrita por el móvil de la figura 4.20 se tiene que el valor de Y equivale al cateto adyacente, por lo cual su valor es:

$$Y = r \cos \theta \quad (1)$$

como

$$\theta = \omega t \quad (2)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (3)$$

Sustituyendo 2 y 3 en 1:

$$Y = r \cos 2\pi ft$$

o bien:

$$Y = r \cos \omega t$$

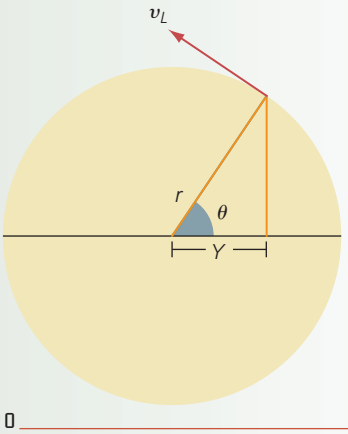


figura 4.20

La elongación de una partícula queda representada por *Y*.

Donde: Y = elongación de la partícula en m
r = radio de la circunferencia en m
f = frecuencia en ciclos/s
t = tiempo en segundos (s)
ω = magnitud de la velocidad angular en rad/s

Velocidad de oscilación

Es el resultado de proyectar la magnitud de la velocidad lineal del movimiento circular de un móvil sobre el diámetro de la circunferencia, como se ve en la figura 4.21, de modo que la expresión matemática de la magnitud de la velocidad de oscilación será:

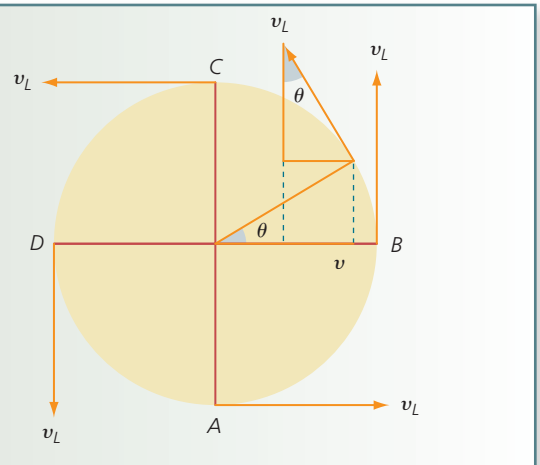


figura 4.21
La magnitud de la velocidad de oscilación de una partícula que describe un MAS, será positiva si va a la derecha, es decir, de D a B y negativa si va a la izquierda, o sea, de B a D.

$$v = -v_L \operatorname{sen}\theta \quad (1)$$

como:
$$\theta = \omega t \quad (2)$$
$$\omega = 2\pi f \quad (3)$$
$$v_L = \omega r \quad (4)$$

Sustituyendo 2, 3 y 4 en 1 queda:

$$v = -2\pi f r \operatorname{sen} 2\pi f t$$

o bien:

$$v = -\omega r \operatorname{sen} \omega t$$

donde: v = magnitud de la velocidad de oscilación en m/s
f = frecuencia en ciclos/s
r = radio de la circunferencia en metros (m)
t = tiempo en segundos (s)

Como se observa en la figura 4.21, cuando la velocidad lineal es paralela al diámetro (puntos A y C) la velocidad de oscilación del cuerpo será la mayor y tendrá una magnitud igual a la velocidad lineal. Cuando la velocidad lineal es perpendicular al diámetro (puntos B y D) su proyección sobre el diámetro es nula, por tanto, su magnitud es cero.

Aceleración de una partícula oscilante

En el MAS, la aceleración de una partícula oscilante tiene una magnitud igual a la proyección sobre el diámetro de la aceleración radial a_r, del movimiento circular uniforme de un móvil, como se ve en la figura 4.22, por lo que la expresión matemática de la magnitud de la aceleración de una partícula oscilante será:

$$a = -a_r \cos\theta. \quad (1)$$

como:
$$a_r = \omega^2 r \quad (2)$$
$$\omega = 2\pi f \quad (3)$$
$$\theta = \omega t \quad (4)$$
$$\theta = 2\pi f t \quad (5)$$

tendremos que:

$$a = -4\pi^2 f^2 r \cos 2\pi f t \quad (6)$$

como $\omega = 2\pi f$ y $\omega^2 = 4\pi^2 f^2$, la ecuación 6 la podemos escribir como:

$$a = -\omega^2 r \cos \omega t \quad (7)$$

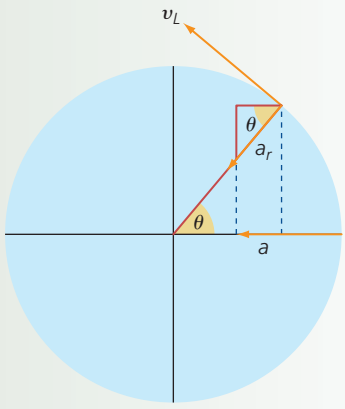


figura 4.22
El signo de la magnitud de la aceleración de una partícula oscilante es negativo, porque su sentido es siempre contrario al sentido del movimiento.

Puesto que $Y = r\cos 2\pi f t$, la ecuación 6 de la magnitud de la aceleración de una partícula oscilante también se puede expresar como:

$$a = -4\pi^2 f^2 Y$$

donde: a = magnitud de la aceleración en m/s^2
f = frecuencia en ciclos/s
Y = elongación en metros (m)

Si observamos la ecuación de la magnitud de la aceleración de una partícula oscilante, tenemos que ésta es

Grupo Editorial Patria

directamente proporcional a la elongación, pero de signo contrario.

De la ecuación de la magnitud de la aceleración de una partícula oscilante, puede despejarse la frecuencia, quedando de la siguiente manera:

$$f = \sqrt{\frac{-a}{4\pi^2 Y}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{-a}{Y}}$$

Gráficas sinusoidales del movimiento armónico simple

En el movimiento armónico simple (MAS) la elongación y las magnitudes de la velocidad y la aceleración se expresan en funciones trigonométricas sencillas de un ángulo. Se le denomina simple para distinguirlo de un movimiento amortiguado. Una curva senoide es la gráfica del seno de un ángulo trazada en función del ángulo. Toda onda de esta forma recibe el nombre de senoide o sinusoide. Para trazar las gráficas sinusoidales del MAS recordemos lo siguiente:

1. La elongación Y es la distancia que separa al móvil del centro o posición de equilibrio. Es positiva si está a la derecha de su posición de equilibrio y negativa si está a la izquierda. Su valor a un tiempo t se calcula con la expresión:

$$Y = r\cos \omega t$$

Nota: La amplitud es la máxima elongación, cuyo valor es igual al radio r de la circunferencia.

2. La magnitud de la velocidad de oscilación v es el resultado de proyectar la velocidad lineal (v_L) del movimiento circular de un cuerpo sobre el diámetro de la circunferencia. Su magnitud a un tiempo t se calcula con la expresión:

$$v = -v_L \operatorname{sen}\theta$$

como: $v_L = \omega r$ y $\theta = \omega t$ tenemos que:

$$v = -\omega r \operatorname{sen}\omega t$$

La magnitud de la velocidad de oscilación será positiva si el móvil va a la derecha y negativa si va a la izquierda.

3. La aceleración de una partícula oscilante a tiene una magnitud igual a la proyección sobre el diámetro de la aceleración radial a_r del movimiento circular uniforme de un móvil. Su magnitud a un tiempo t se calcula con la expresión:

$$a = -a_r \cos\theta$$

como: $a_r = \omega^2 r$ y $\theta = \omega t$ tenemos que:

$$a = -\omega^2 r\cos\omega t$$

El signo de la magnitud de la aceleración de un móvil oscilante es negativo, porque su sentido es siempre contrario al sentido del movimiento.

4. Recuerde: $\cos 90^\circ = 0$

$\operatorname{sen} 90^\circ = 1$

$\cos 0^\circ = 1$

$\operatorname{sen} 0^\circ = 0$

ω = magnitud de la velocidad angular

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Construiremos las gráficas sinusoidales y cosinusoidales para un intervalo de tiempo igual a un periodo T. En ellas, el tiempo t tendrá los siguientes valores:

$$t = 0,\ t = \frac{1}{4}T,\ t = \frac{1}{2}T,\ t = \frac{3}{4}T \text{ y } t = T$$

En las expresiones para la elongación Y, la velocidad v y la aceleración a, los valores de t corresponden a las fases: $\omega t = 0$, $\frac{\pi}{2}$ rad $= 90^\circ$, π rad $= 180^\circ$, $\frac{3\pi}{2}$ rad $= 270^\circ$ y 2π rad $= 360^\circ$, como se presentan a continuación:

a) Elongación: $Y = r\cos\omega t$

b) Magnitud de la velocidad: $v = -\omega r \operatorname{sen}\omega t$

c) Magnitud de la aceleración: $a = -\omega^2 r\cos\omega t$

Sustituyendo valores en las fórmulas anteriores:

Para $t = 0$

a) $Y = r\cos 0^\circ = r$

b) $v = -\omega r \operatorname{sen} 0^\circ = 0$

c) $a = -\omega^2 r\cos 0^\circ = -\omega^2 r$

Para $t = \frac{1}{4}T = \frac{T}{4}$

a) $Y = r\cos\left(\frac{2\pi}{T}\right)\left(\frac{T}{4}\right)$

$= r\cos\frac{\pi}{2}$

$= r\cos 90^\circ$

$= 0$

b) $v = -\omega r \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{T}\right)\left(\frac{T}{4}\right)$

$= -\omega r \operatorname{sen}\frac{\pi}{2}$

$= -\omega r \operatorname{sen} 90^\circ$

$= -\omega r$

c) $a = -\omega^2 r\cos\left(\frac{2\pi}{T}\right)\left(\frac{T}{4}\right)$

$= -\omega^2 r\cos\frac{\pi}{2}$

$= -\omega^2 r\cos 90^\circ$

$= 0$

Para $t = \frac{1}{2}T = \frac{T}{2}$

a) $Y = r\cos\left(\frac{2\pi}{T}\right)\left(\frac{T}{2}\right)$
$= r\cos\pi$
$= r\cos 180°$
$= -r$

b) $v = -\omega r\,\text{sen}\left(\frac{2\pi}{T}\right)\left(\frac{T}{2}\right)$
$= -\omega r\,\text{sen}\,\pi$
$= -\omega r\,\text{sen}\,180°$
$= 0$

c) $a = -\omega^2 r\cos\left(\frac{2\pi}{T}\right)\left(\frac{T}{2}\right)$
$= -\omega^2 r\cos\pi$
$= -\omega^2 r\cos 180°$
$= -\omega^2 r$

Para $t = \frac{3}{4}T = \frac{3T}{4}$

a) $Y = r\cos\left(\frac{2\pi}{T}\right)\left(\frac{3T}{4}\right)$
$= r\cos\frac{3\pi}{2}$
$= r\cos 270°$
$= 0$

b) $v = -\omega r\,\text{sen}\left(\frac{2\pi}{T}\right)\left(\frac{3T}{4}\right)$
$= -\omega r\,\text{sen}\,\frac{3\pi}{2}$
$= -\omega r\,\text{sen}\,270°$
$= \omega r$

c) $a = -\omega^2 r\cos\left(\frac{2\pi}{T}\right)\left(\frac{3T}{4}\right)$
$= -\omega^2 r\cos\frac{3\pi}{2}$
$= -\omega^2 r\cos 270°$
$= 0$

Para $t = T$

a) $Y = r\cos\left(\frac{2\pi}{T}\right)(T)$
$= r\cos 2\pi$
$= r\cos 360°$
$= r$

b) $v = -\omega r\,\text{sen}\left(\frac{2\pi}{T}\right)(T)$
$= -\omega r\,\text{sen}\,2\pi$
$= -\omega r\,\text{sen}\,360°$
$= 0$

c) $a = -\omega^2 r\cos\left(\frac{2\pi}{T}\right)(T)$
$= -\omega^2 r\cos 2\pi$
$= -\omega^2 r\cos 360°$
$= -\omega^2 r$

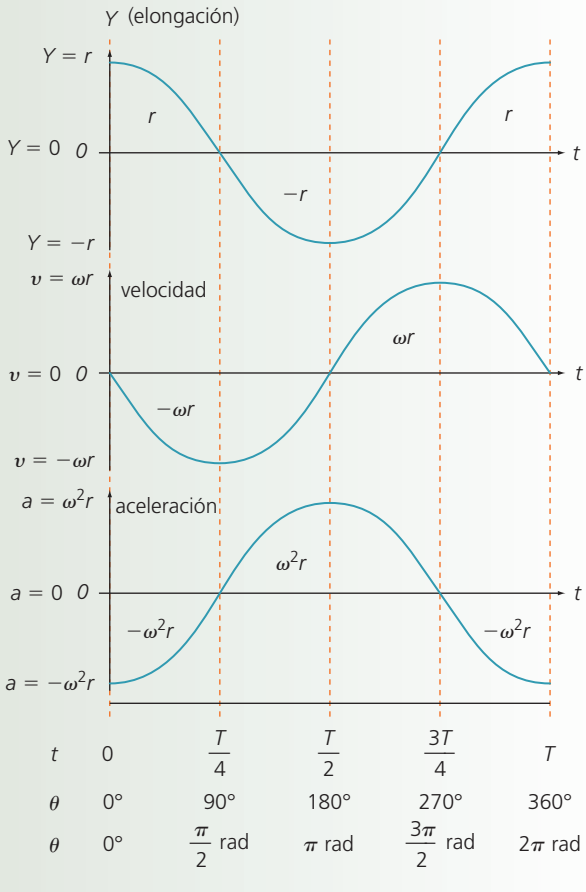
Con los resultados anteriores obtenemos el siguiente cuadro:

cuadro 4.5 Datos de Y, v y a en un MAS

Magnitud	Fórmula	Valores de Y, v y a para los siguientes valores de t				
		0	$T/4$	$T/2$	$3\,T/4$	T
Elongación (Y)	$Y = r\cos\omega t$	r	0	$-r$	0	r
Velocidad (v)	$v = -\omega r\,\text{sen}\,\omega t$	0	$-\omega r$	0	ωr	0
Aceleración (a)	$a = -\omega^2 r\cos\omega t$	$-\omega^2 r$	0	$\omega^2 r$	0	$-\omega^2 r$

Con los datos del cuadro 4.5 graficaremos a las magnitudes Y, v y a en función del tiempo:

Gráficas sinusoidales del movimiento armónico simple



Conclusiones de las gráficas del MAS

1. Cuando la partícula o móvil vibrante se encuentra en los extremos en los que se tiene la máxima elongación, es decir, la amplitud cuyo valor es igual al radio de la circunferencia: $Y = r$, o $Y = -r$, la velocidad de oscilación de la partícula es igual a cero, mientras la magnitud de la aceleración de la partícula es la máxima y se calcula con la expresión: $a = -\omega^2 r$.
2. Cuando la partícula está en el punto medio o punto de equilibrio, su elongación vale cero: $Y = 0$, pero su magnitud velocidad es la máxima ($v = \omega r$), mientras su aceleración tiene un valor de cero.
3. La aceleración de la partícula siempre tiene sentido contrario al vector desplazamiento.

Oscilador armónico

Otro ejemplo de movimiento armónico simple es el que presenta el resorte de la figura 4.23, el cual tiene suspendido un cuerpo en su extremo inferior.

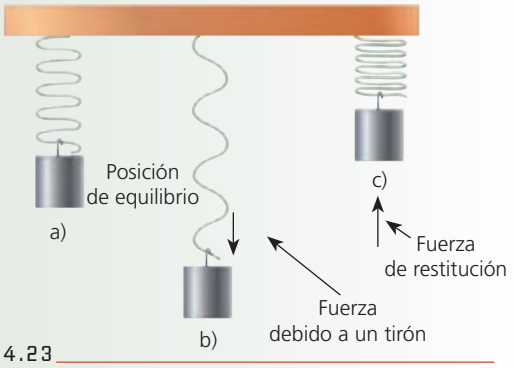


figura 4.23

Al darle un tirón hacia abajo al cuerpo y luego soltarlo, se observará que comienza a vibrar de un lado a otro de su posición de equilibrio, describiendo un movimiento armónico simple.

Al darle un tirón hacia abajo al cuerpo que tiene suspendido el resorte, éste se estira [figura 4.23 (b)] y al soltar el cuerpo la fuerza de restitución del resorte tratará de que recupere su posición de equilibrio. Pero al pasar por ella y debido a la velocidad que lleva, por inercia sigue su movimiento comprimiendo el resorte [figura 4.23 (c)], por ello vuelve a actuar la fuerza de restitución ahora hacia abajo y nuevamente el cuerpo pasa por su posición de equilibrio. Sin embargo, por la inercia no se detiene y se estira nuevamente, así actúa otra vez la fuerza de restitución jalándolo hacia arriba. Se repiten en forma sucesiva estos movimientos de abajo hacia arriba y el cuerpo se comporta como un **oscilador armónico**. Si no existieran fuerzas de fricción, el movimiento del cuerpo, a uno y otro lado de su posición de equilibrio, continuaría indefinidamente.

Conforme aumenta la fuerza del tirón aplicado al cuerpo, la fuerza de restitución encargada de que el cuerpo recupere su posición de equilibrio, también aumenta en la misma proporción. Según la Ley de Hooke, la fuerza de restitución que actúa para que un cuerpo recupere su posición de equilibrio es directamente proporcional al desplazamiento del cuerpo. Como la fuerza de restitución es opuesta al desplazamiento, su signo es negativo y la expresión matemática siguiente resume lo expuesto:

$$F = -kd$$

donde: F = magnitud de la fuerza de restitución en newtons (N)

k = constante del resorte cuyo valor depende del tipo de material elástico de que se trate y cuyas unidades son N/m (ver unidad 7, Sección 3)

d = magnitud del desplazamiento experimentado por el cuerpo elástico de que se trate en metros (m)

El periodo de un vibrador armónico simple, como es el caso del resorte de la figura 4.23, depende de su rigidez. Por tanto, a mayor rigidez del resorte, menor es su periodo. Si un resorte es más rígido que otro, realizará una fuerza de restitución mayor para un desplazamiento dado y su aceleración también será mayor. La rigidez del resorte se expresa mediante la constante del resorte k equivalente a la magnitud de la fuerza de restitución por unidad de desplazamiento.

donde:
$$k = \frac{F}{d} \qquad (1)$$

(Leer la parte correspondiente a la actividad experimental 1 de este libro.)

Por ejemplo, si para un resorte que se desplaza 0.1 m actúa una fuerza de restitución con una magnitud de 0.98 N, y cuando se desplaza 0.2 m actúa una fuerza con una magnitud de 1.9 N, su constante del resorte será igual a:

$$k = \frac{F}{d} = \frac{0.98\,\text{N}}{0.1\,\text{m}} = 9.8\,\text{N/m}$$

o bien:
$$k = \frac{F}{d} = \frac{0.96\,\text{N}}{0.2\,\text{m}} = 9.8\,\text{N/m}$$

De acuerdo con la Ley de Hooke: $F = -kd$, el signo (−) significa que el sentido de la fuerza de restitución es opuesto al del desplazamiento o elongación del resorte; y de la Segunda Ley de Newton tenemos: $F = ma$, siendo a la magnitud de la aceleración del resorte en cualquier instante, de donde:

$$F = ma = -kd \qquad (2)$$

por consiguiente:
$$a = -\left(\frac{k}{m}\right)d \qquad (3)$$

La ecuación 3 nos indica que la magnitud de la aceleración de un cuerpo vibrador con un movimiento armónico simple, es directamente proporcional a la magnitud de su desplazamiento o elongación en cualquier instante.

En forma experimental se ha encontrado que el periodo de un vibrador armónico simple es directamente proporcional a la raíz cuadrada de su masa, e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la constante del resorte (k). Estos resultados experimentales se expresan matemáticamente con la siguiente ecuación, la cual nos permite calcular el periodo de vibración de un cuerpo con un MAS, y en el que se observa que su valor es independiente de la amplitud. Recordemos que la amplitud es el máximo desplazamiento del cuerpo vibrador medido desde su posición de equilibrio.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad (4)$$

donde: T = periodo en segundos (s)
m = masa del cuerpo vibrador en kilogramos (kg)
k = constante de resorte en N/m

Péndulo simple

Un péndulo simple está constituido por un cuerpo pesado suspendido en un punto sobre un eje horizontal por medio de un hilo de masa despreciable. Cuando se separa un péndulo de su posición de equilibrio y después se suelta, oscila a uno y otro lado del mismo por efecto de su peso (figura 4.24). El movimiento de un péndulo es otro ejemplo de movimiento armónico simple (MAS) y su periodo puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

donde: T = periodo del péndulo en segundos (s)
ℓ = longitud del péndulo en metros (m) (se mide desde el punto donde está suspendido hasta el centro de gravedad del cuerpo pesado que constituye al péndulo)
g = magnitud de la aceleración de la gravedad igual a 9.8 m/s^2

De la ecuación anterior se desprenden las dos leyes del péndulo:

1. El periodo de las oscilaciones, por pequeñas que sean, no depende de la masa del péndulo ni de la amplitud del movimiento, sino únicamente de su longitud.
2. El periodo es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la longitud del péndulo, e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la magnitud de la aceleración debida a la acción de la gravedad.

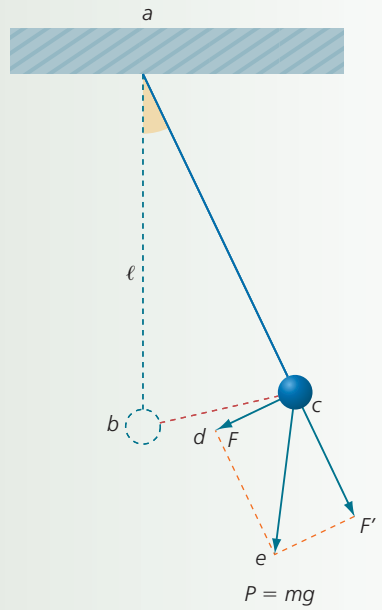


figura 4.24
Péndulo simple.

La ecuación empleada para calcular el periodo de un péndulo, se puede deducir a partir de la figura 4.24. En ella representamos la longitud del péndulo con ℓ, al peso con P, a la masa con m y al desplazamiento con d. Como $P = mg$ y sus dos componentes rectangulares son F y F', y si además consideramos pequeño al ángulo θ, por lo cual los triángulos abc y cde son prácticamente iguales, tenemos lo siguiente:

$$\frac{F}{mg} = \frac{d}{\ell} \qquad (1)$$

Reordenando términos:

$$\frac{F}{d} = \frac{mg}{\ell} = k \qquad (2)$$

De acuerdo con la ecuación 4 de la sección anterior, sabemos que:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad (3)$$

Sustituyendo 2 en 3 tenemos:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{g}{\ell}} \qquad (4)$$

por tanto: $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$

Análisis de los experimentos de Galileo Galilei y su relevancia en el trabajo científico

El científico italiano Galileo Galilei (1564-1642) hizo importantes contribuciones a la Astronomía y a la Física al estudiar el movimiento de los cuerpos, por medio de la observación directa y la aplicación de su método experimental.

El primer gran descubrimiento de Galileo ocurrió en el año de 1581, cuando tenía 17 años. Se sabe que cuando asistía a una misa celebrada en la Catedral de Pisa, su ciudad natal, observó cómo la lámpara suspendida en el techo, debido a las corrientes de aire, se balanceaba. En su movimiento de vaivén, que en ocasiones era corto y otras describía arcos más grandes, Galileo observó que aparentemente la lámpara tardaba el mismo tiempo en efectuar una oscilación, fuese grande o pequeña. Al regresar a su casa reprodujo el fenómeno usando bolas de plomo atadas a hilos de diferentes longitudes y descubrió que cualquiera que fuese la magnitud de la oscilación o el peso del plomo, la bola requería el mismo tiempo para completar un viaje de ida y vuelta. **Únicamente la longitud del hilo afectaba el tiempo de la oscilación**. Con estas observaciones, Galileo había descubierto el principio del péndulo, mismo que años más tarde permitiría al científico inglés Christian Huyges construir el primer reloj de péndulo.

En el año de 1589, cuando impartía clases de Matemáticas en su ciudad natal, demostró ante sus alumnos el error de Aristóteles, ya que éste afirmaba que la magnitud de la velocidad de caída de los cuerpos era proporcional a su peso. Galileo, por su parte, proponía que la magnitud de la velocidad de caída de un cuerpo debido a la aceleración de la gravedad, aumentaba uniformemente con el tiempo y también que la distancia recorrida por dicho cuerpo se incrementaba de manera directamente proporcional al cuadrado del tiempo transcurrido. Para demostrar sus afirmaciones, Galileo utilizó un plano inclinado que retardaba la caída de los cuerpos, para así poder experimentar con ellos y poder efectuar mediciones con un método indirecto para medir el tiempo y que consistía en contar el número de gotas de agua que caían a través de un agujero hecho en el fondo de un recipiente.

En el año de 1638 estudió el centro de gravedad de varios sólidos. También estudió la resistencia de materiales y demostró que si una estructura aumentaba de volumen, disminuía su resistencia. Galileo escribió un libro acerca de la mecánica; sin embargo, no pudo ver concluida su obra, ya que antes de su publicación quedó ciego y murió el 8 de enero de 1642 en Arcetri, cerca de Florencia. También escribió dos libros: *El mensajero de los astros* y *Diálogos entre dos nuevas ciencias*, en este último describe sus argumentos por medio de un diálogo imaginario. Para ello, se valió de dos personajes, uno llamado Salviati, que representa la opinión de Galileo, y otro llamado Simplicio, que representa el pensamiento aristotélico. Estos dos libros abrieron otras perspectivas en el estudio de la Astronomía. Galileo ha trascendido al paso del tiempo por importantes aportaciones a la ciencia, sustentadas en **demostraciones experimentales**.

Resolución de problemas de MAS

1 Un cuerpo describe un movimiento armónico simple con un radio de 0.1 m. Si su periodo es de 3 segundos.

Calcular:

a) Su elongación a los 6 segundos.

b) La magnitud de su velocidad a los 6 segundos.

c) La magnitud de su velocidad máxima.

Solución:

Datos

$r = 0.1$ m

$T = 3$ s

a) $Y_{6\,s} = ?$

b) $v_{6\,s} = ?$

c) $v_{máx} = ?$

Fórmulas

$$f = \frac{1}{T}$$

a) $Y = r \cos 2\pi ft$

b) $v = -2\pi fr \operatorname{sen} 2\pi ft$

c) $v_{máx} = -2\pi fr \operatorname{sen} 90°$

Sustitución y resultados

$$f = \frac{1}{3\,s} = 0.33 \text{ ciclos/s}$$

a) $Y = 0.1$ m $\cos 2 \times 3.14 \times 0.33$ ciclos/s $\times 6$ s

$= 0.1$ m $\cos 12.43$ radianes

$$12.43 \text{ rad} \times \frac{57.3°}{1 \text{ rad}} = 712.24°$$

$\cos 712.24° = \cos (720° - 712.24°)$

$= \cos 7.76° = 0.9909$

$Y = 0.1 \text{ m} \times 0.9909 = 0.099$ m

b) $v = -2 \times 3.14 \times 0.33$ ciclos/s $\times 0.1$ m

$\times \operatorname{sen} 712.24°$

$\operatorname{sen} 712.24° = -\operatorname{sen} (720° - 712.24°)$

$= -\operatorname{sen} 7.76° = -0.1349$

$v = -0.21 \text{ m/s} \times -0.1349 = 0.028$ m/s

c) La velocidad tiene su máxima magnitud cuando el cuerpo está pasando por su punto de equilibrio y la elongación es cero. Situación que se presenta cuando el ángulo es de 90°, o bien, de 270°.

$$v_{máx} = -2 \times 3.14 \times 0.33 \text{ ciclos/s} \times 0.1 \text{ m} \times (\pm 1)$$
$$= -0.21 \text{ m/s (la velocidad máxima es positiva si escogemos el ángulo de 270°)}$$

2 Un cuerpo cuyo radio mide 0.15 m describe un MAS con un periodo de 4 s.

Calcular:

a) Su elongación, es decir, su posición a los 3.6 segundos.

b) La magnitud de su velocidad a los 3.6 segundos.

c) La magnitud de su velocidad máxima.

d) La magnitud de su aceleración máxima.

Solución:

Datos

$r = 0.15$ m

$T = 4$ s

a) $Y_{3.6\,s} = ?$

b) $v_{3.6\,s} = ?$

c) $v_{máx} = ?$

d) $a_{máx} = ?$

Fórmulas

$$f = \frac{1}{T}$$

a) $Y = r \cos 2\pi ft$

b) $v = -2\pi fr \text{ sen } 2\pi ft$

c) $v_{máx} = -2\pi fr \text{ sen } 90°$

d) $a_{máx} = -4\pi^2 f^2 Y_{máx}$

Sustitución y resultados

$$f = \frac{1}{4 \text{ s}} = 0.25 \text{ ciclos/s}$$

a) $Y_{3.6\,s} = 0.15 \text{ m} \cos 2 \times 3.14 \times 0.25 \text{ ciclos/s} \times 3.6 \text{ s}$

$= 0.15 \text{ m} \cos 5.65 \text{ radianes}$

$$5.65 \text{ rad} \times \frac{57.3°}{1 \text{ rad}} = 323.86°$$

$\cos 323.86° = \cos (360° - 2\,323.86°)$

$= \cos 36.14° = 0.8073$

$Y_{3.6\,s} = 0.15 \text{ m} \times 0.8073 = 0.12 \text{ m}$

b) $v_{3.6\,s} = -2 \times 3.14 \times 0.25 \text{ ciclos/s} \times 0.15 \text{ m} \times \text{sen } 323.86°$

$\text{sen } 323.86° = -\text{sen } (360° - 323.86°)$

$= -\text{sen } 36.14° = -0.5901$

$v_{3.6\,s} = -0.236 \text{ m/s} \times -0.5901 = -0.14 \text{ m/s}$

c) $v_{máx} = -2 \times 3.14 \times 0.25 \text{ ciclos/s} \times 0.15 \text{ m} \times \text{sen } 90°$

$= -0.236 \text{ m/s}$

d) $a_{máx} = -4\,(3.14)^2\,(0.25 \text{ ciclos/s})^2\,(0.15 \text{ m})$

$= -0.37 \text{ m/s}^2$

3 Determine el periodo de un péndulo y su frecuencia, si su longitud es de 40 cm.

Solución:

Datos

$\ell = 40 \text{ cm} = 0.4 \text{ m}$

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$

$T = ?$

$f = ?$

Fórmulas

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

Sustitución y resultados

$$T = 2 \times 3.14\sqrt{\frac{0.4 \text{ m}}{9.8 \text{ m/s}^2}} = 1.27 \text{ s}$$

$$F = \frac{1}{1.27 \text{ s}} = 0.79 \text{ osc/s}$$

Ejercicios propuestos

1 Un cuerpo que se encuentra enganchado a un resorte, como el de la figura 4.23, se estira 4 cm hacia abajo y al soltarse vibra con un movimiento armónico simple. Si su frecuencia es de 0.3 ciclos/s.

Calcular:

a) Su elongación a los 2 segundos.

b) La magnitud de su velocidad a los 2 segundos.

c) La magnitud de su velocidad máxima.

2 Un cuerpo describe un MAS con un periodo de 3 segundos y un radio de 0.2 m.

Calcular:

a) ¿Cuál es su elongación, es decir, su posición a los 4 segundos?

b) ¿Cuál es la magnitud de su velocidad a los 4 segundos?

c) ¿Cuál es la magnitud de su velocidad máxima?

d) ¿Cuál es la magnitud de su aceleración máxima?

Dar los resultados en el SI.

3. Determinar la longitud que debe tener un péndulo para que su periodo sea de 1.55 s, si la aceleración de la gravedad tiene una magnitud de 9.8 m/s^2.

Actividad experimental 5

Distancia y desplazamiento

Objetivo

Determinar experimentalmente los valores de la distancia y la magnitud del desplazamiento de un móvil.

Consideraciones teóricas

La distancia recorrida por un móvil es una magnitud escalar, ya que sólo interesa saber cuál fue la magnitud de la longitud recorrida por el móvil durante su trayectoria, sin importar en qué dirección lo hizo. El **desplazamiento** de un móvil es una magnitud vectorial que corresponde a una distancia medida en una dirección particular entre dos puntos: el de partida y el de llegada.

Material empleado

Una regla graduada de un metro, un transportador, un cordón o mecate de 5 m, un gis y un trozo de madera o palo.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Marque en el piso una señal que le sirva como punto de partida. Identifique con sus compañeros el norte, sur, este y oeste geográficos. Recuerde que al este también se le llama oriente y al oeste, poniente.
2. Pídale a un compañero que dé cinco pasos al norte y tres pasos al este, marque en cada caso el punto a donde llega.
3. Determine cuál es la distancia total recorrida por su compañero. Para ello, mida con la regla la distancia que recorrió al dar los cinco pasos al norte y la distancia recorrida al dar los tres pasos al este. Sume las dos distancias y encuentre el valor de la distancia total.
4. Determine el desplazamiento efectuado por su compañero. Para lograrlo, mida con la regla la distancia que hay entre el punto de partida y el de llegada. La dirección la determinará al medir con un transportador el ángulo que forma la recta que representa la distancia medida entre el punto de partida y el de llegada respecto al este.
5. Trace en el piso un círculo cuyo radio sea de 5 m. Para ello, utilice un cordón o mecate de 5 m, marque lo que será el centro del círculo y fije con el dedo de un compañero un extremo del cordón o mecate, y en el otro extremo de éste, ate un gis si el piso es de cemento, o un palo si es de tierra, para que marque el círculo al girar alrededor del centro de éste.
6. Señale sobre el círculo un punto de partida, colóquese en él y dé cinco vueltas completas para que regrese al mismo punto de donde partió. Calcule la distancia que recorrió. Recuerde que el perímetro de un círculo es igual a $2\pi r$. ¿Cuánto vale el desplazamiento que efectuó?

Cuestionario

1. ¿Por qué el desplazamiento es cero, cuando al partir de un punto y después de recorrer una distancia se regresa al mismo punto de partida?
2. ¿Por qué no es lo mismo distancia que desplazamiento?

Actividad experimental 6

Movimiento rectilíneo uniforme

Objetivo

Demostrar que cuando el movimiento de un móvil es en línea recta y recorre desplazamientos iguales en tiempos iguales, la relación $\frac{\Delta d}{\Delta t}$ tiene un valor constante.

Consideraciones teóricas

La **cinemática** estudia los diferentes tipos de movimiento de los cuerpos sin atender las causas que los producen. Un cuerpo tiene movimiento cuando cambia su posición a medida que transcurre el tiempo. Para poder expresar en forma correcta un movimiento o cambio de posición, debemos referirlo a un marco o sistema de referencia claramente establecido. Resulta práctico utilizar **sistemas de referencia absolutos**, es decir, aquellos que consideran un sistema fijo de referencia. Existe diferencia entre la distancia recorrida por un móvil y su desplazamiento; la **distancia** es una magnitud escalar, ésta sólo nos señala la magnitud de la longitud recorrida por un móvil durante su trayectoria. El **desplazamiento** de un móvil es una magnitud vectorial correspondiente a una distancia medida en una dirección particular entre dos puntos. La **velocidad** se define como el desplazamiento realizado por un móvil dividido entre el tiempo que tarda en efectuarlo: $\vec{v} = \frac{\vec{d}}{t}$. Cuando un móvil sigue una trayectoria recta, en la cual realiza desplazamientos iguales en tiempos iguales, efectúa un **movimiento rectilíneo uniforme**: $\frac{\Delta d}{\Delta t} = k$.

Para realizar experimentos en cinemática, en la cual se requiere medir distancias y determinar intervalos iguales de tiempo, se usa con frecuencia un dispositivo denominado ticómetro; éste consta de un vibrador de un timbre eléctrico con determinada frecuencia sujeto a una tabla de madera (figura 4.25). Cuando el ticómetro funciona, el vibrador martillea un disco elaborado con papel carbón que deja marcas sobre una tira de papel en movimiento a intervalos iguales de tiempo. Por tanto, la distancia entre dos marcas consecutivas corresponderá a un mismo intervalo de tiempo, y de acuerdo con la frecuencia de vibración del ticómetro determinaremos cuánto tiempo transcurre entre una y otra marca del vibrador.

Material empleado

Un ticómetro, un motor eléctrico de 1.5 V, 2 m de hilo resistente, una regla graduada, un carro ligero de plástico, una cinta adhesiva, un disco de papel carbón y una tira de papel para el ticómetro.

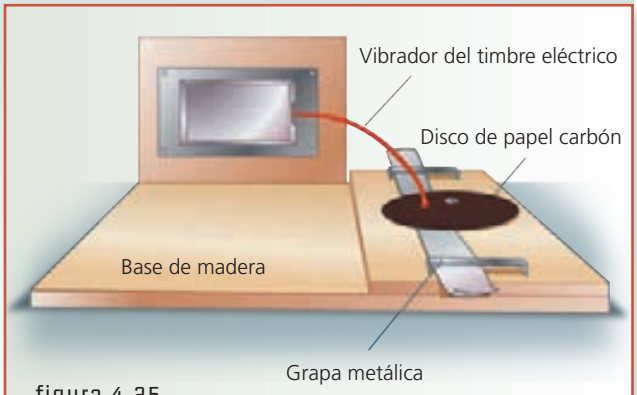


figura 4.25
Ticómetro.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Monte un dispositivo como el de la figura 4.26. Para ello, fije con cinta adhesiva el motor de 1.5 V a un extremo de la mesa de trabajo, asegúrese de que su eje quede en posición vertical y pueda girar libremente. Después, sujete un extremo del hilo al eje del motor y el otro extremo al carro de plástico, mismo que se colocará en el otro extremo de la tira de papel, la cual debe pasar por las grapas del ticómetro.
2. Conecte el ticómetro, hágalo funcionar e inmediatamente después ponga a funcionar el motor de 1.5 V. Observe el movimiento del carro y corrobore que se marquen los impactos del vibrador en la tira de papel.

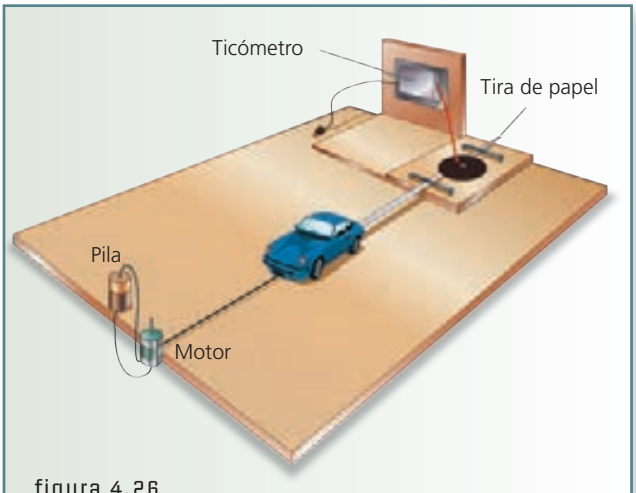


figura 4.26
Dispositivo para medir distancias e intervalos iguales de tiempo mediante el uso del ticómetro.

Grupo Editorial Patria

3. Desconecte su dispositivo cuando el carro esté a punto de chocar contra el motor. Retire la tira de papel y con la regla graduada mida las distancias que hay entre los puntos. Es importante iniciar el análisis a unos 25 cm mínimo del primer impacto marcado por el vibrador. Recuerde que la distancia siempre se mide a partir de la posición considerada como inicial y no de marca a marca.
4. Consulte con su profesor cuál es la frecuencia de vibración del ticómetro usado. Si, por ejemplo, su ticómetro tiene una frecuencia de 90 vibraciones/s, sabrá que la distancia entre dos marcas consecutivas se recorre en 1/90 de segundo. De aquí se deduciría que la distancia existente entre cada nueve puntos se recorre en 1/10 de segundo.
5. Con el propósito de ejemplificar supondremos una frecuencia de 90 vibraciones/s del ticómetro, mida la distancia entre el punto consideradocomo cero o inicial y la marca o punto 9, entre el cero y el 18, entre el cero y el 27, y así sucesivamente. Copie el cuadro 4.6 y registre las mediciones efectuadas.
6. Con los datos de la tabla construya una gráfica de distancia contra tiempo. Una los puntos y determine la pendiente de la recta obtenida.
7. Grafique los datos de la magnitud de la velocidad contra tiempo y determine el área bajo la recta obtenida al unir los puntos.

cuadro 4.6 Determinación de las magnitudes de las velocidades de un móvil (experimentales)

Tiempo (s)	Distancia (cm)	$v = \frac{d}{t}$ en cm/s
0.1		
0.2		
0.3		
0.4		
0.5		
0.6		

Cuestionario

1. ¿Por qué se recomienda iniciar el análisis de las distancias después de unos 25 cm mínimo del primer impacto marcado por el vibrador?
2. Para un movimiento rectilíneo uniforme, ¿qué se obtiene como resultado de unir los puntos en una gráfica distancia *vs* tiempo?
3. Al graficar los datos de distancia contra tiempo obtenidos en su actividad experimental y al unir los puntos, ¿obtuvo una línea recta? ¿Qué representa la línea recta? ¿Cuánto vale la pendiente de la recta obtenida? ¿Se demostró que $\frac{\Delta d}{\Delta t} = k$?
4. ¿Qué obtuvo al unir los puntos de la gráfica de las magnitudes de la velocidad contra el tiempo? ¿Qué significado físico tiene el área bajo la recta obtenida al unir los puntos? ¿Cuánto vale el área bajo la recta?
5. ¿Qué frecuencia de vibración tiene el ticómetro que utiliza?
6. ¿Cómo determinó usted el tiempo en el experimento?
7. ¿Qué ventajas le encuentra al uso del ticómetro en el experimento?

Actividad experimental 7

Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado

Objetivo

A partir de un experimento, identificar las características del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

Consideraciones teóricas

Se tiene un **movimiento rectilíneo uniformemente acelerado** si la velocidad experimenta cambios iguales en cada unidad de tiempo. En este movimiento la magnitud de la aceleración permanece constante al transcurrir el tiempo. Ejemplos de MRUA se presentan cuando cualquier cuerpo cae en forma libre o rueda en una pendiente. **Galileo Galilei** fue el primero en hacer estudios acerca del MRUA, expe-

rimentando con un plano inclinado y una bola. Al usar un plano inclinado lograba una aceleración de la bola más lenta que si se dejara caer libremente.

Material empleado

Un ticómetro, un carro, una regla graduada, un soporte metálico con pinzas de sujeción, una rampa de madera, una cinta adhesiva, un disco de papel carbón y una tira de papel para el ticómetro.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Monte un dispositivo como el mostrado en la figura 4.27. Para ello, coloque y sujete la rampa por su extremo superior a una altura de unos 65 cm de la superficie de la mesa de trabajo.
2. En el extremo superior de la rampa, coloque y sujete con cinta adhesiva el ticómetro. Pregunte a su profesor cuál es la frecuencia de vibración del ticómetro (ver actividad experimental 6 de este libro).
3. Ponga el carro en el extremo superior de la rampa y adhiérale uno de los extremos de la tira de papel, misma que debe pasar por las grapas del ticómetro y correr libremente con el carro.

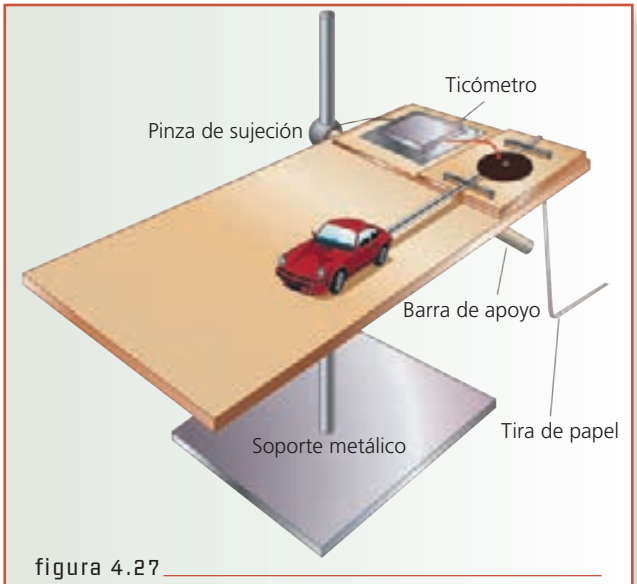


figura 4.27
Dispositivo para estudiar el MRUA.

4. Ponga a funcionar el ticómetro e inmediatamente después suelte el carro por la rampa. Observe el movimiento del carro y cuide que en la tira de papel se marquen los impactos del vibrador por medio del disco de papel carbón del ticómetro.
5. Cuando el carro llegue al extremo inferior de la rampa desconecte el ticómetro. Retire la tira de papel e inicie el análisis de las distancias entre los puntos marcados. Las distancias siempre se miden a partir de la posición que se considere como inicial y no de marca a marca.
6. Para ejemplificar, supondremos una frecuencia de 90 vibraciones/s del ticómetro, mida la distancia entre el punto considerado como cero o inicial y la marca o punto 9, entre el cero y el punto 18, entre el cero y el punto 27, y así sucesivamente. Copie el cuadro 4.7 y registre las mediciones efectuadas.

cuadro 4.7 Determinación de las magnitudes de velocidades medias (experimentales)

Tiempo Δt (s)	Distancia Δd (cm)	Tiempo al cuadrado Δt^2 (s)^2	Magnitud de la velocidad media $\Delta d/\Delta t$ (cm/s)
0.1			
0.2			
0.3			
0.4			
0.5			
0.6			

7. Con los datos del cuadro 4.7 construya una gráfica de distancia contra tiempo. Una los puntos obtenidos e interprete el significado físico de la curva obtenida.
8. Grafique los datos de la distancia contra los del tiempo al cuadrado e interprete el significado físico de la recta obtenida al unir los puntos.
9. Grafique los datos de la velocidad media contra el tiempo e interprete el significado físico de la recta obtenida al unir los puntos.

Cuestionario

1. ¿Qué tipo de movimiento realiza el carro?
2. ¿Cómo varía la distancia que recorre el carro respecto al tiempo transcurrido?
3. ¿Cómo determinó el tiempo transcurrido en el experimento?
4. ¿Cuál es el significado físico de la curva obtenida al graficar los datos de la distancia contra el tiempo?
5. ¿Qué obtuvo al graficar los datos de la distancia contra los del tiempo al cuadrado? ¿Cuánto vale la pendiente de la recta?
6. ¿Qué obtuvo al graficar los datos de la magnitud de la velocidad media contra los del tiempo transcurrido? ¿Cuánto vale la pendiente de la recta?

Actividad experimental 8

La caída de los cuerpos

Objetivo

Observar y cuantificar el valor de la variable tiempo para cuerpos que caen por el plano inclinado.

Consideraciones teóricas

Galileo Galilei realizó sus experimentos de caída libre, utilizando un plano inclinado con diferentes ángulos, algunos muy pequeños para que la aceleración que experimentara una esfera al caer fuera menor que si la dejara caer sobre la superficie de la Tierra. De esta manera podía lograr que el movimiento de la esfera fuera más lento y pudo medir las distancias que recorría en determinados lapsos de tiempo. Así pudo comprobar que **la caída libre es un movimiento uniformemente acelerado**.

Material empleado

Un riel metálico de un metro, una canica chica, una canica grande, una regla graduada, un marcador o un gis, un cronómetro y tres ladrillos.

Desarrollo de la actividad experimental

1. En lugares visibles del riel metálico, marque distancias cada 20 cm.
2. Coloque un extremo del riel metálico sobre uno de los ladrillos, como se ve en la figura 4.28.

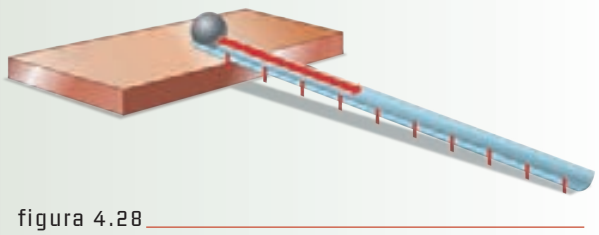


figura 4.28
Plano inclinado para estudiar la caída de los cuerpos.

3. Suelte la canica pequeña desde el extremo superior del riel y mida el tiempo que tarda en recorrer cada distancia de 20 cm. Registre en el cuadro 4.8 de los datos experimentales, el tiempo transcurrido para que la canica recorra cada una de las distancias marcadas, es decir, 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm, 100 cm. Después, eleve al cuadrado cada uno de los datos experimentales del tiempo transcurrido y anote el resultado en la tabla de datos.

Nota: Repita el experimento las veces que sea necesario para que obtenga resultados confiables al determinar el valor promedio de los diferentes tiempos.

4. Repita el paso anterior, pero ahora suelte la canica más grande desde el extremo superior del riel y registre nuevamente el tiempo transcurrido para que la canica recorra cada una de las distancias marcadas.

   Compare estos tiempos con los registrados para la canica pequeña. Elabore en su cuaderno el cuadro de datos experimentales respectivo.

5. Con los valores obtenidos para la distancia recorrida por la canica y el tiempo transcurrido para recorrerla, elevado al cuadrado, construya una gráfica de distancia en función del tiempo al cuadrado.

6. Repita los pasos 3, 4 y 5, pero ahora coloque un ladrillo más para que aumente la inclinación del plano.

7. Finalmente, aumente la inclinación del plano, colocando el tercer ladrillo y repita los pasos 3, 4 y 5.

cuadro 4.8	Distancias y tiempos (experimentales)	
Distancia (cm)	Tiempo (s)	Tiempo elevado al cuadrado $(s)^2$
0		
20		
40		
60		
80		
100		

Cuestionario

1. ¿Fue diferente el tiempo de caída de la canica pequeña para cada una de las distancias marcadas, comparado con el tiempo que transcurre para que la canica grande recorra dichas distancias, manteniendo la misma altura del plano inclinado? ¿Sí o no, y por qué?
2. ¿Cómo varía el tiempo de caída de las canicas al ser mayor la inclinación del plano inclinado?
3. ¿Qué sucederá en el caso extremo de que el riel se coloque en posición vertical?

Actividad experimental 9

Tiro parabólico

Objetivo

Identificar experimentalmente el tiro parabólico como un movimiento en dos dimensiones.

Consideraciones teóricas

El **tiro parabólico** es un ejemplo de movimiento realizado por un cuerpo en dos dimensiones o sobre un plano. Algunos casos de cuerpos cuya trayectoria corresponde a un tiro parabólico son: proyectiles lanzados desde la superficie de la Tierra o desde un avión, el de una pelota de fútbol al ser despejada con un cierto ángulo por un jugador, o el de una pelota de golf al ser lanzada con cierto ángulo respecto al eje horizontal. **El tiro parabólico es la resultante de la suma vectorial de un movimiento horizontal uniforme y de un movimiento vertical rectilíneo uniformemente acelerado**. El tiro parabólico es de dos tipos: **a) Tiro parabólico horizontal**. Se caracteriza por la trayectoria de un cuerpo al ser lanzado en forma horizontal al vacío. El camino seguido es curvo, resultado de dos movimientos independientes: uno horizontal con velocidad constante y otro vertical, el cual se inicia con una velocidad cero y va aumentando la magnitud de su velocidad en la misma proporción de otro cuerpo que se dejará caer del mismo punto en el mismo instante. La forma de la curva descrita es abierta, simétrica respecto a un eje y con un solo foco, es decir, una parábola. **b) Tiro parabólico oblicuo**. Se caracteriza por la trayectoria seguida por un cuerpo cuando es lanzado a una velocidad inicial que forma un ángulo con el eje horizontal, tal es el caso de la trayectoria de una pelota de fútbol al ser despejada con un cierto ángulo por el portero. El alcance horizontal de un cuerpo en tiro parabólico oblicuo, será el mismo con dos ángulos diferentes de tiro, con la condición de que la suma de dichos ángulos dé un resultado de 90º. El alcance máximo horizontal se presenta cuando el ángulo de tiro es de 45º.

Material empleado

Un riel metálico, una tabla de madera, un soporte metálico con pinzas de sujeción, una esfera de acero, una regla graduada, hojas de papel blanco, hojas de papel carbón y una cinta adhesiva.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Monte un dispositivo como el mostrado en la figura 4.29. Para ello, coloque y sujete el riel metálico por su extremo superior y cuide que el extremo inferior del riel coincida con el borde u orilla de la mesa.



figura 4.29
Dispositivo para analizar un tiro parabólico.

2. Cubra la tabla de madera con hojas de papel blanco y después coloque encima de ellas varias hojas de papel carbón. Así, cuando la esfera de acero se impacte en el bloque de madera, dejará una marca en el papel blanco debido al papel carbón sobrepuesto.

3. Acerque la tabla al extremo inferior del riel y señale con una marca horizontal la posición vertical inicial u origen que tendrá la esfera de acero al iniciar su caída libre, esto es, la raya horizontal se marcará en la tabla a la altura del centro de la esfera cuando ésta se encuentre en el punto donde iniciará su caída libre.

4. Coloque la tabla de madera a una distancia horizontal *(X)* de 20 cm del borde de la mesa y deje rodar la esfera de acero por el riel **desde un punto elegido de antemano**. Marque dicho punto, pues éste deberá ser el mismo que utilice para soltar la esfera metálica en los siguientes impactos.

5. Una vez que la esfera metálica se impacte en la madera al colocarla a 20 cm del borde de la mesa, siga alejando la tabla ahora a 40 cm, después a 60 cm, 80 cm y finalmente a 100 cm del borde de la mesa. En todos los casos suelte la esfera metálica desde el mismo punto que escogió y marcó en el riel. Recuerde: la esfera metálica recorrerá distancias iguales, medidas horizontalmente, en intervalos iguales de tiempo, pues **en un tiro pa-**

rabólico el movimiento horizontal se realiza a velocidad constante.

6. Retire el papel carbón y mida las alturas verticales descendidas por la esfera metálica, a partir del punto marcado como posición vertical inicial u origen al momento de iniciar su caída libre. Copie el cuadro 4.9 y registre en él la altura vertical que descendió la esfera al alejar horizontalmente la tabla: 20, 40, 60, 80 y 100 cm. No olvide que el cuerpo está cayendo y, por tanto, el valor de *Y* es negativo. Además, las distancias siempre se miden desde la posición considerada como inicial y no de marca a marca.

7. Con los datos del cuadro construya una gráfica de *Y* contra *X* y una los puntos obtenidos.

cuadro 4.9	Distancias verticales (experimentales)
Distancia horizontal *X* (cm)	Distancia vertical medida desde el punto inicial de descenso *Y* (cm)
0	
20	
40	
60	
80	
100	

Cuestionario

1. ¿Existe evidencia de que la esfera de acero sufre una aceleración constante durante su caída? Justifique su respuesta.
2. ¿Qué interpretación física le da a la gráfica obtenida de *Y vs. X*?
3. ¿Cómo se interpreta el principio de independencia del movimiento horizontal y del movimiento vertical seguido por la esfera de acero?
4. Describa el comportamiento de dos esferas que caen libremente desde la misma altura y al mismo tiempo, pero una se suelta y la otra recibe un impulso horizontal.
5. Explique con sus propias palabras lo que representa un tiro parabólico.

Actividad experimental 10

Péndulo simple

Objetivo

Analizar en forma experimental las características del movimiento de un péndulo simple y encontrar qué factores influyen en su periodo.

Consideraciones teóricas

Un movimiento armónico simple es un movimiento periódico, es decir, se repite a intervalos iguales de tiempo.

Un **péndulo** simple está constituido por un cuerpo pesado suspendido en un punto sobre un eje horizontal, por medio de un hilo de masa despreciable (figura 4.30). Cuando se separa un péndulo de su posición de equilibrio y después se suelta, oscila a uno y otro lado del mismo por efecto de su peso. El movimiento de un péndulo es un ejemplo de movimiento armónico simple. El periodo de un péndulo es el tiempo que tarda en efectuar una oscilación

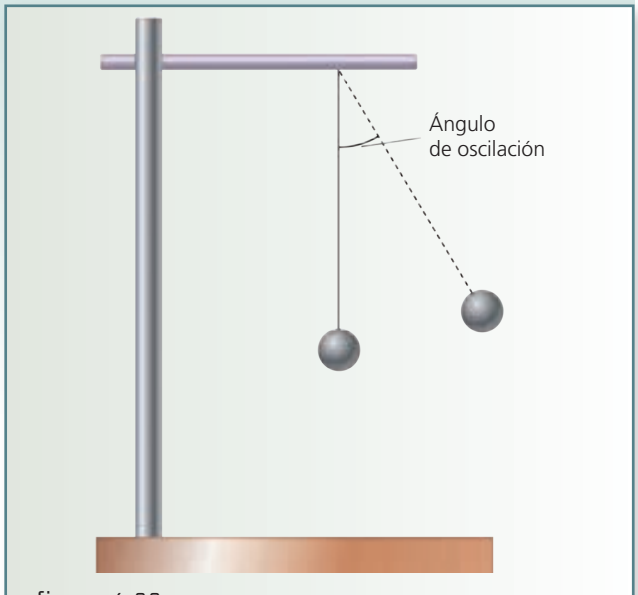


figura 4.30
Péndulo simple.

completa, o sea, un ciclo. La frecuencia de un péndulo es el número de oscilaciones completas o ciclos que realiza en un segundo. Por tanto:

$T = \frac{1}{f}$ y $f = \frac{1}{T}$ El periodo de un péndulo también puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

donde: ℓ = longitud del péndulo, se mide desde el punto donde está suspendido hasta el centro de gravedad del cuerpo pesado que constituye el péndulo

g = magnitud de la aceleración de la gravedad

Material empleado

Un soporte metálico, una pinza de sujeción, un cronómetro, una regla graduada, un transportador, hilo, una esfera de metal, una esfera de vidrio, una esfera de madera y una esfera de hule.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Construya un péndulo con una esfera metálica y un trozo de hilo de 10 cm de largo medido desde el punto de suspensión hasta el centro de la esfera metálica. Desplace la esfera metálica 3 cm de su posición de equilibrio y mida con un cronómetro el tiempo necesario para que el péndulo realice 10 oscilaciones completas. Repita lo anterior con la misma esfera metálica, pero ahora con longitudes del péndulo de 20, 30 y 40 cm. En cada caso debe desplazar a la esfera 3 cm de su posición de equilibrio y determinar el tiempo necesario para que el péndulo realice 10 oscilaciones completas; al dividir dicho tiempo entre 10 nos dará el **periodo de oscilación del péndulo**. Copie el cuadro 4.10 y llénelo con los datos obtenidos.

cuadro 4.10	Periodos de oscilación (experimentales)
Longitud del péndulo (cm)	Periodo de oscilación del péndulo (s)
10	
20	
30	
40	

2. Ahora construya un péndulo con una esfera de vidrio y un trozo de hilo de 20 cm de largo. Desplace la esfera de vidrio 15 cm de su posición de equilibrio y mida con un cronómetro el tiempo necesario para que el péndulo realice 10 oscilaciones completas. Repita la experiencia anterior manteniendo constantes todos los factores menos el de la masa del péndulo, para ello, coloque esferas de madera, hule y metal. Determine para cada caso el tiempo en que se efectuarán 10 oscilaciones completas y divídalo entre 10 para encontrar el periodo de los péndulos utilizados. Copie el cuadro 4.11 y llénelo con los datos obtenidos.

cuadro 4.11	Periodos de oscilación para diferentes materiales (experimentales)
Material usado para el péndulo de 20 cm de largo y desplazado 15 cm de su posición de equilibrio	Periodo de oscilación del péndulo (s)
Esfera de vidrio	
Esfera de madera	
Esfera de hule	
Esfera de metal	

3. Seleccione una esfera del material que desee y construya un péndulo. Realice diferentes mediciones para encontrar el periodo, pero conserve siempre la misma masa y la misma longitud, variando únicamente el ángulo inicial de oscilación. Hágalo primero para un ángulo de 5°, después de 10°, 15° y 20°; en cada caso cuente el tiempo en que se llevan a cabo 10 oscilaciones, luego divida ese tiempo entre 10 y hallará el **periodo de oscilación**. Copie el cuadro 4.12 y llénelo con los datos obtenidos.

cuadro 4.12	Periodos de oscilación para diferentes ángulos (experimentales)
Ángulo de oscilación para un péndulo de igual masa y longitud	Periodo de oscilación del péndulo (s)
5°	
10°	
15°	
20°	

Cuestionario

1. De acuerdo con los datos obtenidos en el cuadro 4.10, ¿cómo influye la longitud de un péndulo en su periodo de oscilación? Explique si el periodo varía de manera directa o inversamente proporcional a la longitud. Justifique su respuesta.
2. Con base en los datos del cuadro 4.11, ¿si varía la masa del péndulo, varía su periodo de oscilación? Justifique su respuesta.
3. Basándose en los resultados obtenidos en el cuadro 4.12, ¿cambia el periodo de oscilación de un péndulo si se varía únicamente su ángulo de oscilación? Justifique su respuesta.
4. Explique por qué para determinar su periodo resulta conveniente medir el tiempo en que se realizan 10 oscilaciones del péndulo en lugar de medir el tiempo que dura una sola.
5. Con el periodo de oscilación y la longitud del péndulo, calcule el valor de la aceleración de la gravedad en el lugar donde realiza sus experimentos. Recuerde: $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$, por lo que despejamos a g de esta expresión.

Resumen

1. Todo el Universo se encuentra en constante movimiento. Los cuerpos presentan movimientos rápidos, lentos, periódicos y azarosos.

2. La *mecánica* es una rama de la Física, dedicada al estudio de los movimientos y estados en que se encuentran los cuerpos. Describe y predice las condiciones de reposo y movimiento de los cuerpos bajo la acción de las fuerzas. Se divide en dos partes: *Cinemática*. Estudia los diferentes tipos de movimiento de los cuerpos sin atender las causas que lo producen. *Dinámica.* Estudia las causas que originan el movimiento de los cuerpos. La estática queda comprendida dentro del estudio de la dinámica, analiza las causas que posibilitan el equilibrio de los cuerpos.

3. Cuando un cuerpo se encuentra en movimiento, deducimos que su posición varía respecto a un punto considerado fijo.

4. El estudio de la *cinemática* nos permite conocer y predecir en qué lugar se encontrará un cuerpo, qué velocidad tendrá al cabo de cierto tiempo, o bien, en qué lapso llegará a su destino.

5. El movimiento de los cuerpos puede ser en una *dimensión* o sobre un eje, por ejemplo, un tren que se desplaza en línea recta. En *dos dimensiones* o sobre un plano, como el movimiento de un disco compacto, la rueda de la fortuna, el de un avión al despegar o aterrizar, o el de un proyectil cuya trayectoria es curva. En *tres dimensiones* o en el espacio, como el de un tornillo que al hacerlo girar con un desarmador penetra en la pared.

6. Para el estudio del movimiento de cualquier objeto material, también llamado *cuerpo físico*, o simplemente cuerpo, resulta muy útil considerar a éste como una partícula en movimiento, es decir, como si fuera un solo punto en movimiento.

7. En la descripción del movimiento de una partícula es necesario señalar cuál es su posición; para ello, se usa un *sistema de referencia.* Existen dos tipos de *sistemas de referencia*: el absoluto y el relativo. El sistema de referencia *absoluto* considera un sistema fijo de referencia; y el *relativo* considera al sistema de referencia móvil. En realidad, el sistema de referencia absoluto no existe, pues no hay un solo punto en el Universo carente de movimiento. Sin embargo, resulta útil considerar a los movimientos que se producen sobre la superficie de la Tierra, suponiendo a ésta como un sistema de referencia absoluto, es decir, fijo.

8. Para describir la posición de una partícula sobre una superficie se utiliza un sistema de *coordenadas cartesianas* o *coordenadas rectangulares*. En este sistema, los ejes se cortan perpendicularmente en un punto llamado origen. El eje horizontal es el de las abscisas o de las X, y el otro, el eje de las ordenadas o de las Y. Para determinar la posición de una partícula, también se utilizan las coordenadas polares.

9. La *distancia* recorrida por un móvil es una magnitud escalar, ya que sólo interesa saber cuál fue la magnitud de la longitud recorrida por el móvil durante su trayectoria seguida sin importar en qué dirección lo hizo. En cambio, el *desplazamiento* de un móvil es una magnitud vectorial porque corresponde a una distancia medida en una dirección particular entre dos puntos, el de partida y el de llegada.

10. La velocidad y la rapidez generalmente se usan como sinónimos de manera equivocada; no obstante, la *rapidez* es una cantidad escalar que únicamente indica la magnitud de la *velocidad*, y la velocidad es una magnitud vectorial, pues para quedar bien definida requiere que se señale además de su magnitud, su dirección y su sentido. La velocidad se define como el desplazamiento realizado por un móvil dividido entre el tiempo que tarda en efectuarlo: $\vec{v} = \frac{\vec{d}}{t}$. La dirección que lleva la velocidad de un cuerpo móvil queda determinada por la dirección en la cual se efectúa su desplazamiento.

11. Cuando un móvil sigue una trayectoria recta en la cual realiza desplazamientos iguales en tiempos iguales, efectúa un movimiento rectilíneo uniforme (MRU). Cuando se trate del movimiento de un móvil en línea recta, recorriendo desplazamientos iguales en tiempos iguales, la relación $\frac{\Delta\vec{d}}{\Delta t} = k = \text{constante}.$

12. Al graficar los datos de la magnitud del desplazamiento de un móvil en función del tiempo que tarda en realizarlo, la pendiente de la curva obtenida al unir los puntos representará la magnitud de su *velocidad*. Si en una gráfica de la magnitud del desplazamiento en función del tiempo se obtiene una línea recta al unir los puntos, entonces la velocidad permanece constante siempre y cuando no cambie de dirección la trayectoria del móvil.

13. En una gráfica de la magnitud de la velocidad en función del tiempo, el *área* bajo la curva representa la magnitud del desplazamiento del móvil.

14. Como la mayoría de los movimientos realizados por los cuerpos no son uniformes, generalmente se habla de la *velocidad media* de un móvil, la cual representa la relación entre el desplazamiento total hecho por un móvil y el tiempo que tarda en efectuarlo. Cuando un móvil experimenta dos o más velocidades distintas durante su movimiento, se puede obtener la magnitud de su velocidad promedio si sumamos las magnitudes de dichas velocidades y las dividimos entre el número de magnitudes de velocidades sumadas.

15. Cuando en el movimiento de un cuerpo los intervalos de tiempo considerados son cada vez más pequeños, la velocidad media se aproxima a una *velocidad instantánea.* Pero si el intervalo de tiempo es tan pequeño que casi tiende a cero, la velocidad del móvil se llama instantánea.

16. El desplazamiento de un móvil no representa la distancia recorrida, sino la distancia entre el punto de origen y el punto de llegada de dicho móvil, medida en una dirección particular. Por ello, cuando un móvil tiene un desplazamiento igual a cero en cierto intervalo de tiempo puede significar que no se ha movido, pero también puede significar que se movió de un punto inicial y regresó al mismo punto, con lo cual, aunque recorrió una distancia, su desplazamiento fue cero.

17. Cuando la velocidad de un móvil varía, decimos que sufre una aceleración. Por definición, aceleración es la variación de la velocidad de un móvil en cada unidad de tiempo. Si el móvil parte del reposo: $a = \frac{v}{t}$. Si el móvil no parte del reposo, la magnitud de la aceleración será igual a: $a = \frac{v_f - v_0}{t}$.

18. La aceleración es una magnitud vectorial y su signo será igual al que tenga la variación de la velocidad. Por tanto, la aceleración es positiva cuando el cambio en la velocidad también es positivo, y será negativa si el cambio en la velocidad es negativo.

19. En un *movimiento rectilíneo uniformemente acelerado* (MRUA) la velocidad experimenta cambios iguales en cada unidad de tiempo. En este movimiento, la magnitud de la aceleración permanece constante al transcurrir el tiempo. Éste es el caso de la caída libre de los cuerpos y del tiro vertical.

20. Cuando se grafican los datos de la magnitud de la velocidad de un móvil en función del tiempo, la pendiente de la curva obtenida al unir los puntos representa la magnitud de la aceleración que experimenta dicho móvil. En una gráfica de la magnitud de la aceleración en función del tiempo, el área bajo la curva representa la magnitud de la velocidad. En una gráfica de la magnitud del desplazamiento-tiempo al cuadrado, la pendiente de la curva representa 1/2 de la magnitud de la aceleración.

21. En el MRUA se utilizan las siguientes ecuaciones para calcular las magnitudes de los desplazamientos:

a) $d = v_0 t + \frac{at^2}{2}$

b) $d = \frac{v_f^2 - v_0^2}{2a}$

c) $d = \frac{v_f + v_0}{2} t$

Y para calcular las magnitudes de las velocidades finales se usan las ecuaciones:

a) $v_f = v_0 + at$

b) $v_f^2 = v_0^2 + 2\,ad$

22. Para calcular la magnitud desplazamiento de un móvil con un MRUA se puede utilizar cualquiera de las tres ecuaciones anteriores, dependiendo de los datos o de la que se considere más sencilla; esto también sucede con las dos ecuaciones para la magnitud de la velocidad final.

23. Un cuerpo tiene una *caída libre* si desciende sobre la superficie de la Tierra sin sufrir ninguna resistencia originada por el aire o por cualquier otra sustancia. De manera práctica, cuando la resistencia del aire sobre los cuerpos se puede despreciar por ser tan pequeña es posible interpretar su movimiento como una caída libre. Todo cuerpo al caer, alcanza su velocidad terminal, cuando su peso tiene la misma magnitud que la fuerza debida a la resistencia del aire.

24. La aceleración de la gravedad es una magnitud vectorial cuya dirección está dirigida hacia el centro de la Tierra; además, su magnitud varía según el lugar, pero para fines prácticos se considera en forma aproximada como: $g = -9.8$ m/s^2. El signo menos es porque la aceleración de la gravedad está dirigida hacia abajo. Todos los cuerpos, ya sean grandes o pequeños, en ausencia de fricción caen a la Tierra con la misma aceleración. La aceleración gravitacional produce sobre los cuerpos con caída libre un movimiento uniformemente acelerado. Para resolver problemas de caída libre se utilizan las mismas ecuaciones del MRUA, pero se acostumbra cambiar la letra a de aceleración por la g que representa la magnitud de la aceleración de la gravedad, y la letra d de distancia por la h que representa a la altura.

25. El *tiro vertical* es un movimiento que se manifiesta cuando un cuerpo se lanza verticalmente hacia arriba, observándose que su velocidad va disminuyendo hasta anularse al alcanzar su altura máxima. Inmediatamente inicia su regreso para llegar al mismo punto donde fue lanzado y adquiere la misma magnitud de la velocidad con la cual partió. De la misma forma, el tiempo empleado en subir es el mismo utilizado en bajar. Las ecuaciones empleadas para este movimiento son las mismas de la caída libre de los cuerpos, pues también es un MRUA. En el tiro vertical resulta importante calcular la altura máxima que alcanzará un cuerpo, para ello, se usa la ecuación:

$h_{\text{máx}} = -\dfrac{v_0^2}{2g}$. Para calcular el tiempo que tarda en subir se usa la ecuación: $t_{(\text{subir})} = -\dfrac{v_0}{g}$. *Como el tiempo en el aire es el doble del tiempo* en subir, se tiene: $t_{(\text{aire})} = -\dfrac{2v_0}{g}$.

26. El *tiro parabólico* es un ejemplo de movimiento realizado por un cuerpo en dos dimensiones o sobre un plano. Algunos ejemplos de los cuerpos cuya trayectoria corresponde a un tiro parabólico son: proyectiles lanzados desde la superficie de la Tierra o desde un avión, el de una pelota de fútbol al ser despejada por el portero, o el de una pelota de golf al ser lanzada con cierto ángulo respecto al eje horizontal. Una parábola es una curva abierta, simétrica respecto a un eje y con un solo foco.

27. El tiro parabólico es la resultante de la suma vectorial de un movimiento horizontal uniforme y de un movimiento vertical rectilíneo uniformemente acelerado. Hay dos tipos de tiro parabólico: *Tiro horizontal*, se caracteriza por la trayectoria que sigue un cuerpo al ser lanzado horizontalmente al vacío, sigue un camino curvo debido a dos movimientos independientes: uno horizontal con velocidad constante y otro vertical que se inicia con una velocidad cero, la cual va aumentando su magnitud en la misma proporción de otro cuerpo que se dejara caer del mismo punto en el mismo instante. Un ejemplo de este tiro se tiene cuando desde un avión en vuelo se deja caer un proyectil. *Tiro oblicuo*, se caracteriza por la trayectoria seguida por un cuerpo cuando es lanzado con una velocidad inicial que forma un ángulo con el eje horizontal. Éste es el caso de una pelota de golf cuando el jugador hace su tiro inicial de salida imprimiéndole cierta velocidad con un determinado ángulo. Para resolver problemas de tiro parabólico oblicuo se descompone la velocidad del cuerpo en sus componentes rectangulares, usando la expresión $v_{0_v} = v \operatorname{sen} \theta$ para calcular la magnitud de la velocidad inicial vertical y la expresión $v_H = v \cos \theta$ para determinar la magnitud de la velocidad horizontal, ésta será constante mientras el cuerpo permanezca en el aire. Al conocer la magnitud de la velocidad inicial vertical se puede calcular la altura máxima y el tiempo que el cuerpo tarda en subir considerando que fue lanzado en tiro vertical, por lo que se usan las ecuaciones respectivas a este movimiento. La magnitud del desplazamiento horizontal se determina al multiplicar la magnitud de la velocidad horizontal por el tiempo que el cuerpo dura en el aire: $d_H = v_H t_{(\text{aire})}$, pero también se puede usar la expresión:

$d_H = \dfrac{v_0^2 \operatorname{sen} 2\theta}{g}$. Esta ecuación resulta útil cuando se desea calcular el ángulo con el cual debe ser lanzado un proyectil que parte a determinada velocidad para que dé en el blanco.

28. Un *movimiento circular* es el que se efectúa en un mismo plano y es el movimiento más simple en dos dimensiones. Un cuerpo describe un mo-

vimiento circular cuando su trayectoria es una circunferencia. Para precisar la posición de un objeto colocado encima de un disco que esté girando, se toma como origen del sistema de referencia al centro de la trayectoria circular; así, el vector que indica su posición para cada intervalo de tiempo estará determinado por el radio de la circunferencia. Cuando el objeto colocado sobre el disco se esté desplazando, su cambio de posición se podrá expresar mediante desplazamientos del vector de posición, lo cual dará lugar a desplazamientos angulares medidos en radianes. Un *radián* es el ángulo central al que corresponde un arco de longitud igual al radio y equivale a 57.3°.

29. El tiempo que tarda un cuerpo en dar una vuelta completa o en completar un ciclo, recibe el nombre de *periodo.* Al número de vueltas o ciclos que efectúa un móvil en un segundo se le da el nombre de *frecuencia*. Como la frecuencia equivale al inverso del periodo y viceversa: $T = \frac{1}{f}$ en s/ciclo $\therefore\ f = \frac{1}{T}$ ciclo/s. La frecuencia generalmente se expresa en hertz (Hz) equivalente a 1 ciclo/s. 1 Hz = 1 ciclo/s.

30. Cuando un cuerpo tiene una velocidad angular con una magnitud constante describe ángulos iguales en tiempos iguales, por lo cual se dice que su movimiento es circular uniforme. La magnitud de la *velocidad angular* (ω) representa el cociente entre la magnitud del *desplazamiento angular* (θ) de un cuerpo y el tiempo que tarda en efectuarlo: $\omega = \frac{\theta}{t}$, se mide en radianes/s. La magnitud de la velocidad angular también se calcula usando las siguientes expresiones: $\omega = \frac{2\pi}{T}$; $\omega = 2\pi f$ y ambas se miden en radianes/s.

31. Cuando un móvil con trayectoria circular aumenta la magnitud de la velocidad angular en forma constante en cada unidad de tiempo, presenta un movimiento circular uniformemente acelerado (MCUA); por tal motivo, la magnitud de su aceleración angular permanece constante.

32. Como el movimiento rectilíneo uniforme tiene gran semejanza con el circular uniforme, y el rectilíneo uniformemente acelerado con el circular uniformemente variado, la interpretación de las gráficas: magnitud del desplazamiento angular tiempo, magnitud de la velocidad angular-tiempo y magnitud del desplazamiento angular-tiempo al cuadrado se da en los mismos términos en que lo hicimos para el MRU y el MRUA.

33. Las ecuaciones empleadas para el movimiento circular uniformemente acelerado son las mismas que se utilizan para el rectilíneo uniformemente acelerado, pero con las siguientes variantes: **a)** En lugar de desplazamiento en metros hablaremos de desplazamiento angular en radianes (θ en lugar de d). **b)** En vez de velocidad en m/s nos referimos a la velocidad angular en radianes/s (ω en lugar de v). **c)** La aceleración en m/s^2 se cambiará a aceleración angular en radianes/s^2 (α en lugar de a). Con estas consideraciones, las ecuaciones para el MCUA son:

a) Para calcular las magnitudes de los desplazamientos angulares:

a) $\theta = v_0 t + \frac{\alpha t^2}{2}$

b) $\theta = \frac{\omega_f^2 - \omega_0^2}{2\alpha}$

c) $\theta = \frac{\omega_f + \omega_0}{2} t$

b) Para calcular las magnitudes de las velocidades angulares finales:

a) $\omega_f = \omega_0 + \alpha t$

b) $\omega_f = \omega_0{}^2 + 2\,\alpha\theta$

34. La *velocidad lineal* o *tangencial* de un cuerpo que describe un MCU representa la magnitud de la velocidad que llevaría dicho cuerpo si saliera disparado tangencialmente. Su expresión matemática es: $v_L = \frac{2\pi r}{T}$, o bien, $v_L = \omega r$. En el SI se mide en m/s.

35. Cuando durante su movimiento circular un cuerpo cambia su velocidad lineal, entonces sufre una aceleración lineal cuya magnitud se calcula con la expresión es: $a_L = \alpha r$ medida en m/s^2.

36. En un movimiento circular uniforme, la magnitud de la velocidad lineal permanece constante, pero su dirección cambia permanentemente en forma tangencial a la circunferencia. Dicho cambio se debe a la existencia de una *aceleración llamada radial* porque actúa perpendicularmente a la velocidad lineal y cuya magnitud se calcula con la expresión: $a_r = \omega^2 r$ medida en m/s^2.

37. Como la *aceleración lineal* representa un cambio en la velocidad lineal, y la *aceleración radial* representa un cambio en la dirección de la velocidad, se puede encontrar la magnitud de la resultante de las dos aceleraciones mediante la suma vectorial de ellas: $a_{\text{resultante}} = \sqrt{a_L^2 + a_r^2}$.

38. El *movimiento armónico simple* (MAS) es un movimiento periódico, es decir, se repite a intervalos iguales de tiempo. Puede ser descrito en función del movimiento circular uniforme, considerándolo como la proyección sobre cualquier diámetro

de un punto que se mueve en una trayectoria circular con una velocidad cuya magnitud es constante. En el MAS resultan útiles los siguientes conceptos: *Elongación*, distancia de una partícula a su punto de equilibrio. Puede ser positiva o negativa según esté hacia la derecha o hacia la izquierda de la posición de equilibrio. Su valor se calcula con la expresión: $Y = r \cos 2\pi ft$. *Amplitud*, es la máxima elongación, cuyo valor será igual al radio de la circunferencia. *Velocidad de oscilación*, es el resultado de proyectar la velocidad lineal del movimiento circular de un cuerpo sobre el diámetro de la circunferencia. Su expresión matemática para calcular su magnitud es: $v = -2\pi fr \text{ sen } 2\pi ft$. *Aceleración de una partícula oscilante*, es el resultado de proyectar sobre el diámetro de la circunferencia la aceleración radial del movimiento circular uniforme de un cuerpo. Su magnitud se calcula con la ecuación $a = -4\ \pi^2 f^2 Y$.

39. Otro ejemplo de MAS se presenta cuando un resorte sujeto por su parte superior sostiene un cuerpo en su parte inferior, y al darle un tirón hacia abajo y luego soltarlo, comienza a vibrar de un lado a otro de su posición de equilibrio comportándose como un oscilador armónico. Mientras aumenta la magnitud de la fuerza del tirón aplicado al cuerpo, la magnitud de la fuerza de restitución que tratará de recuperar la posición de equilibrio del cuerpo, también se incrementa en la misma proporción. De acuerdo con la Ley de Hooke, la magnitud de la fuerza de restitución es directamente proporcional al desplazamiento del cuerpo. Como la fuerza de restitución (F) es opuesta al desplazamiento (d), su signo es negativo, por lo que se expresa como $F = -kd$ donde k es una constante cuyo valor depende del tipo de material elástico de que se trate.

40. Un *péndulo simple* está constituido por un cuerpo pesado suspendido en un punto sobre un eje horizontal por medio de un hilo de masa despreciable. Cuando se separa un péndulo de su posición de equilibrio y después se suelta, oscila a uno y otro lado del mismo por efecto de su peso. El movimiento de un péndulo es otro ejemplo de movimiento armónico simple. Su periodo puede ser calculado con la ecuación:

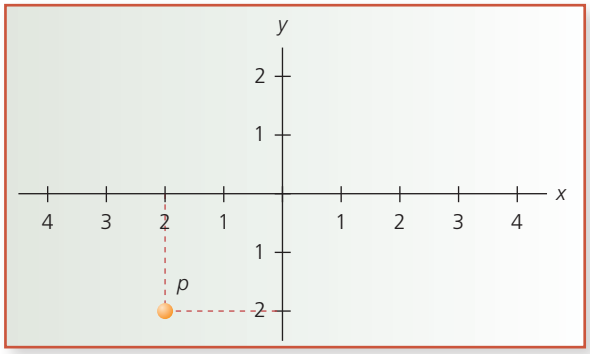
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

De esta ecuación se desprenden las dos leyes del péndulo: **a)** El periodo de las oscilaciones, por pequeñas que sean, no depende de la masa del péndulo ni de la amplitud del movimiento, sino de su longitud. **b)** El periodo es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la longitud del péndulo, e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la aceleración causada por la acción de la gravedad. Galileo Galilei fue el primero en descubrir que el periodo de un péndulo es constante, este conocimiento contribuyó a la invención de los relojes de péndulo, así como mecanismos para sincronizar y regular los movimientos.

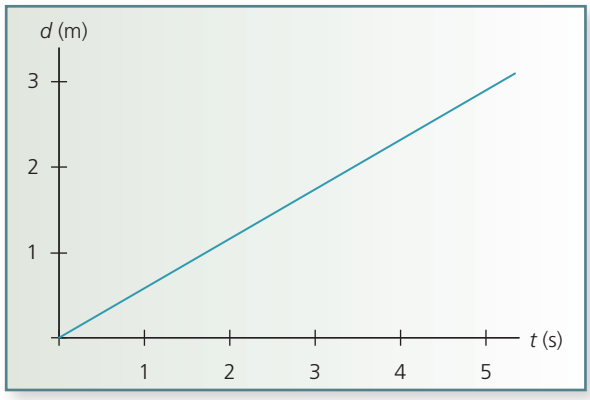
Autoevaluación

Escriba en su cuaderno las respuestas a las siguientes preguntas. Si se le presentan dudas al responder vuelva a leer la sección correspondiente del libro, la cual viene señalada al final de cada pregunta para su fácil localización.

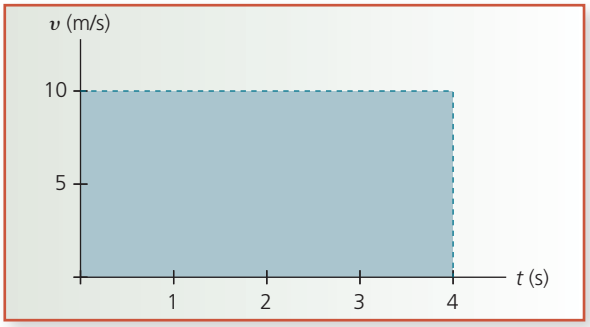
1. Por medio de un ejemplo cotidiano, explique por qué decimos que todo el Universo se encuentra en constante movimiento. (*Introducción de la unidad 4*)
2. ¿Qué estudia la mecánica y en cuántas partes se divide? (*Introducción de la unidad 4*)
3. ¿Cuál es la diferencia entre el campo de estudio de la cinemática y el de la dinámica? (*Introducción de la unidad 4*)
4. Explique por medio de ejemplos observables en su entorno, el movimiento de los cuerpos en una dimensión, dos dimensiones y tres dimensiones. (*Introducción de la unidad 4*)
5. Utilice un ejemplo de su vida cotidiana para que explique qué se entiende por movimiento de un cuerpo. (*Sección 1*)
6. ¿Por qué es importante el estudio de la cinemática? (*Sección 1*)
7. Describa un ejemplo de su entorno por medio del cual explique por qué al hacer la descripción de su movimiento resulta práctico considerar a los cuerpos como partículas. (*Sección 2*)
8. Dibuje y explique la trayectoria de una partícula. (*Sección 2*)
9. ¿Cuántos tipos de sistemas de referencia hay y en qué se diferencian? (*Sección 3*)
10. Utilice un ejemplo de su vida cotidiana, que le resulte útil para demostrar cuál es la ventaja de considerar a la Tierra como un sistema de referencia absoluto. (*Sección 3*)
11. ¿Cuáles son las coordenadas rectangulares de la partícula P de acuerdo con la siguiente figura? (*Sección 3*)



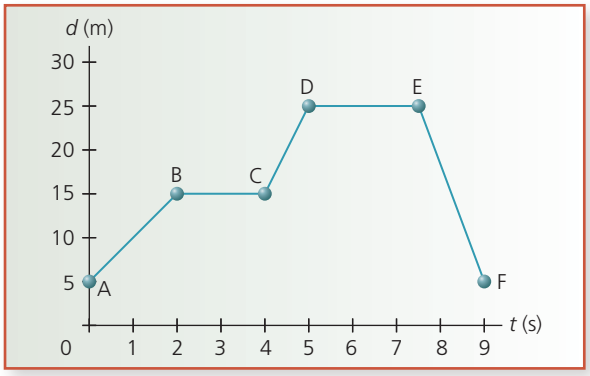
12. Por medio de un ejemplo de su entorno, explique que la diferencia que existe entre distancia y desplazamiento. (*Sección 4*)
13. Utilice un ejemplo práctico y explique cuál es la diferencia entre la velocidad y la rapidez. (*Sección 4*)
14. Durante toda la curva el conductor de un camión de pasajeros logra mantener el vehículo con una rapidez constante de 40 km/h. ¿Se mantiene constante también la velocidad? Sí o no y por qué. (*Sección 4*)
15. ¿Cuál es la expresión matemática para determinar la magnitud de la velocidad y cuáles son sus unidades en el Sistema Internacional? (*Sección 4*)
16. ¿Qué determina la dirección que lleva la velocidad de un móvil? (*Sección 4*)
17. ¿Qué se entiende por movimiento rectilíneo uniforme? Ponga un ejemplo. (*Sección 5*)
18. Cuando se tiene una relación $\frac{\Delta \vec{d}}{\Delta t} = k$, ¿de qué tipo de movimiento se trata? (*Sección 5*)
19. ¿Qué representa el valor de la pendiente de la recta en la siguiente gráfica? (*Sección 5*)



20. ¿Qué representa el valor de área del rectángulo en la siguiente gráfica? (*Sección 5*)
21. Utilice un ejemplo de su vida cotidiana para que describa que es una velocidad media. (*Sección 6*)



22. ¿Cuál es la expresión matemática para calcular la magnitud de la velocidad media? (*Sección 6*)
23. ¿Cómo se define la velocidad instantánea? *(Sección 7)*
24. ¿Por qué no es lo mismo la distancia que recorre un móvil y el desplazamiento que realiza? (*Sección 8*)
25. Cuando el desplazamiento de un móvil es cero, ¿debe entenderse que la única explicación posible es que el móvil no se ha movido? Sí o no y por qué. (*Sección 8*)
26. Con los datos de la magnitud del desplazamiento de un móvil en función del tiempo se obtuvo la siguiente gráfica:



a) ¿Qué posición tenía el móvil antes de iniciar su movimiento?

b) ¿Cuál es la magnitud de la velocidad durante el intervalo de tiempo entre los puntos B y C?

c) ¿Cómo se comportó la velocidad entre los puntos C y D, y cuál es su magnitud?

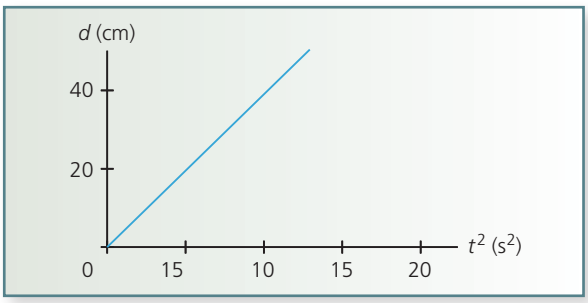
d) ¿A qué tiempo invirtió la dirección de su recorrido?

e) ¿Regresó al punto de partida? (*Sección 8*)

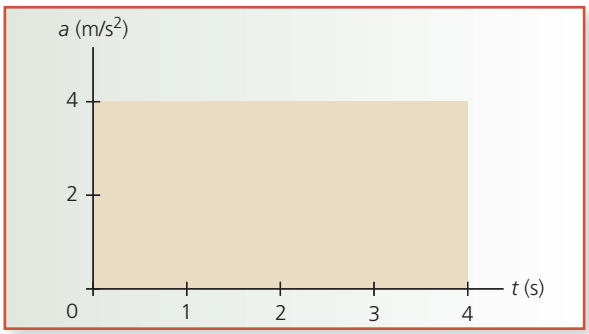
27. Defina qué se entiende por aceleración, cuál es su fórmula y sus unidades en el SI. (*Sección 9*)
28. Cuando un automóvil mantiene su velocidad constante, ¿cuánto vale su aceleración? (*Sección 9*)
29. Por medio de ejemplos observables en su entorno, describa en qué casos la aceleración es positiva y en cuál es negativa. (*Sección 9*)

Grupo Editorial Patria

30 En una gráfica como la de la figura siguiente, ¿qué representa el valor de la pendiente de la recta? (*Sección 9*)



31 En una gráfica como la de la figura siguiente, ¿qué representa el área del rectángulo? (*Sección 9*)



32 Escriba las tres ecuaciones que se usan para calcular la magnitud de los desplazamientos en el MRUA y explique de qué depende el uso de cada una de ellas. Además, ¿a qué se reducen estas tres ecuaciones cuando el móvil parte del reposo? (*Sección 9*)

33 Escriba las dos ecuaciones que se usan para calcular las magnitudes de las velocidades finales en el MRUA y explique de qué depende el uso de cada una de ellas. Mencione también a qué se reducen estas ecuaciones cuando el móvil parte del reposo. (*Sección 9*)

34 Por medio de un ejemplo práctico, explique qué se entiende por caída libre de un cuerpo, y por velocidad terminal del mismo. (*Sección 9*)

35 Explique qué sucede cuando desde una misma altura se dejan caer al mismo tiempo una piedra de 20 kg y otra de 100 kg. (*Sección 9*)

36 Si se considera, para fines prácticos, que la magnitud de la aceleración de la gravedad es de $-9.8\ m/s^2$, al transcurrir varios segundos de estar cayendo un cuerpo, ¿cambia la magnitud de la aceleración de la gravedad o permanece constante? Si la aceleración de la gravedad permanece constante, ¿qué cambia al estar cayendo un cuerpo? (*Sección 9*)

37 Como la caída libre es un ejemplo de MRUA, las ecuaciones que se usan son las mismas, sólo que presentan algunos cambios en las letras de varias magnitudes; escriba cuáles son. (*Sección 9*)

38 Explique por medio de un ejemplo observable en su entorno, qué es un tiro vertical y escriba las ecuaciones utilizadas para calcular la altura máxima, el tiempo en que se alcanza la altura máxima y el tiempo que un cuerpo permanece en el aire. (*Sección 9*)

39 Explique qué es un tiro parabólico y las características del tiro parabólico horizontal y el oblicuo, utilizando gráficas que describan sus trayectorias. (*Sección 10*)

40 Para resolver un problema de tiro parabólico oblicuo lo primero que se hace es descomponer a la velocidad en sus componentes rectangulares. Diga qué puede calcularse si conoce la magnitud de la componente inicial vertical y qué se determina con la magnitud de la componente horizontal. (*Sección 10*)

41 Explique por qué en el tiro parabólico la magnitud de la componente vertical de la velocidad sí cambia uniformemente, mientras que la magnitud de la componente horizontal de la velocidad permanece constante. (*Sección 10*)

42 Explique las características de un movimiento circular. (*Sección 11*)

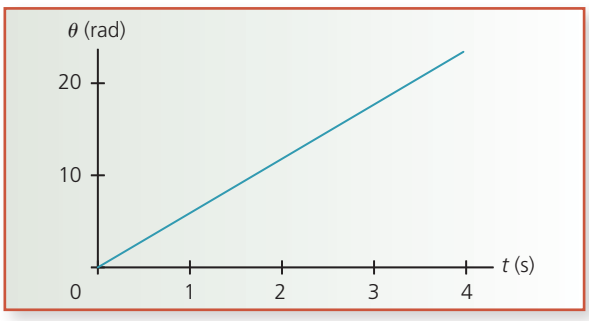
43 ¿Qué es un radián? (*Sección 11*)

44 ¿Cómo se define el periodo y la frecuencia? (*Sección 11*)

45 Explique el concepto de movimiento circular uniforme. (*Sección 11*)

46 Defina el concepto de velocidad angular y velocidad angular media. Escriba las ecuaciones para calcular sus respectivas magnitudes. (*Sección 11*)

47 En una gráfica como la de la figura siguiente, ¿qué representa el valor de la pendiente de la recta? (*Sección 11*)

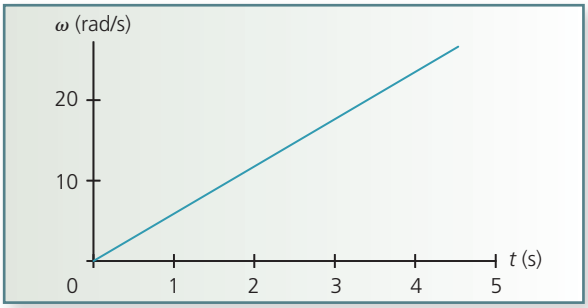


48 Escriba las características de un movimiento circular uniformemente acelerado (MCUA). (*Sección 12*)

49 Explique qué se entiende por velocidad angular instantánea. (*Sección 12*)

50. Explique cuál es el concepto de aceleración angular media e instantánea. (*Sección 12*)

51. En una gráfica como la de la figura siguiente, ¿qué representa el valor de la pendiente de la recta? (*Sección 12*)



52. Escriba las ecuaciones que se usan para calcular las magnitudes de los desplazamientos angulares y las magnitudes de las velocidades angulares finales en el MCUA. (*Sección 12*)

53. Explique mediante un dibujo el concepto de velocidad lineal o tangencial. Después, escriba la ecuación que se usa para encontrar su magnitud y cuáles son sus unidades en el SI. (*Sección 12*)

54. Explique qué es aceleración lineal y aceleración radial, escriba fórmulas y unidades. Diga también cómo se determina la resultante de las dos aceleraciones. (*Sección 12*)

55. Por medio de una figura describa las características de un movimiento armónico simple (MAS). (*Sección 13*)

56. Defina los siguientes conceptos: **a)** Elongación; **b)** Amplitud; **c)** Velocidad de oscilación; **d)** Aceleración de una partícula oscilante. Escriba también las ecuaciones matemáticas para el cálculo de la magnitud de cada una de ellas. (*Sección 13*)

57. Explique mediante un dibujo las características de un oscilador armónico. (*Sección 13*)

58. Explique cómo actúa la fuerza de restitución en un cuerpo elástico y cuál es la ecuación matemática usada para encontrar su magnitud. (*Sección 13*)

59. ¿De qué depende el periodo de un vibrador armónico simple? (*Sección 13*)

60. ¿Cómo se expresa la rigidez de un resorte y a qué equivale? (*Sección 13*)

61. ¿Qué es un péndulo simple? (*Sección 13*)

62. ¿Por qué decimos que el movimiento de un péndulo es un ejemplo de movimiento armónico simple? (*Sección 13*)

63. ¿Mediante qué ecuación encontraría el periodo de un péndulo si conoce su longitud y la magnitud de la aceleración de la gravedad? (*Sección 13*)

64. Escriba las dos leyes del péndulo. (*Sección 13*)

65. ¿Qué beneficios se obtuvieron del descubrimiento hecho por Galileo Galilei acerca de que el periodo de un péndulo es constante? (*Sección 13*)

Coevaluación

Instrucciones: Consolide su aprendizaje, para ello lea y conteste en una hoja las siguientes preguntas. Luego, intercambie con un(a) compañero(a) sus respuestas. Coméntenlas, pónganse de acuerdo y den respuestas comunes. Discútanlas con las demás parejas y enriquezcan sus conocimientos con las aportaciones de todos.

1. Un avión vuela con una velocidad de 800 km/h al Norte durante 10 min. ¿Cuál es su aceleración durante ese lapso y por qué?

2. Un camión de carga va hacia el poniente y registra en el velocímetro 70 km/h, otro camión va hacia el oriente a 70 km/h.
   a) ¿Tienen los dos camiones la misma rapidez? Sí o no. ¿Por qué?
   b) ¿Tienen la misma velocidad? Sí o no. ¿Por qué?

3. Durante 30 s el velocímetro de un automóvil registra 100 km/h.
   a) ¿Puede asegurar que su rapidez es constante durante ese lapso? Sí o no. ¿Por qué?
   b) ¿Puede asegurar que su velocidad es constante en ese lapso? Sí o no. ¿Por qué?

4. ¿Puede tener la misma aceleración una carreta tirada de un caballo que un automóvil de carreras? Sí o no. ¿Por qué?

5. Una pelota de béisbol es bateada con una velocidad horizontal cuya magnitud es de 20 m/s y tarda en chocar contra el suelo 3 s.
   a) ¿Cuál es la magnitud de su velocidad horizontal al 1er. segundo? ¿Por qué?
   b) ¿Cuál es la magnitud de su velocidad horizontal al 2o. segundo? ¿Por qué?
   c) ¿Cuál es la magnitud de su velocidad horizontal justo antes de chocar contra el suelo? ¿Por qué?

6. ¿Qué le recomendaría a un paracaidista para que al lanzarse desde un avión y antes de abrir su paracaídas suceda lo siguiente?
   a) Tenga una mayor rapidez en su caída.
   b) Tenga una menor rapidez durante su caída.
   Justifique sus respuestas.

7. Un portero desea lograr el mayor alcance horizontal al despejar el balón desde su portería. ¿Con qué ángulo con respecto al suelo debe hacerlo?

Grupo Editorial Patria

8 Un auto de carreras se encuentra recorriendo un circuito cuya forma es redonda, mientras un disco compacto es reproducido.

a) ¿Cuál de los dos objetos realiza un movimiento circular? ¿Por qué?

b) ¿Cuál realiza un movimiento de rotación? ¿Por qué?

Glosario

Aceleración
Representa el cambio en la velocidad de un cuerpo en un tiempo determinado.

Aceleración de la gravedad
Debido a la fuerza gravitacional con que la Tierra atrae a los cuerpos, si éstos tienen una caída libre, reciben una aceleración gravitacional constante que les provoca un movimiento uniformemente variado. La magnitud de esta aceleración es de $-9.8\ m/s^2$.

Aceleración instantánea
Se obtiene cuando la velocidad cambia en un tiempo tan pequeño que casi tiende a cero.

Ángulo
Abertura comprendida entre dos radios, que limitan un arco de circunferencia.

Caída libre
Se presenta cuando un cuerpo desciende sobre la superficie de la Tierra y no sufre ninguna resistencia originada por el aire o por cualquier otra sustancia.

Cinemática
Estudia el movimiento de los cuerpos sin atender a las causas que lo producen.

Frecuencia
Es el número de vueltas o ciclos que efectúa un móvil en un segundo.

Movimiento
Es cuando la posición de un cuerpo está variando respecto a un punto considerado fijo.

Movimiento armónico simple
Es un movimiento periódico, es decir, se repite a intervalos iguales de tiempo. Puede ser descrito en función del movimiento circular uniforme, considerándolo como la proyección sobre cualquier diámetro de un punto que se mueve en una trayectoria circular con velocidad constante.

Movimiento circular
Es el que describe un cuerpo cuando su trayectoria es una circunferencia.

Movimiento circular uniforme
Se produce cuando un cuerpo con magnitud de velocidad angular constante describe ángulos iguales en tiempos iguales.

Movimiento rectilíneo uniforme
Se realiza cuando un móvil recorre distancias iguales en tiempos iguales y en línea recta.

Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado
Se presenta cuando la velocidad experimenta cambios iguales en cada unidad de tiempo. En este movimiento la magnitud de la aceleración permanece constante al transcurrir el tiempo.

Péndulo
Está constituido por un cuerpo pesado suspendido en un punto sobre un eje horizontal por medio de un hilo de masa despreciable.

Periodo
Es el tiempo que tarda un cuerpo en dar una vuelta completa o en completar un ciclo.

Radián
Ángulo central al que corresponde un arco de longitud igual al radio (1 rad = 57.3°).

Tiro parabólico
Es la resultante de la suma vectorial de un movimiento horizontal uniforme y de un movimiento vertical rectilíneo uniformemente variado.

Tiro parabólico horizontal
Es la trayectoria o camino curvo que sigue un cuerpo al ser lanzado horizontalmente al vacío.

Tiro parabólico oblicuo
Es la trayectoria que sigue un cuerpo cuando es lanzado con una velocidad inicial que forma un ángulo con el eje horizontal.

Tiro vertical
Se presenta cuando un cuerpo se lanza de una manera vertical hacia arriba.

Velocidad
Desplazamiento realizado por un móvil, dividido entre el tiempo que tarda en efectuarlo.

Velocidad angular
Representa el cociente entre el desplazamiento angular de un cuerpo y el tiempo que tarda en efectuarlo.

Velocidad instantánea
Se obtiene cuando un cuerpo se desplaza en un tiempo tan pequeño que casi tiende a cero.

Velocidad lineal o tangencial
Representa la velocidad que llevaría una partícula si saliera disparada al estar girando.

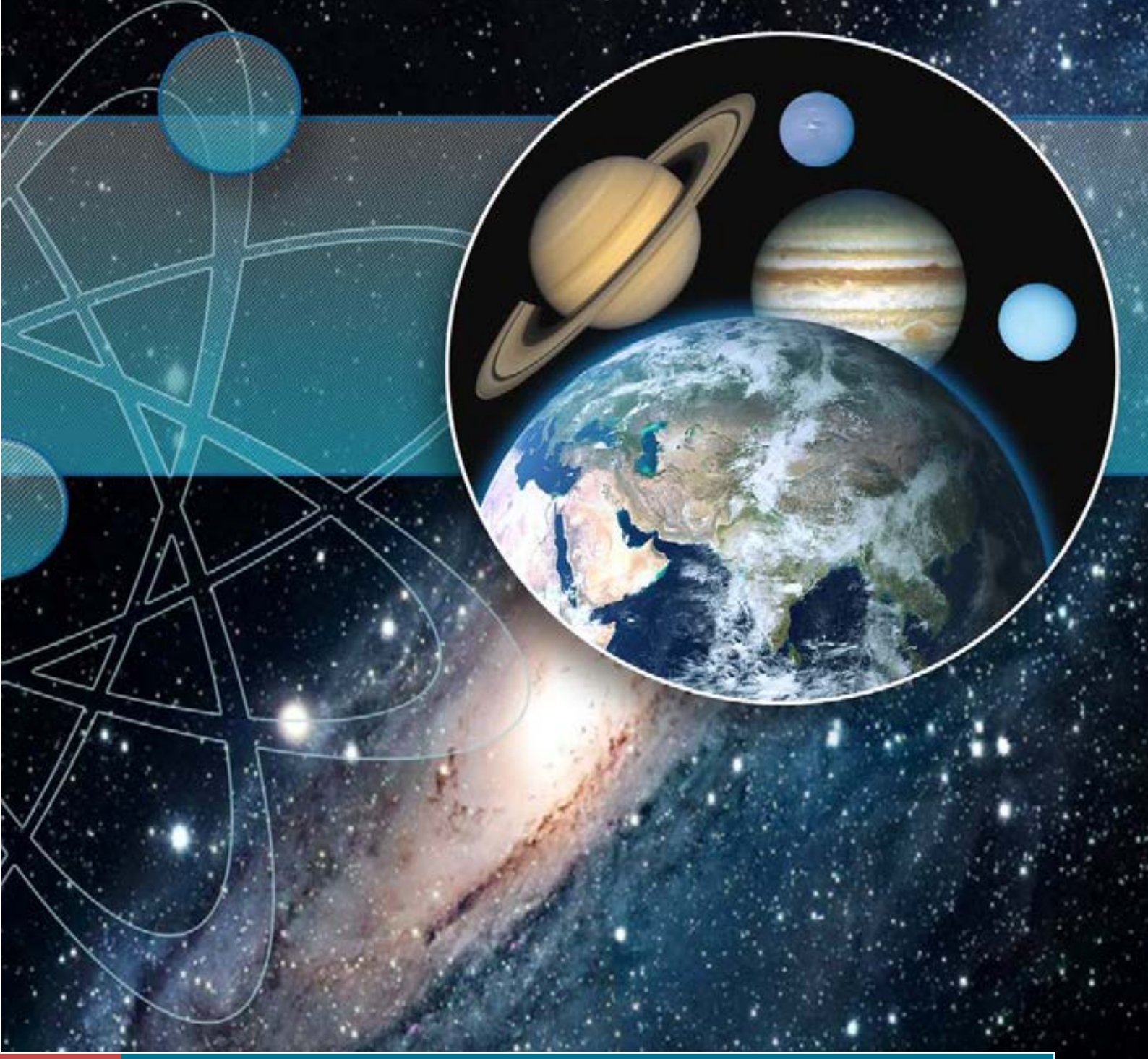
Velocidad media
Representa la relación entre el desplazamiento total hecho por un móvil y el tiempo en efectuarlo.

UNIDAD 5

CONTENIDO

- Las fuerzas y sus efectos
- Leyes de la dinámica
- Gravitación universal
- Estática
- Fricción
- Trabajo mecánico
- Energía
- Potencia mecánica
- Impulso mecánico
- Cantidad de movimiento o momento lineal
- Relación entre el impulso y la cantidad de movimiento
- Choque elástico y choque inelástico
- Ley de la conservación de la cantidad de movimiento o del momento lineal
- Ley de la conservación del momento angular
- Máquinas simples y su eficiencia
- Actividad experimental 11: *Segunda ley de Newton*
- Actividad experimental 12: *Equilibrio de fuerzas paralelas*
- Resumen
- Autoevaluación
- Coevaluación
- Glosario

En la unidad anterior señalamos lo siguiente: todo el Universo se encuentra en constante movimiento y gracias al estudio de la **cinemática** sabemos cómo calcular el desplazamiento, la velocidad, la aceleración y el tiempo en que un móvil con cierta velocidad se encontrará en un determinado lugar. En todas esas situaciones no analizamos las causas del movimiento de los cuerpos. A lo largo de esta unidad estudiaremos por qué un cuerpo en reposo se pone en movimiento, o por qué un cuerpo en movimiento se detiene. También comprenderemos por qué los cuerpos se aceleran de manera uniforme al caer libremente sobre la superficie de la Tierra, y cómo la **Ley de la Gravitación Universal** rige el movimiento de los planetas. Además veremos las condiciones de equilibrio de un cuerpo, y las ventajas y desventajas de la fricción. Analizaremos los conceptos de trabajo, energía y potencia mecánicos, la relación entre el impulso y la cantidad de movimiento, choques elásticos e inelásticos y la **Ley de la Conservación de la Cantidad de Movimiento.** La mecánica se divide en **cinemática y dinámica.** La primera estudia el movimiento de los cuerpos sin atender las causas que lo producen y la segunda las causas de reposo o movimiento de los cuerpos. La **estática queda comprendida dentro del estudio de la dinámica y analiza las condiciones que permiten el equilibrio de los cuerpos.** Así pues, con el estudio de la dinámica, fundamentado en las leyes de Newton, podremos interpretar no sólo el movimiento y el equilibrio de los cuerpos, sino también las causas que lo producen.



Dinámica

1 Las fuerzas y sus efectos

Reflexione acerca de las siguientes situaciones: ¿Qué mueve a un barco de vela que navega por el mar? ¿Cómo logra una grúa mover y remolcar a un coche descompuesto para llevarlo al taller mecánico? ¿Qué tiene que hacer un jugador de fútbol para tratar de meter con el pie una pelota en la portería del equipo contrario? ¿Qué ocasiona la caída de una manzana desde la rama de un árbol? Como sabemos, el barco navega en virtud de la fuerza que el viento ejerce sobre la vela; el coche descompuesto es remolcado gracias a que es jalado por una fuerza que recibe de la grúa; la pelota se mueve y puede entrar en la portería debido a que con el pie recibe una fuerza al ser pateada; la manzana cae al suelo en virtud de la fuerza gravitacional con que es atraída por la Tierra.

En los cuatro ejemplos anteriores y en cualquier caso en que interviene una fuerza, existe como mínimo una interacción de dos cuerpos (figura 5.1). Tal fue el caso viento-vela, coche-grúa, pie-pelota y manzana-Tierra. En los tres primeros casos existe un contacto físico entre el cuerpo que ejerce la fuerza y el que la recibe; por ello, reciben el nombre de fuerzas de contacto. En el caso de la fuerza de atracción que la Tierra ejerce sobre la manzana, los dos cuerpos interaccionan sin que exista contacto entre ellos; este tipo de fuerzas recibe el nombre de fuerzas de acción a distancia.



figura 5.1

Siempre que una fuerza se manifiesta se produce, cuando menos, una interacción entre dos cuerpos.

El término de fuerza lo empleamos para decir: un avión se mueve por la fuerza producida por las turbinas; las nubes y los árboles se mueven por la fuerza del viento; las hojas de los árboles caen sobre la superficie de la Tierra porque ésta ejerce una fuerza sobre ellas.

Sin embargo, no todas las fuerzas producen un movimiento sobre los cuerpos. Pensemos en un cuerpo en movimiento, si recibe una fuerza en sentido contrario al de su movimiento puede disminuir su velocidad e incluso detenerse. Al pararnos sobre una llanta de automóvil, la fuerza provocada por nuestro peso deformará la llanta. Definir qué es una fuerza no resulta simple; no obstante, podemos decir que: una fuerza se manifiesta siempre que existe, cuando menos, una interacción entre dos cuerpos.

El efecto que una fuerza produce sobre un cuerpo depende de su magnitud, así como de su punto de aplicación, dirección y sentido, por tanto, la fuerza es una magnitud vectorial.

Para medir la intensidad de una fuerza se utiliza un aparato llamado **dinamómetro**, su funcionamiento se basa en la Ley de Hooke, la cual enuncia lo siguiente: dentro de los límites de elasticidad las deformaciones que sufre un cuerpo son directamente proporcionales a la fuerza que reciben. El dinamómetro consta de un resorte con un índice y una escala convenientemente graduada; la deformación producida en el resorte al colgarle un peso conocido se transforma, mediante la lectura del índice en la escala graduada, en un valor concreto de la fuerza aplicada (figura 5.2).

La unidad de fuerza usada en el Sistema Internacional es el newton (N), aunque en ingeniería se usa todavía



figura 5.2

Para medir la magnitud de una fuerza, como es la producida por el peso de un cuerpo, se usa un dinamómetro.

el llamado kilogramo-fuerza (kg_f) aproximadamente diez veces mayor al newton: $1\ kg_f = 9.8$ N. También se utiliza el gramo-fuerza (g_f) equivalente a la milésima parte del kilogramo fuerza: $1\ kg_f = 1\,000\ g_f$.

Resultante y equilibrante

Cuando varias fuerzas actúan sobre un cuerpo es necesario calcular el efecto neto producido por ellas, o sea, la resultante del sistema de fuerzas, la cual tiene la propiedad de producir el mismo efecto que causan todas las fuerzas sobre el cuerpo. El cálculo de la resultante se puede hacer a través de un procedimiento gráfico, o bien, mediante el cálculo matemático llamado **método analítico**.

La equilibrante de un sistema de fuerzas es aquella fuerza que equilibra al sistema, tiene la misma dirección y magnitud que la resultante, pero con sentido contrario. (ver la unidad 3 correspondiente a Vectores de este libro).

Clasificación de las fuerzas

En términos generales, las fuerzas pueden clasificarse según su origen y características en cuatro grupos:

1. Fuerzas gravitacionales, se producen debido a las fuerzas mutuas de atracción que se manifiestan entre dos cuerpos cualesquiera del universo, y cuya causa está en función de la masa de los cuerpos y de la distancia existente entre ellos. A estas fuerzas se debe que los planetas mantengan sus órbitas elípticas, el peso de los cuerpos y que todo cuerpo suspendido caiga a la superficie al cesar la fuerza que lo sostiene. Mientras mayor masa tenga un cuerpo, mayor será la fuerza gravitacional con la cual atraerá a los demás cuerpos. La magnitud de la fuerza gravitacional puede ser muy grande si se trata de cuerpos macroscópicos; sin embargo, es la más débil de todas las fuerzas fundamentales.
2. Fuerzas electromagnéticas, son las fuerzas que mantienen unidos a los átomos y móleculas de cualquier sustancia, su origen se debe a las cargas eléctricas. Cuando las cargas eléctricas se encuentran en reposo entre ellas se ejercen fuerzas electrostáticas, y cuando están en movimiento se producen fuerzas electromagnéticas. Son mucho más intensas que las fuerzas gravitacionales. Además, las fuerzas gravitacionales siempre son de atracción, mientras las fuerzas electromagnéticas pueden ser de atracción o de repulsión.
3. Fuerzas nucleares, aunque no se sabe con certeza cuál es su origen se supone que son engendradas por intermedio de mesones entre las partículas del núcleo, y son las encargadas de mantener unidas a las partículas del núcleo atómico. Es evidente la existencia de fuerzas atractivas en el núcleo atómico, porque sin ellas sería inconcebible la cohesión de los protones en el núcleo, toda vez que estas partículas, por tener carga eléctrica positiva, deberían rechazarse. Sin embargo, las fuerzas nucleares son más intensas que las fuerzas eléctricas en el núcleo y opuestas a ellas. Las fuerzas nucleares manifiestan un alcance muy pequeño y su magnitud disminuye de manera muy rápida fuera del núcleo. Su magnitud se puede despreciar cuando las distancias de separación son mayores a 10^{-14} m.
4. Fuerzas débiles, se caracterizan por provocar inestabilidad en determinados núcleos atómicos. Fueron detectadas en sustancias radiactivas naturales y posteriormente, los científicos comprobaron que son determinantes en casi todas las reacciones de decaimiento radiactivo. La magnitud de las fuerzas débiles es del orden de 10^{25} veces más fuerte que las fuerzas gravitacionales, pero es de aproximadamente 10^{12} veces más débil que las fuerzas electromagnéticas.

Nuevas teorías acerca de las fuerzas fundamentales de la naturaleza

Las semejanzas entre las fuerzas gravitacionales y las fuerzas eléctricas ha originado que los científicos busquen un modelo simplificado que reduzca el número de fuerzas fundamentales en la naturaleza. Es por ello que consideran que las fuerzas gravitacionales y eléctricas pueden ser aspectos diferentes de la misma cosa. **Albert Einstein** (1879-1955), pasó los últimos años de su vida investigando acerca de la teoría del campo unificado, sin lograr resultados significativos. En el siglo pasado, en el año de 1967, los físicos predijeron que la fuerza electromagnética y la fuerza nuclear débil, mismas que se consideraban independientes entre sí, **en realidad eran manifestaciones de una misma fuerza**. En 1984, se comprobó experimentalmente que su predicción era correcta, y a dicha fuerza se le denomina ahora **electrodébil**. También se sabe, que el protón y el neutrón están constituidos por partículas más pequeñas llamadas **quarks**, por lo que se ha modificado el concepto de **fuerza nuclear**. Hoy día, se considera la existencia de una **fuerza nuclear fuerte**, que enlaza a los quarks entre sí dentro de un **nucleón** integrado por un protón y un neutrón. Es por ello que la fuerza nuclear que actúa entre las partículas del núcleo atómico, es interpretada como un efecto secundario de la **fuerza nuclear fuerte** que está presente entre los quarks.

Los físicos continúan sus investigaciones, con la expectativa de encontrar las relaciones entre las fuerzas fundamentales de la naturaleza. Dichas relaciones mostrarían que los distintos tipos de fuerzas son manifestaciones diferentes de una única **superfuerza**. Este razonamiento se basa en la teoría del **Big Bang**, que señala que el origen del universo se debió a una gran explosión ocurrida hace unos 20 mil millones de años, y que en los primeros instantes después de dicha explosión, se produjeron energías tan grandes que **todas las fuerzas fundamentales se unificaron en una sola fuerza**. En la actualidad, ésta es una de las líneas de investigación más importantes que tiene la Física.

2 Leyes de la dinámica

Isaac Newton (1643-1727) nació en Inglaterra y ha sido una de las inteligencias más brillantes del mundo, sus conceptos aún siguen vigentes. Estudioso de las leyes naturales que rigen el movimiento de los cuerpos, observó la caída de una manzana al suelo y a partir de ahí estableció relaciones entre la fuerza que provocaba la caída de la manzana y la fuerza que sostenía a la Luna en su órbita alrededor de la Tierra. En 1679 ya había determinado con precisión el radio terrestre: 6 371.45 km. En 1687 publicó su *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, en este libro Newton expuso tres leyes conocidas como Leyes de Newton o Leyes de la Dinámica, así como la Ley de la Gravitación universal.

Primera ley de Newton o ley de la inercia

¿Se ha puesto a reflexionar por qué los cuerpos en movimiento se detienen?

Desde que el hombre tuvo la posibilidad de reflexionar acerca del porqué del movimiento de los cuerpos, se obtuvieron conclusiones, algunas equivocadas, como las del filósofo griego Aristóteles (384-322 a.C.), quien de acuerdo con lo que podía observar señalaba que un cuerpo sólo se puede mover de manera constante si existe una fuerza actuando sobre él (figura 5.3). Aún en nuestros días, para muchas personas esta afirmación es correcta, pues observan que un cuerpo cualquiera como lo es un sillón, una piedra, una mesa, etc., para seguir en movimiento se le debe aplicar una fuerza y en el momento en que se deja de aplicar se detiene.



figura 5.3

Aristóteles reflexionaba erróneamente que para que un cuerpo se moviera de manera constante, debería estar recibiendo permanentemente una fuerza aplicada.

Fue muchos siglos después que Galileo Galilei (1564-1642), con base en sus experimentos, concluyó lo que ahora sabemos, y es que la mesa se detiene porque existe una **fuerza de fricción** entre la mesa y el piso que se opone a su movimiento.

Sin embargo, si la fuerza de fricción dejara de existir, al tenerse una superficie totalmente lisa y sin la resistencia del aire (que recibe el nombre de fuerza viscosa), al darle un empujón a la mesa, ésta continuaría de manera indefinida en movimiento a velocidad constante (figura 5.4). **Galileo enunció su principio de la inercia** en los siguientes términos:

En ausencia de la acción de fuerzas, un cuerpo en reposo continuaría en reposo y uno en movimiento se moverá en línea recta a velocidad constante.

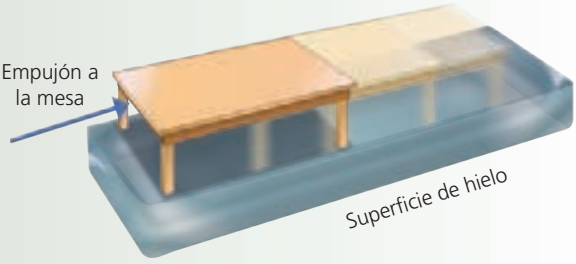


figura 5.4

Galileo demostró que si se reduce la fuerza de fricción, al darle un solo empujón a un cuerpo, éste continúa en movimiento.

El físico inglés Isaac Newton (1643-1727) aprovechó los estudios previos realizados por Galileo y enunció su Primera Ley de la Mecánica o Ley de la Inercia en los siguientes términos:

Todo cuerpo se mantiene en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme, si la resultante de las fuerzas que actúan sobre él es cero.

Existen muchos ejemplos en donde se puede apreciar de manera práctica la Primera Ley de Newton o Ley de la Inercia. Veamos algunos:

Cuando viajamos en un automóvil, al frenar bruscamente el conductor, los pasajeros se van hacia adelante, tratando de seguir en movimiento, lo que puede resultar fatal en el caso de un choque, pues es posible que se estrellen contra el parabrisas, asientos o puertas y salgan seriamente heridos si no llevan puesto el cinturón de seguridad (figura 5.5).



figura 5.5

El uso del cinturón de seguridad evita que el conductor se impacte contra el parabrisas como consecuencia de la inercia, en caso de que el coche se detenga intempestivamente.

Cuando un jinete corre velozmente con su caballo y éste detiene de repente su carrera, el jinete sale disparado hacia adelante, pues trata de continuar su movimiento.

Cuando un paracaidista se lanza desde un avión, recibe la fuerza viscosa del aire, que actúa hacia arriba, contrarrestando la fuerza de atracción de la gravedad, es decir, su peso que actúa hacia abajo, por lo que las dos fuerzas llegan a ser iguales y de acuerdo con la Primera Ley de Newton, como la resultante de las fuerzas que actúan sobre el paracaidista es cero, descenderá con una velocidad constante que recibe el nombre de velocidad terminal, y cuya magnitud es aproximadamente de 200 km/h. Cabe señalar que esta velocidad dura muy pocos segundos, ya que al abrir su paracaídas, la fuerza viscosa del aire se incrementa considerablemente y la velocidad terminal del paracaidista tendrá una magnitud muy por debajo de los 200 km/h. Es decir: ¡Se mueve sin necesidad de recibir una fuerza! (Ver Caída libre en la sección 9 de la unidad 4.)

Cabe señalar que un paracaidista de mayor peso alcanza una velocidad terminal de mayor magnitud que un paracaidista de menor peso. Sin embargo, el de menor peso puede aumentar la magnitud de su velocidad terminal si busca una posición vertical respecto al suelo, al caer de cabeza o de pie, en lugar de hacerlo en posición extendida, para reducir la fuerza de fricción con el aire.

En conclusión: Todo cuerpo al caer, como gotas de lluvia, granizo, paracaidistas, etc., alcanzará su velocidad terminal cuando su peso tenga la misma magnitud que la fuerza debida a la resistencia del aire.

La primera ley es totalmente válida cuando se trata de un **sistema de referencia inercial**. Dicho sistema es aquel en el cual no hay aceleración, es decir, se considera que está en reposo, o bien, se mueve a velocidad constante. Así pues, **aquellos sistemas de referencia que se mueven con velocidad uniforme unos respecto a los otros reciben el nombre de inerciales**. Experimentalmente se ha determinado que todos los sistemas de referencia inerciales son equivalentes para la medición de los fenómenos físicos. Esto quiere decir que cuando diferentes observadores se encuentran en sus respectivos sistemas de referencia inerciales, pueden obtener diferentes valores numéricos de las magnitudes físicas medidas; sin embargo, las leyes de la Física son las mismas para todos los observadores, por tanto, las relaciones entre las magnitudes físicas medidas también serán las mismas.

Segunda ley de Newton o ley de la proporcionalidad entre fuerzas y aceleraciones

Esta ley se refiere a los cambios en la velocidad que sufre un cuerpo cuando recibe una fuerza. Un cambio en la velocidad de un cuerpo efectuado en la unidad de tiempo, recibe el nombre de aceleración. Así, el efecto de una fuerza desequilibrada sobre un cuerpo produce una aceleración. Cuanto mayor sea la magnitud de la fuerza aplicada, mayor será la magnitud de aceleración. Debemos recordar que aceleración también significa cambios en la dirección del objeto en movimiento, independientemente que la magnitud de la velocidad cambie o permanezca constante; tal es el caso cuando se hace girar un cuerpo atado al extremo de una cuerda, pues ésta aplica una fuerza al objeto y evita que salga disparado en línea recta acelerándolo hacia el centro de la circunferencia.

Podemos observar claramente cómo varía la magnitud de aceleración de un cuerpo al aplicarle una fuerza, realizando la siguiente actividad:

Si a un coche de juguete le damos dos golpes diferentes, primero uno leve y después otro más fuerte, el resultado será una mayor magnitud de aceleración del mismo a medida que aumenta la fuerza que recibe: $a \propto F$.

Por tanto, podemos decir que la magnitud de la aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza aplicada, y el cociente de la magnitud de la fuerza entre la magnitud de la aceleración producida es igual a una constante:

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} = \frac{F_n}{a_n} = k = \text{constante.}$$

El valor de la constante k representa la propiedad del cuerpo que recibe el nombre de masa, por lo cual podemos escribir:

$$\frac{F}{a} = m$$

o bien:

$$m = \frac{F}{a}$$

La relación $\frac{F}{a}$ es una magnitud constante para cada cuerpo en particular y recibe el nombre de masa inercial, porque es una medida cuantitativa de la inercia.

La masa (m) de un cuerpo, como ya señalamos, representa una medida de la inercia de dicho cuerpo y su unidad fundamental en el Sistema Internacional es el kilogramo (kg), mismo que resulta de sustituir las unidades correspondientes de fuerza y aceleración. Veamos:

$$m = \frac{F}{a} = \frac{\text{N}}{\text{m/s}^2} = \frac{\text{kg m/s}^2}{\text{m/s}^2} = \text{kg}$$

En el Sistema CGS la unidad de masa es el gramo (g): 1 kg = 1 000 g.

La Segunda Ley de Newton también relaciona la aceleración con la masa de un cuerpo, pues señala claramente que una fuerza constante acelera más a un objeto con menor masa que a uno con mayor masa. Compruebe lo anterior al empujar un carro de los que se usan en las tiendas de autoservicio y observará que al moverlo cuando está vacío exigirá menor esfuerzo que cuando está lleno.

Comprenderemos la relación entre la magnitud de la aceleración y la masa del cuerpo, al realizar la siguiente actividad:

A un carrito de 40 g le aplicamos una fuerza y observamos cuál fue su aceleración. Ahora le aplicamos la misma fuerza, pero antes le agregamos una masa equivalente a 40 g, de tal manera que su masa se duplique; la magnitud de su aceleración será $\frac{a}{2}$.

Al triplicar la masa del carrito agregándole otros 40 g y al aplicarle la misma fuerza, la magnitud de la aceleración será $\frac{a}{3}$ o $\frac{a}{4}$ si cuadruplicamos su masa. De lo anterior concluimos que cuando la fuerza aplicada es constante, la magnitud de la aceleración de un cuerpo es inversamente proporcional a su masa; en forma matemática puede escribirse como:

$$a \propto \frac{1}{m}$$

Al observar y cuantificar los efectos de la fuerza y la masa sobre la aceleración de los cuerpos se llega al enunciado de la Segunda Ley de Newton: toda fuerza resultante diferente de cero al ser aplicada a un cuerpo le produce una aceleración en la misma dirección en que actúa. La magnitud de dicha aceleración es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza aplicada e inversamente proporcional a la masa del cuerpo.

Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$a = \frac{F}{m}$$

donde: a = magnitud de la aceleración en m/s^2 o cm/s^2

F = magnitud de la fuerza aplicada en newtons (N) o dinas

m = masa del cuerpo en kilogramos (kg) o gramos (g)

De esta expresión podemos despejar a la magnitud de la fuerza, lo cual nos permitirá comprender con mayor facilidad el significado del **newton como unidad de fuerza en el Sistema Internacional**:

$$F = ma$$

Sustituyendo las unidades de masa y aceleración en la expresión anterior tenemos:

$$\text{kg m/s}^2 = \text{newton (N)}$$

Por definición, se aplica una fuerza cuya magnitud es de un newton cuando a un cuerpo cuya masa es de un kilogramo se le imprime una aceleración cuya magnitud es de un metro por segundo cuadrado.

La equivalencia entre el kilogramo fuerza, está dada por:

$$1\ kg_f = 9.8\ \text{N}$$

Como la magnitud del peso de un cuerpo representa la magnitud de la fuerza con que la Tierra atrae a la masa de dicho cuerpo, entonces:

$$P = mg \therefore m = \frac{P}{g}$$

De donde la Segunda Ley de Newton puede escribirse también como:

$$F = \frac{P}{g}a$$

donde: F = magnitud de la fuerza aplicada al cuerpo en newtons (N)

P = magnitud del peso del cuerpo en newtons (N)

g = magnitud de la aceleración de la gravedad = 9.8 m/s^2

a = magnitud de la aceleración que recibe el cuerpo en m/s^2

Recuerde que el peso de un cuerpo representa una fuerza y, por tanto, es una magnitud vectorial, cuya dirección es vertical y su sentido está dirigido siempre hacia el centro de la Tierra. La magnitud del peso de un cuerpo depende de la magnitud de fuerza de gravedad y se mide en newtons en el Sistema Internacional. Su magnitud se calcula al multiplicar la masa del cuerpo por la magnitud de la aceleración de la gravedad: $P = mg$.

Tercera ley de Newton o ley de la acción y la reacción

Para comprender el significado de esta ley, que es conocida también como la ley de las interacciones, analice los siguientes hechos:

1. Cuando se patea una pelota de fútbol (acción) se ejerce una fuerza sobre ella que la impulsa, pero a su vez, la pelota ejerce otra fuerza (reacción) de la misma intensidad o módulo, en la misma dirección, pero en sentido contrario y que se manifiesta claramente por el efecto que la patada produce en el pie (figura 5.6). ¿Qué sucedería si en vez de patear una pelota se patea con fuerza una roca?



figura 5.6

La acción que produce la fuerza que aplicamos cuando pateamos una pelota, ocasiona una fuerza de reacción que se manifiesta sobre nuestro pie.

2. Cuando caminamos, debido a la fuerza de fricción entre nuestros zapatos y el suelo, empujamos al suelo en un sentido (acción) y el suelo nos empuja de manera que nos desplazamos en sentido contrario (reacción).

3. Un imán se acerca a un clip y se observa cómo el imán atrae al clip (acción); sin embargo, el clip también atrae al imán (reacción), con la misma intensidad y dirección, pero con sentido contrario (figura 5.7).



figura 5.7

El imán atrae a los clips con la misma fuerza que éstos atraen al imán.

4. Debido al escape de los gases por la abertura inferior de la cámara de combustión de un cohete (acción) se produce el empuje necesario para su ascenso (reacción).

5. Cuando nos paramos sobre cualquier superficie ejercemos sobre ésta una fuerza hacia abajo (acción) y al mismo tiempo la superficie ejerce una fuerza hacia arriba bajo nuestro cuerpo (reacción). La intensidad y dirección de las fuerzas son las mismas, pero en sentido contrario.

Estos cuantos ejemplos nos permiten concluir que siempre que un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro cuerpo, éste también ejerce una fuerza sobre aquél, de la misma intensidad o módulo, en la misma dirección, pero en sentido contrario. La Tercera Ley o Ley de la acción y la reacción, se puede enunciar de la siguiente manera:

A toda acción corresponde una reacción de la misma magnitud o intensidad, en la misma dirección pero con diferente sentido.

Para interpretar correctamente esta ley debemos tomar en cuenta que la fuerza que produce la acción actúa sobre un cuerpo y la fuerza de reacción actúa sobre otro. Por tanto, nunca actúan sobre el mismo cuerpo, sino que son una pareja de fuerzas que obran sobre distintos cuerpos, razón por la cual no producen equilibrio.

Pensemos en lo que sucede al empujar un automóvil como el de la figura 5.8.

Al empujar el carro hacia adelante, éste ejerce una reacción igual, pero en sentido opuesto; sin embargo, se

mueve, pues al aplicar la fuerza al carro estamos empujando hacia atrás el suelo con nuestro pie, por consiguiente, la Tierra nos empuja con una fuerza mayor que la aplicada para empujar al carro, de ahí que la resultante de estas fuerzas es la que logra mover el coche.

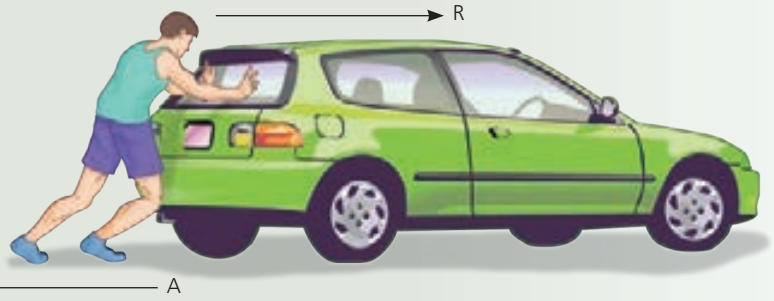


figura 5.8

El coche logra moverse porque la fuerza que produce la acción (A) actúa sobre un cuerpo (la Tierra) y la fuerza de reacción (R) actúa sobre otro (el coche).

Resolución de problemas aplicando las leyes de Newton

1 Calcular la magnitud de la aceleración que produce una fuerza cuya magnitud es de 50 N a un cuerpo cuya masa es de 5000 g. Expresar el resultado en m/s².

Solución:

Datos

$a = ?$

$F = 50$ N

$m = 5000$ g $= 5$ kg

Fórmula

$$a = \frac{F}{m}$$

Sustitución y resultado

$$a = \frac{50 \text{ kg m/s}^2}{5 \text{ kg}} = 10 \text{ m/s}^2$$

2 Calcular la masa de un cuerpo si al recibir una fuerza cuya magnitud de 100 N le produce una aceleración cuya magnitud es de 200 cm/s². Exprese el resultado en kg.

Solución:

Datos

$m = ?$

$F = 100$ N

$a = 200$ cm/s² $= 2$ m/s²

Fórmula

$a = \frac{F}{m}$ despejando m se obtiene:

$$m = \frac{F}{a}$$

Sustitución y resultado

$$m = \frac{100 \text{ kg m/s}^2}{2 \text{ m/s}^2} = 50 \text{ kg}$$

3 Determinar la magnitud de la fuerza que recibe un cuerpo de 30 kg, la cual le produce una aceleración cuya magnitud es de 3 m/s².

Solución:

Datos

$F = ?$

$m = 30$ kg

$a = 3$ m/s²

Fórmula

$$a = \frac{F}{m} \therefore F = ma$$

Sustitución y resultado

$$F = 30 \text{ Kg} \times 3 \text{ m/s}^2 = 90 \text{ kg m/s}^2 = 90 \text{ N}$$

4 Determinar la magnitud del peso de un cuerpo cuya masa es de 60 kg.

Solución:

Datos

$P = ?$

$m = 60$ kg

$g = 9.8$ m/s²

Fórmula

$P = mg$

Sustitución y resultado

$$P = 60 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 588 \text{ N}$$

5 Calcular la masa de un cuerpo cuyo peso tiene una magnitud de 980 N.

Solución:

Datos

$m = ?$

$P = 980$ N

$g = 9.8$ m/s²

Fórmula

$$P = mg \therefore m = \frac{P}{g}$$

Sustitución y resultado

$$m = \frac{980 \text{ kg m/s}^2}{9.8 \text{ m/s}^2} = 100 \text{ kg}$$

6 Determinar la magnitud de la fuerza neta que debe aplicarse a un cuerpo cuyo peso tiene una magnitud de 400 N para que adquiera una aceleración cuya magnitud es de 2 m/s².

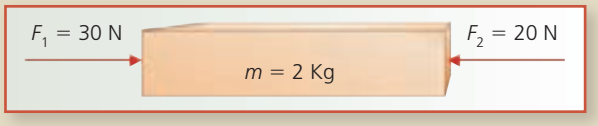
Solución:

Datos	**Fórmula**
$F = ?$	$F = \frac{P}{g}a$
$P = 400$ N	
$a = 2$ m/s²	
$g = 9.8$ m/s²	

Sustitución y resultado

$$F = \frac{400 \text{ kg m/s}^2}{9.8 \text{ m/s}^2} \times 2 \text{ m/s}^2 = 81.6 \text{ N}$$

7 Calcular la magnitud de la aceleración que recibirá el siguiente cuerpo como resultado de las fuerzas aplicadas:



Solución:

Datos	**Fórmulas**
$a = ?$	$F_R = F_1 + F_2$
$F_1 = 30$ N	
$F_2 = -20$ N	$a = \frac{F_R}{m}$
$m = 2$ kg	

Sustitución y resultado

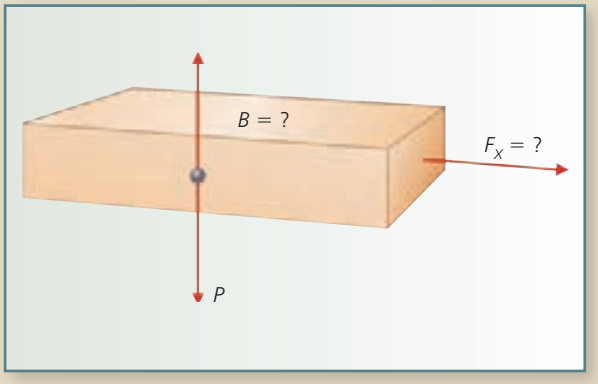
La magnitud de F_R se obtiene restando F_2 de F_1, ya que F_2 es de sentido contrario a F_1.

$$F_R = 30 \text{ N} + (-20 \text{ N}) = 10 \text{ N}$$

La magnitud de la aceleración es igual a:

$$a = \frac{F_R}{m} = \frac{10 \text{ kg m/s}^2}{2 \text{ kg}} = 5 \text{ m/s}^2$$

8 Un bloque cuya masa es de 4 kg es jalado mediante una fuerza horizontal (F_x), como se ve en la siguiente figura:



Calcular:

a) La magnitud de la fuerza de reacción (R) que ejerce el piso sobre el bloque.

b) La magnitud de la fuerza horizontal (F_x) que se requiere para dar al bloque una velocidad horizontal cuya magnitud es de 6 m/s en 2 segundos a partir del punto de reposo.

Considere despreciable la fricción entre el piso y el bloque.

Solución:

Datos	**Fórmulas**
$m = 4$ kg	a) $P = mg$
a) $R = ?$	b) $F_x = ma_x$
b) $F_x = ?$	c) $F_y = ma_y$
$v_x = 6$ m/s	
$t = 2$ s	
$g = 9.8$ m/s²	

Sustitución y resultados

a) Para calcular la magnitud de la fuerza de reacción que el piso ejerce sobre el bloque, con la Segunda Ley de Newton determinamos la suma de fuerzas en el eje vertical:

$$\Sigma F_y = R + (-P) = ma_y$$

El signo (−) del peso es porque su sentido es hacia abajo, como el bloque se desplaza únicamente en forma horizontal no hay movimiento vertical; por tanto, la aceleración vertical (a_y) es cero.

donde: $\Sigma F_y = ma_y = 0 \therefore R - P = 0$

Lo anterior indica que la magnitud de la fuerza de reacción (R) es igual a la magnitud del peso del cuerpo (P):

$$R = P = mg = 4 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 39.2 \text{ N}$$

b) Para calcular la magnitud de la fuerza horizontal (F_x) requerida para mover el bloque con una velocidad horizontal (v_x) con una magnitud de 6 m/s en 2 s, tenemos que la única fuerza que actúa sobre el eje horizontal es la fuerza de la cual calcularemos, su magnitud de donde, según la segunda ley de Newton:

$$F_x = ma_x$$

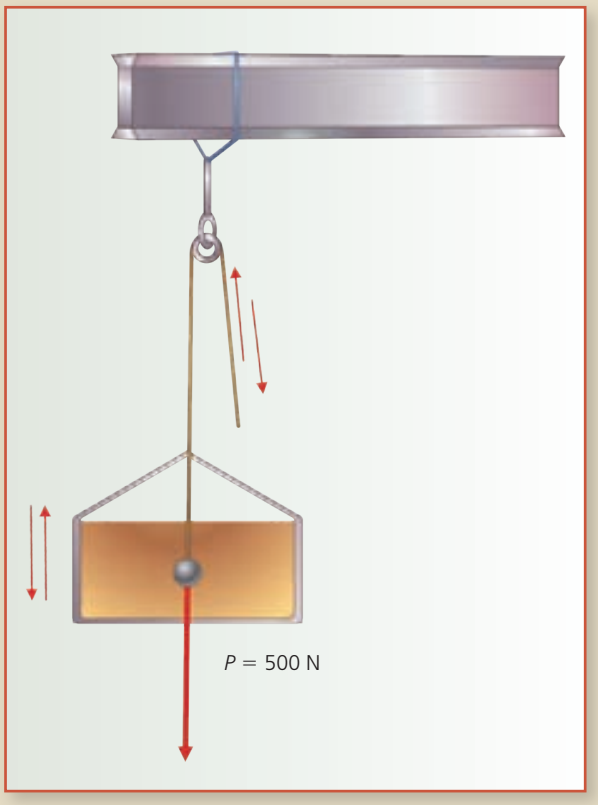
Para calcular la magnitud de la aceleración horizontal (a_x):

$$a_x = \frac{v_{x-} v_0}{t} = \frac{6\ \text{m/s} - 0}{2\ \text{s}} = 3\ \text{m/s}^2$$

donde:

$$F_x = ma_x = 4\ \text{kg} \times\ 3\ \text{m/s}^2 = 12\ \text{N}$$

9 En una polea se suspende un cuerpo cuyo peso tiene una magnitu de 500 N, como se ve en la siguiente figura.



Calcular:

a) La magnitud de la tensión en el cable que lo sujeta cuando desciende con una aceleración cuya magnitud es de 2 m/s^2.

b) La magnitud de la tensión en el cable que lo sujeta cuando asciende con la misma aceleración.

Datos

$P = 500$ N

a) $T_{\text{al descender}} = ?$

b) $T_{\text{al ascender}} = ?$

$a_y = 2\ \text{m/s}^2$

$g = 9.8\ \text{m/s}^2$

Fórmulas

Como el movimiento es vertical:

$$\Sigma F_y = P + T = ma_y$$

Como: $P = mg$

al despejar m tenemos: $m = \frac{P}{g}$

Sustitución y resultados

a) Si el cuerpo estuviera en reposo sostenido por el cable, la magnitud de tensión en éste sería igual a la magnitud del peso del cuerpo: $T = P$, pero como tiene un movimiento descendente el peso debe ser mayor que la tensión. De donde, sustituyendo en la fórmula de la suma de las fuerzas en el eje vertical (ΣF_y), se tiene que ésta es igual al producto de la masa del cuerpo (m) por la magnitud de su aceleración (a_y).

Por tanto:

$$F_y = P + T = ma_y$$

como $$m = \frac{P}{g}$$

$$\Sigma F_y = P + T = \frac{P}{g} a_y$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$\Sigma F_y = -500\ \text{N} + T = \frac{-500\ \text{N}}{-9.8\ \text{m/s}^2}(-2\ \text{m/s}^2)$$

Recuerde: El signo (−) tanto del peso como el de la aceleración de la gravedad y el de la aceleración del cuerpo es porque actúan en dirección vertical con sentido hacia abajo.

$$\Sigma Fy = -500\ \text{N} + T = -\ 102.04\ \text{N}$$

Despejando a la tensión (T) tenemos:

$$T = 500\ \text{N} - 102.04\ \text{N} = 397.96\ \text{N}$$

b) Al ascender el cuerpo con una aceleración vertical (a_y) la tensión en el cable debe ser mayor al peso del cuerpo. Sustituyendo valores en la ecuación:

$$\Sigma F_y = P + T = \frac{P}{g} a_y$$

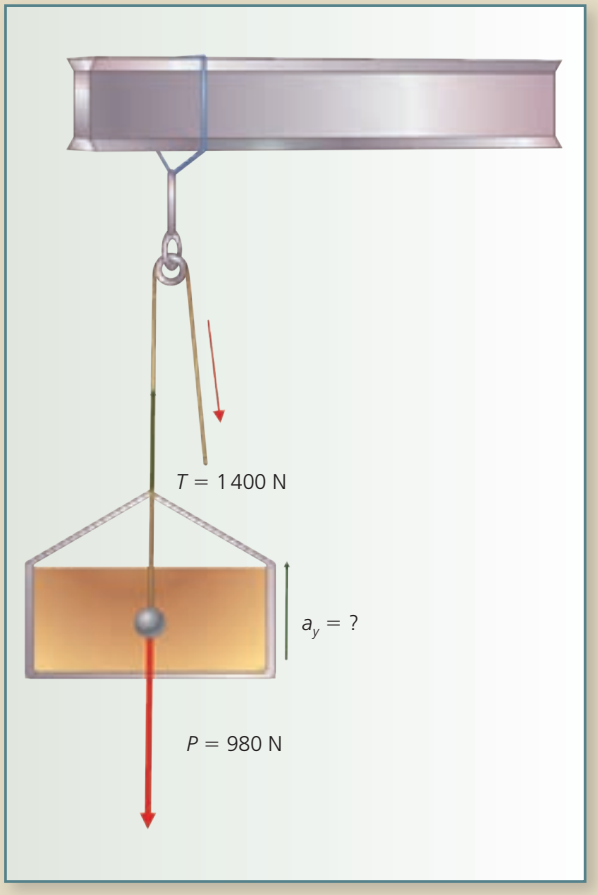
Observamos que los valores son los mismos que sustituimos para responder el inciso a) del problema, pero ahora el signo de la aceleración del cuerpo será positivo, pues actúa hacia arriba toda vez que el cuerpo sube. El signo del peso y de la aceleración de la gravedad sigue siendo (−) porque actúa hacia abajo.

$$\Sigma F_y = -500\ \text{N} + T$$
$$= \frac{-500\ \text{N}}{-9.8\ \text{m/s}^2} \times 2\ \text{m/s}^2$$
$$= -500\ \text{N} + T = 102.04\ \text{N}$$

Despejando la tensión tenemos:

$$T = 500\ \text{N} + 102.04\ \text{N} = 602.04\ \text{N}$$

10 Con una polea se eleva un cuerpo cuyo peso es de 980 N, aplicando una fuerza cuya magnitud es de 1 400 N, como se ve en la figura. Determine la magnitud de la aceleración que adquiere el cuerpo.



Solución:

Datos

$P = 980$ N

$T = 1\,400$ N

$a_y = ?$

Fórmulas

$\Sigma F_y = P + T = ma_y$

como $m = \dfrac{P}{g}$

$\Sigma F_y = P + T = \dfrac{P}{g} a_y$

Sustitución y resultado

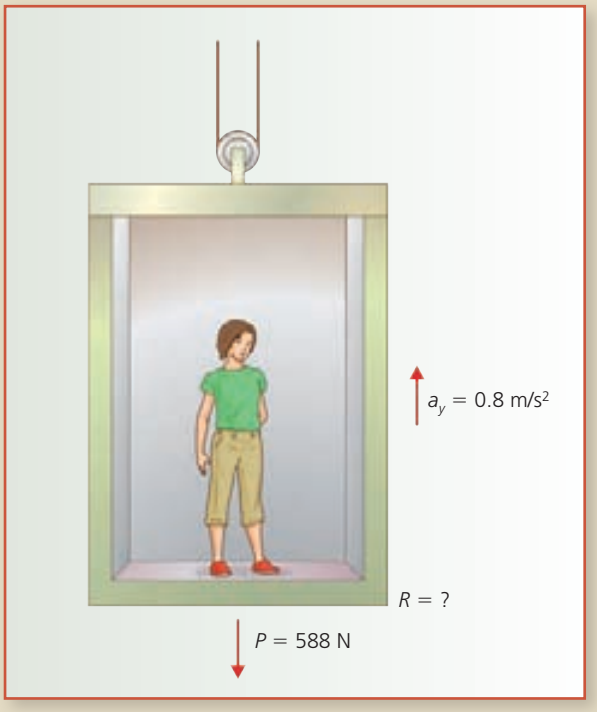
$$-980 \text{ N} + 1\,400 \text{ N} = \frac{-980 \text{ N}}{-9.8 \text{ m/s}^2} a_y$$

$$420 \text{ N} = 100 \text{ kg } a_y$$

Despejando la magnitud de la aceleración del cuerpo tenemos:

$$a_y = \frac{420 \text{ kg m/s}^2}{100 \text{ kg}} = 4.2 \text{ m/s}^2$$

11 Una persona pesa 588 N y asciende por un elevador con una aceleración cuya magnitud es de 0.8 m/s^2.



Calcular:

a) La magnitud del peso aparente de la persona, es decir, la fuerza de reacción (R) que ejercerá el piso del elevador al subir.

b) La magnitud del peso aparente de la persona al bajar.

Solución:

Datos

$P = 588$ N

$a_y = 0.8$ m/s^2

$R = ?$

$g = 9.8$ m/s^2

Fórmula

$\Sigma F_y = P + R = \dfrac{P}{g} a_y$

a) Si el elevador estuviera en reposo la magnitud de la fuerza de reacción del piso del elevador sería igual a la magnitud del peso de la persona, pero como sube, la magnitud del peso aparente de la persona aumenta, toda vez que la magnitud de la fuerza de reacción del piso del elevador debe ser mayor a la magnitud del peso de la persona para lograr que suba. Por tanto:

$$\Sigma F_y = -588 \text{ N} + R = \frac{-588 \text{ N}}{-9.8 \text{ m/s}^2} \times 0.8 \text{ m/s}^2$$

$$= -588 \text{ N} + R = 48 \text{ N}$$

Nota: Recuerde que el signo (−) del peso de la persona y el de la aceleración de la gravedad se debe a que actúan en dirección vertical hacia abajo.

La magnitud del peso aparente lo encontramos al despejar la magnitud de la fuerza de reacción (R).

$$R = 588\text{ N} + 48\text{ N} = 636\text{ N}$$

b) Al bajar, la persona se siente más ligera, es decir, como si de repente pesara menos; esto se debe a que al descender con cierta aceleración, la magnitud de la fuerza de reacción del piso del elevador es menor a la magnitud de su peso. (Si en un momento dado un elevador bajara con una aceleración de 9.8 m/s^2, la persona que estuviera dentro de él sentiría que ha desaparecido su peso, pues en realidad estaría sufriendo una caída libre al no existir ninguna fuerza de reacción con el piso del elevador.)

Para calcular la magnitud del peso aparente de la persona al descender, sustituimos los mismos valores en la ecuación, pero ahora el signo de la aceleración (a_y) es negativo pues actúa hacia abajo.

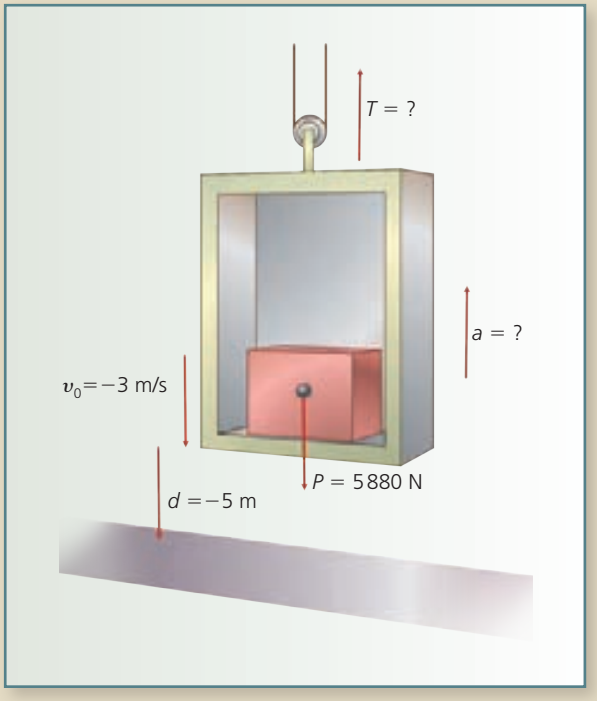
$$\Sigma F_y = -588\text{ N} + R = \frac{-588\text{ N}}{-9.8\text{ m/s}^2} \times -0.8\text{ m/s}^2$$

$$= -588\text{ N} + R = -48\text{ N}$$

La magnitud del peso aparente lo encontramos al despejar el valor de la fuerza de reacción (R):

$$R = 588\text{ N} - 48\text{ N} = 540\text{ N}$$

12 Un elevador y su carga pesan 5 880 N. Calcular la magnitud de la tensión del cable del elevador si éste desciende con una velocidad cuya magnitud de 3 m/s y se detiene a una distancia de 5 m, manteniendo una aceleración constante, como se muestra en la siguiente figura:



Solución:

Para un cuerpo cuyo movimiento es con una aceleración constante, tenemos:

Datos	**Fórmulas**
$P = 5\,880$ N	$v_f^2 = v_0^2 + 2ad$
$T = ?$	De la segunda ley de Newton:
$v = 3$ m/s	$\Sigma F_y = P + T = \frac{P}{g} a_y$
$d = 5$ m	
$a = ?$	

Para calcular la magnitud de la tensión del cable del elevador debemos calcular la magnitud de la aceleración que experimenta hacia arriba, a fin de lograr que se detenga al ir descendiendo el elevador. Para ello, aplicamos la fórmula para calcular la magnitud de la velocidad final (v_f), vista en la parte correspondiente a cinemática (unidad 4, sección 9: Deducción de las ecuaciones utilizadas en el MRUA) empleada cuando el movimiento es rectilíneo uniformemente acelerado:

$$v_f^2 = v_0^2 + 2ad$$

Despejando a la magnitud de la aceleración:

$$a = \frac{v_f^2 - v_0^2}{2d}$$

Sustituyendo valores:

$$a = \frac{0 - (-3\text{ m/s})^2}{2\,(-5\text{ m})} = 0.9\text{ m/s}^2$$

La velocidad final es cero, pues se detiene a los 5 m, la velocidad inicial y la distancia son (−) porque actúan hacia abajo.

Para calcular la magnitud de la tensión (T) aplicamos la segunda ley de Newton.

$$\Sigma F_y = P + T = \frac{P}{g} a$$

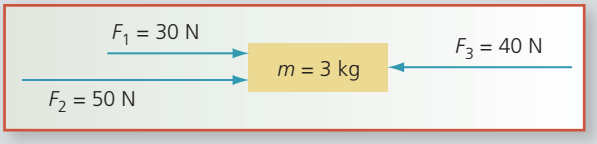
$$\Sigma F_y = -5880\text{ N} + \frac{-5880\text{ N}}{-9.8\text{ m/s}^2} \times 0.9\text{ m/s}^2$$

$$= -5\,880\text{ N} + T = 540\text{ N}$$

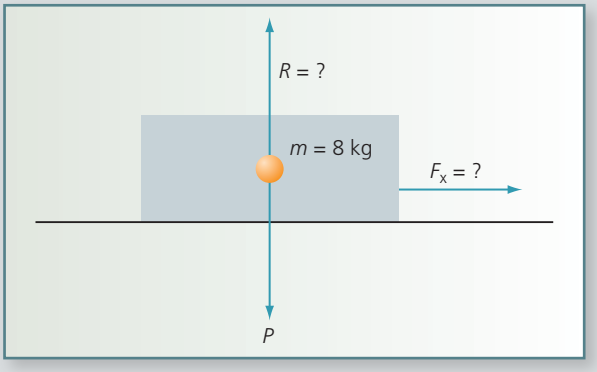
$$T = 5\,880\text{ N} + 540\text{ N} = 6\,420\text{ N}$$

Ejercicios propuestos

1. Determine la magnitud de la fuerza que se debe aplicar a un carrito de baleros que tiene una masa de 40 kg para que cambie la magnitud de su velocidad de 0 a 3 m/s en un segundo.
2. Calcule la masa de un cuerpo en kilogramos si al recibir una fuerza cuya magnitud es de 300 N le produce una aceleración con una magnitud de 150 cm/s^2.
3. Determine la magnitud de la aceleración en m/s^2 que le produce una fuerza cuya magnitud es de 75 N a un cuerpo con una masa de 1 500 g.
4. Calcular la magnitud de la fuerza que se le aplica a un cuerpo de 10 kg de masa si adquiere una aceleración con una magnitud de 2.5 m/s^2.
5. Hallar la magnitud del peso de un cuerpo cuya masa es de 100 kg.
6. Determinar la masa de un cuerpo cuyo peso tiene una magnitud de 1 500 N.
7. Calcular la magnitud de la fuerza neta que debe aplicarse a un cuerpo cuyo peso tiene una magnitud de 25 N para que adquiera una aceleración cuya magnitud es de 3 m/s^2.
8. Determinar la magnitud de la aceleración que recibirá el cuerpo de la figura siguiente, como resultado de las fuerzas aplicadas.



9. Un bloque cuya masa es de 8 kg es jalado mediante una fuerza horizontal, como se ve en la figura:



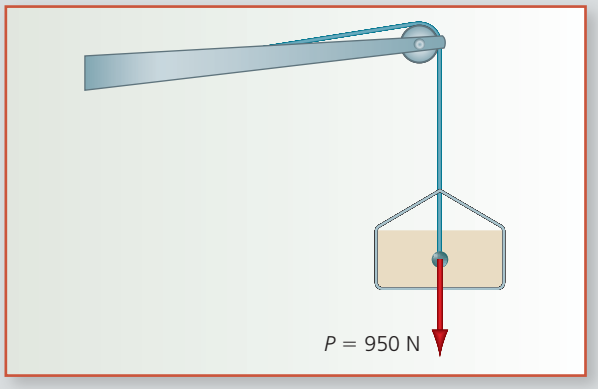
Calcular:

a) La magnitud de la fuerza de reacción (R) que ejerce el piso sobre el bloque.

b) La magnitud de la fuerza horizontal (F_x) que se requiere para dar al bloque una velocidad horizontal con una magnitud de 4 m/s en 1.5 s a partir del reposo.

Desprecie la fricción entre el piso y el bloque.

10. En un montacargas está suspendido un cuerpo cuyo peso tiene una magnitud de 950 N, como se ve en la figura:



Calcular:

a) La magnitud de la tensión en el cable que lo sujeta cuando desciende con una aceleración con una magnitud de 3 m/s^2.

b) La magnitud de la tensión en el cable que lo sujeta cuando asciende con la misma magnitud de aceleración.

11. Si un elevador vacío tiene un peso con una magnitud de 2 500 N y suben a él cuatro personas que pesan en total 2 352 N. Determinar la magnitud de la tensión del cable del elevador, si éste sube con una aceleración constante cuya magnitud es de 1.3 m/s^2.
12. Un montacargas eleva un cuerpo cuyo peso tiene una magnitud de 2 310 N con una fuerza cuya magnitud es de 2 935 N. Determine la magnitud de la aceleración con que sube el cuerpo.
13. Una persona pesa 686 N y asciende por un elevador con una aceleración cuya magnitud es de 2 m/s^2.

Calcular:

a) El peso aparente de la persona, es decir, la magnitud de la fuerza de reacción que ejercerá el piso del elevador al subir.

b) La magnitud del peso aparente de la persona al bajar.

14. Un elevador y su carga pesan 7 458 N. Calcular la magnitud de la tensión del cable del elevador si éste desciende a una velocidad cuya magnitud es de 4 m/s y se detiene a una distancia de 6 m, manteniendo una aceleración constante.

3 Gravitación universal

El hombre ha observado desde tiempos muy remotos a los astros y al Universo en general, tratando de explicarse el porqué de su origen, su constitución, sus movimientos y su evolución. Debido a las limitaciones que tenían para hacer una interpretación correcta del Universo, los hombres de la antigüedad interpretaban lo que sus ojos veían. Por lo cual consideraban a la Tierra sin movimiento y como el centro del Universo, pues creían que todo giraba alrededor de ella (Teoría Geocéntrica).

Hiparco, astrónomo griego que vivió en 125 a.C. aproximadamente, logró hacer una lista con más de mil estrellas. Sin embargo, afirmaba que la Tierra era plana y ocupaba el centro del Universo.

Claudio Ptolomeo, geógrafo y astrónomo griego (siglo II d.C.), basándose en las enseñanzas equivocadas de Hiparco proponía sus teorías considerando a la Tierra inmóvil y plana; en ellas suponía a los planetas girando alrededor de la Tierra describiendo trayectorias circulares. Fue considerado un gran sabio, sus ideas perduraron durante más de 1300 años.

Nicolás Copérnico, astrónomo polaco (1473-1543), corrigió la teoría de Ptolomeo y basándose en la teoría de **Aristarco** (astrónomo griego que en el siglo III a.C. había dicho que la Tierra se movía alrededor del Sol), propuso que la Tierra era redonda y giraba sobre su propio eje cada 24 horas, además de dar una vuelta alrededor del Sol cada 365 días. No obstante, lo revolucionario de sus ideas chocaba completamente con las ideas de su época, motivo por el cual su obra sobre las revoluciones de las esferas celestes fue publicada hasta 1543, año en el que murió. La Iglesia Católica condenó como prohibido el libro de Copérnico, pues iba en contra de las creencias religiosas.

Tycho Brahe, astrónomo danés (1546-1601), logró descubrir algunas leyes sobre el movimiento de la Luna, además calculó la posición de 777 estrellas y obtuvo datos interesantes sobre los cometas. Todo lo anterior lo realizó gracias a las facilidades proporcionadas por Federico II, rey de Dinamarca, quien le mandó construir un observatorio asignándole un sueldo para que pudiera realizar sus investigaciones. Cuando el rey Federico II murió, se vio obligado a marcharse a Praga, lugar en donde tuvo como discípulo a Johannes Kepler.

Johannes Kepler, astrónomo alemán (1571-1630), aprovechó todas las enseñanzas de Copérnico, mismas que aunadas a su gran interés por encontrar cómo se movían los planetas alrededor del Sol, después de muchos años de estudio, pudo descubrir que éstos no se movían formando círculos sino describiendo órbitas elípticas (ovaladas). Sus grandes estudios le permitieron formular tres leyes sobre el movimiento de los planetas, las cuales actualmente sirven de base a la astronomía.

Primera ley de Kepler

Todos los planetas se mueven alrededor del Sol siguiendo órbitas elípticas, en las cuales el Sol ocupa uno de los focos (figura 5.9).

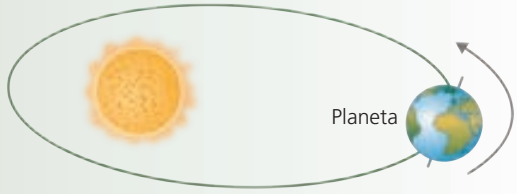


figura 5.9
Los planetas se mueven alrededor del Sol siguiendo órbitas elípticas.

Segunda ley de Kepler

El radio vector que enlaza al Sol con un planeta recorre áreas iguales en tiempos iguales.

Esta ley explica el porqué es posible que los planetas giren en órbitas elípticas manteniéndose cerca del Sol por la fuerza de gravedad sin llegar a ser absorbidos por él; esto se debe a la variación de la magnitud de la velocidad con que se mueven los planetas en el espacio, mientras más cerca están del Sol más rápido se mueven y viceversa. Por ejemplo: el planeta Mercurio, con una distancia de 58 millones de kilómetros, es el más cercano al Sol y tarda 88 días en recorrer su órbita con una velocidad media de 50 km/s. La Tierra, a una distancia de 149 millones de kilómetros del Sol, tarda un año en recorrer su órbita con una velocidad media cuya magnitud es de 30 km/s, que equivalen a 108000 km/h.

En la figura 5.10 se observa el movimiento de la Tierra alrededor del Sol. La Tierra se mueve sobre su órbita a una velocidad variable, la cual aumenta su magnitud conforme se aproxima al Sol. Kepler descubrió que en tiempos iguales las áreas descritas por el radio vector que va del Sol a la Tierra son iguales: $a_1 = a_2$. Por tanto, el tiempo en que

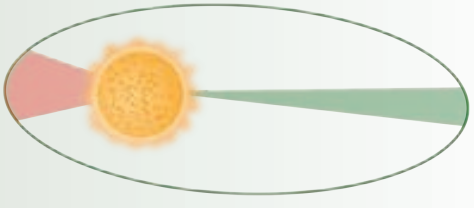


figura 5.10
En tiempos iguales las áreas descritas por el radio vector que va del Sol a la Tierra son iguales: $a_1 = a_2$.

el radio vector pasa del punto A al B es el mismo que tarda en pasar de C a D.

Tercera ley de Kepler

Los cuadrados de los periodos de revolución sideral de los planetas (t^2) son proporcionales a los cubos de sus distancias medias al Sol (d^3).

De donde la relación $\frac{t^2}{d^3}$ es la misma para todos los planetas, por lo que matemáticamente la Tercera Ley de Kepler se escribe como:

$$\frac{t^2}{d^3} = K$$

donde: K = constante para todos los planetas

Con sus leyes, Kepler explicó con precisión la cinemática del sistema planetario sin llegar a la explicación dinámica del mismo, es decir, cuáles son las causas que lo originan. Sin embargo, su contribución a la astronomía es digna de elogio si se considera que sus observaciones las realizó cuando todavía no se inventaba el telescopio.

Galileo Galilei, astrónomo y físico italiano (1564-1642), escuchó decir a principios de 1609, que en los Países Bajos habían inventado un telescopio. En diciembre de ese mismo año, Galileo construyó un telescopio con el cual se podían ver los cuerpos 30 veces más grandes que a simple vista. Con este instrumento pudo observar un considerable número de estrellas hasta entonces desconocidas. Descubrió en la Vía Láctea gran cantidad de estrellas imposibles de ver sin la ayuda del telescopio. Al estudiar la Luna, notó la presencia de montes y otras irregularidades sobre su superficie. Observó las manchas del Sol y debido al movimiento de ellas demostró que el Sol giraba alrededor de su eje en un periodo de 27 días. También encontró cuatro cuerpos girando alrededor de Júpiter y determinó la periodicidad de cada uno de ellos. Descubrió que Venus presentaba fases similares a las de la Luna, con esto explicó que los planetas brillan porque reflejan la luz del Sol. Todos los descubrimientos hechos por Galileo apoyaban las teorías de Copérnico, las cuales consideraban que la Tierra y los demás planetas giraban alrededor del Sol. Ante tales hechos, la Iglesia de Roma calificó de herejía a la doctrina de Copérnico, pues estaba en desacuerdo con la Biblia; por tanto, exigió a Galileo que se abstuviera de difundir sus ideas. En 1632 Galileo publicó un libro en el que representaba las teorías de Ptolomeo y de Copérnico por medio de dos personajes, esto provocó que fuera sancionado por la Inquisición y obligado a renunciar públicamente a sus ideas.

Isaac Newton y la ley de la gravitación universal

Newton, el gran físico y matemático inglés, nació en 1642, año en que murió **Galileo Galilei**. Después de estudiar las teorías de **Kepler** sobre el movimiento de los planetas, decidió investigar la causa de que éstos pudieran girar alrededor de órbitas bien definidas.

Desde tiempos remotos, el hombre trató de encontrar una explicación al porqué del peso de un cuerpo, por qué todo cuerpo suspendido en el aire al cesar la fuerza que lo sostiene cae al suelo, por qué todo cuerpo lanzado hacia arriba va disminuyendo la magnitud de su velocidad hasta que se anula y regresa al suelo.

Ahora sabemos que todos los fenómenos anteriores se deben a la existencia de una fuerza llamada gravedad. Aunque todavía no se conoce mucho acerca de la naturaleza de esta fuerza, el hombre trata de estudiar sus efectos sobre los cuerpos.

El primero en describir la forma en que actúa la gravedad fue Newton, quien encontró que todos los cuerpos ejercen entre sí una fuerza de atracción a la cual llamó fuerza gravitacional.

Newton explicó que la atracción gravitatoria mantenía a los planetas en sus órbitas alrededor del Sol, al igual que la misma fuerza mantiene a la Luna en órbita alrededor de la Tierra.

En 1687 Newton publicó su Ley de la Gravitación Universal, en ella expuso que la atracción gravitatoria está en función de la **masa de los cuerpos y de la distancia entre ellos**.

Cuanto mayor masa tenga un cuerpo mayor será la magnitud de la fuerza con que atraerá a los demás cuerpos. Debido a ello, un hombre tiene una menor magnitud de peso en la Luna que en la Tierra, pues la masa de la Tierra es mayor a la de la Luna y, por tanto, también será mayor la magnitud de su fuerza gravitatoria.

La fuerza gravitatoria con la cual se atraen dos cuerpos será mayor a medida que disminuya la distancia existente entre ellos (figura 5.11).



figura 5.11

Dos cuerpos se atraen con una fuerza gravitatoria mayor a medida que disminuye la distancia existente entre ellos.

La Ley de Gravitación Universal se enuncia de la siguiente manera:

Dos cuerpos cualesquiera se atraen con una fuerza cuya magnitud es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.

Matemáticamente se expresa como:

$$F = G\frac{m_1\, m_2}{d^2}$$

donde: F = magnitud de la fuerza de atracción gravitacional en newtons (N) o dinas

G = constante de gravitación universal cuya magnitud en el Sistema Internacional es $G = 6.67 \times 10^{-11}$ Nm²/kg²

m_1 y m_2 = masa de los cuerpos en kilogramos (kg)

d = distancia que hay entre los centros de gravedad de ambos cuerpos en metros (m)

Con la ecuación anterior es posible calcular la fuerza de atracción de dos cuerpos cualesquiera, como una silla y una mesa, una persona con otra, un automóvil y una bicicleta, o el Sol y la Tierra entre otros. Cabe señalar que la fuerza de atracción entre dos cuerpos de poca masa es muy pequeña, razón por la cual **no es observable ningún efecto al acercar dos cuerpos de masa no muy grande**. No sucede esto con la atracción de la Tierra sobre los cuerpos que están sobre su superficie o cerca de ella, pues por su gran masa los atrae hacia su centro con una gran fuerza gravitacional.

Relación entre la magnitud del peso de un cuerpo y la magnitud de la fuerza de gravedad

Descomposición del peso en un plano inclinado

El peso de un cuerpo depende de la fuerza de gravedad; por tal motivo, éste será mayor si es atraído por una fuerza gravitatoria mayor o viceversa. Por ello, un hombre que pese 686 N (70 kg_f) en la Tierra, en la Luna sólo pesará 114.3 N (11.6 kg_f); su masa será la misma, 70 kg, ya que tiene la misma cantidad de materia, pero su peso disminuye a la sexta parte. La razón es que la fuerza de gravedad en la superficie lunar es menor a la fuerza de gravedad en la superficie terrestre, pues como sabemos la Tierra tiene una masa seis veces mayor que la Luna.

El peso de un cuerpo en la Tierra será mayor si éste se encuentra al nivel del mar que si está a cierta altura sobre él. Lo anterior se debe a que la distancia entre el cuerpo y el centro de gravedad de la Tierra es menor al nivel del mar.

Cuando se coloca un cuerpo cualquiera, como el bloque de la figura 5.12, sobre una superficie horizontal, su peso ejerce una acción vertical hacia abajo sobre dicha superficie y como reacción la superficie ejerce una fuerza igual en magnitud al peso del bloque, en la misma dirección, pero con sentido contrario. Esta fuerza recibe el nombre de fuerza de reacción normal (N), toda vez que es perpendicular al plano o superficie horizontal.

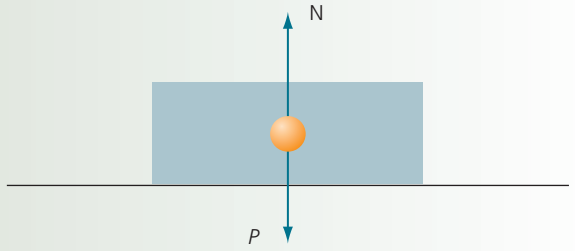


figura 5.12

En una superficie horizontal la magnitud del peso (P) de un cuerpo es igual a la magnitud de la fuerza de reacción normal (N).

En la figura 5.13 vemos un bloque colocado sobre una rampa o plano inclinado que forma un ángulo de 30º respecto al plano horizontal. El peso del bloque experimenta una descomposición vectorial en dos direcciones perpendiculares entre sí, una es normal o perpendicular al plano y la otra es paralela al mismo.

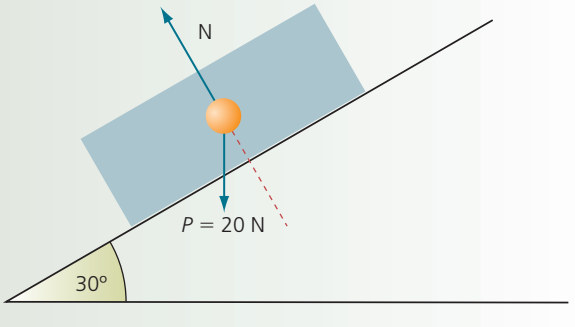


figura 5.13

Bloque colocado sobre un plano inclinado. Su peso se descompone en dos direcciones perpendiculares entre sí.

Para encontrar gráficamente las magnitudes de las componentes rectangulares del peso se procede de la siguiente manera: se representa el plano inclinado por una línea con su ángulo correspondiente respecto al plano horizontal. Se considera al centro del cuerpo como origen del plano coordinado y, a partir de él, se trazan a escala el vector vertical que representa al peso del cuerpo y después sus componentes rectangulares. Una componente es en dirección perpendicular a la línea del plano inclinado y la otra es en dirección paralela al mismo. Por último, sus magnitudes se obtienen al medir sus longitudes de acuerdo con la escala establecida (figura 5.14).

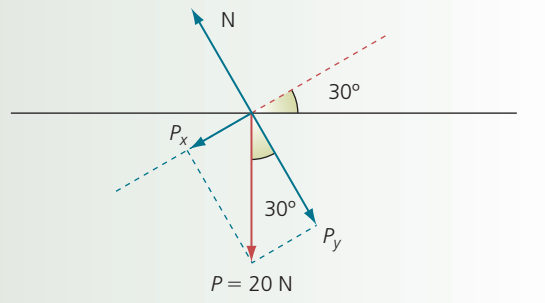


figura 5.14

Descomposición del peso de un cuerpo en un plano inclinado.

Como se observa, el peso del bloque es una fuerza que actúa verticalmente sobre él y se descompone en dos fuerzas menores, P_y que es perpendicular al plano y P_x paralela al mismo. La fuerza de reacción normal (N) es igual y opuesta a la componente P_y del peso. De acuerdo con nuestra escala, las magnitudes respectivas son:

$$P_y = \text{N} = 17.3 \text{ N}$$
$$P_x = 10 \text{ N}$$

La magnitud de las componentes rectangulares obtenidas como resultado de descomponer al peso en un plano inclinado, la podemos calcular analíticamente encontrando la magnitud del cateto adyacente para conocer P_y que es igual a N y la magnitud del cateto opuesto para conocer P_x, toda vez que como se ve en la figura 5.14 tenemos un triángulo rectángulo.

Por tanto:

$$P_y = P \cos 30° = 20 \text{ N} \times 0.8660 = 17.32 \text{ N}$$

como $\text{N} = P_y$

$$\text{N} = 17.32 \text{ N}$$

Cálculo de P_x

$$P_x = P \text{ sen } 30° = 20 \text{ N} \times 0.5 = 10 \text{ N}$$

Debido a la descomposición vectorial que sufre el peso de un cuerpo en un plano inclinado resulta más fácil subir un barril a un camión rodándolo por una rampa que levantarlo en forma vertical.

Campo gravitacional de los cuerpos y su intensidad

Todo cuerpo por el hecho de ser materia tiene un campo gravitatorio, el cual se manifiesta por la fuerza de atracción que se ejerce entre dos cuerpos cualesquiera. De donde el campo gravitacional de un cuerpo es la zona en la cual ejerce su influencia sobre otros cuerpos. A medida que aumenta la distancia, la intensidad del campo gravitatorio de un cuerpo disminuye notablemente; no obstante, se dice que se extiende hasta el **infinito**.

Toda masa (m) origina un campo gravitacional a su alrededor, pero evidentemente una masa pequeña producirá un campo poco intenso; es por ello que su acción no logra mover a otro cuerpo cercano a él. El Sol, estrella alrededor de la cual gravitan la Tierra y los demás astros del Sistema Solar, tiene una masa equivalente a 333 432 veces la de la Tierra, debido a ella la intensidad de su campo gravitacional es muy grande. Nuestro planeta, cuya masa es de 5.9×10^{24} kg, origina un campo gravitacional a su alrededor provocando que cualquier cuerpo localizado dentro de él reciba la acción de una fuerza con dirección dirigida hacia el centro de la Tierra. En virtud de que la fuerza se ejerce sobre la masa, si utilizamos una masa de prueba es posible conocer la intensidad del campo gravitacional en cada punto del espacio. Dicha masa de prueba equivale a la unidad de masa. Por tanto, la magnitud de la fuerza que ejerce el campo gravitacional terrestre sobre la unidad de masa en determinado punto, representará la magnitud de la intensidad del campo gravitacional en dicho punto.

Definimos como intensidad de campo gravitacional en un punto cualquiera a la magnitud de la fuerza por unidad de masa que actúa sobre un cuerpo colocado en ese punto.

De la segunda ley de Newton tenemos que:

$$F = mg \therefore g = \frac{F}{m}$$

donde: g = intensidad de campo gravitacional en un punto determinado en N/kg = m/s²

F = magnitud de la fuerza ejercida por el campo en un punto determinado en newtons (N)

m = masa del cuerpo que es atraído por el campo en kilogramos (kg)

Por ejemplo, si en un lugar la aceleración de la gravedad tiene una magnitud de 9.8 m/s², entonces habrá una fuerza con una magnitud de 9.8 N sobre un cuerpo de 1 kg colocado en dicho punto, de manera que la intensidad del campo gravitacional de la Tierra en ese punto sería de 9.8 N/kg y le provocaría al cuerpo una aceleración con una magnitud de 9.8 m/s². En general, para puntos localizados cerca de la superficie de la Tierra se considera una intensidad del campo gravitacional igual a 9.8 N/kg. Como el peso de un cuerpo representa la magnitud de la fuerza que sobre él ejerce el campo gravitacional, tenemos que para conocer cuál es la magnitud del peso de un cuerpo cualquiera sólo debemos multiplicar la masa (m) del cuerpo por el valor de la intensidad del campo gravitacional (g):

$$P = mg$$

El cosmos

Cuando nos referimos al **cosmos**, estamos hablando del Universo como un todo, incluidos los planetas y sus

satélites, los cometas y meteoros, las estrellas y la materia interestelar, los sistemas de estrellas llamados galaxias, así como de los conjuntos de galaxias llamados cúmulos galácticos. La **astronomía** es la ciencia que estudia los astros (también llamados cuerpos celestes) del Universo.

A pesar de su gran tamaño, la Vía Láctea es sólo uno de los muchos sistemas de estrellas, llamados galaxias, que conforman el Universo (figura 5.15).



figura 5.15

La Vía Láctea es sólo uno de los muchos sistemas de estrellas llamadas galaxias.

Origen del Universo con base en la teoría del Big Bang o de la gran explosión

El físico ruso, nacionalizado estadounidense, **George Gamow** propuso en el año de 1948 que el Universo se creó en una gran explosión o Big Bang y que los diversos elementos que actualmente existen se produjeron durante los primeros minutos de haber ocurrido la gran explosión, como resultado de la gran temperatura y alta densidad que poseía originalmente el Universo, lo que provocó que se fusionaran partículas subatómicas formando átomos de elementos químicos. Se considera que el hidrógeno y el helio fueron los productos primarios de la gran explosión y los elementos más pesados se produjeron después, dentro de las estrellas.

Sistema Solar

Actualmente se considera que el Sistema Solar está formado por una estrella llamada Sol, ocho planetas, seis de ellos con satélites, excepto, Mercurio y Venus, asteroides, cometas y meteoroides. Esto en virtud de que la Unión Astronómica Internacional, reunida en Praga, República Checa, el 24 de agosto de 2006, definió el concepto de planeta de acuerdo con los siguientes términos: un planeta es aquel cuerpo celeste que se encuentra en órbita alrededor de una estrella sin ser una; además debe ser lo suficientemente grande en masa del orden de 500 trillones de kilogramos para que su propia gravedad le dé una forma esférica y haya limpiado o despejado la zona alrededor de su órbita. De acuerdo con esta definición, el planeta Plutón fue eliminado debido a su tamaño, ya que es mucho más pequeño que la Tierra e incluso que la Luna terrestre. Las dimensiones del sistema solar se determinan en función de la distancia media que existe del centro de la Tierra al centro del Sol, denominada unidad astronómica (UA) y que equivale a 149,597,870.691 de kilómetros.

Actualmente, el Sistema Solar es el único conocido; no obstante, muchos astrónomos consideran la posibilidad de la existencia de numerosos sistemas planetarios en el Universo.

El Sol

Es la estrella alrededor de la cual gravitan la Tierra y los demás astros del Sistema Solar. Dentro del espacio formado por los millones de astros existentes en el Universo, el Sol es una estrella, cuya temperatura en su interior denso es del orden de 10 millones de grados centígrados, y en su superficie es de unos 4 800 ºC.

Su masa es de 2×10^{30} kg, 333 432 veces más grande que la Tierra y su diámetro es de 1 390 000 km, equivalente a 109 veces más que el diámetro terrestre. La energía radiante del Sol se genera por **reacciones termonucleares de fusión**, debido a la conversión del hidrógeno en helio en el interior denso y caliente del Sol (figura 5.16).



figura 5.16

La temperatura en el interior del Sol es del orden de 10 millones de grados centígrados.

Los ocho planetas que se conocen actualmente se dividen en dos grupos: los planetas interiores que se caracterizan por ser densos, pequeños y estar compuestos principalmente de roca y hierro, éstos son: Mercurio, Venus, Tierra y Marte; los planetas exteriores son más grandes y están constituidos principalmente de hidrógeno, helio y hielo, éstos son: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

Existen otros componentes del Sistema Solar, como los asteroides que son pequeños cuerpos rocosos que se mueven en órbitas, sobre todo entre órbitas de Marte y Júpiter.

Los cometas son astros luminosos que están compuestos básicamente de polvo y gases helados, sus diámetros están comprendidos entre 5 y 10 km. La palabra cometa significa en griego *cabellos largos*. El cometa Halley fue visto a simple vista desde la Tierra en el año de 1986 y se regresa al Sistema Solar interior cada 75 años por lo que será observado nuevamente en el año 2061 (figura 5.17).



figura 5.17

Cuando los cometas se aproximan al Sol, desprenden polvo y gases adquiriendo la forma de una cabellera y una larga cola.

La Luna, satélite natural de la Tierra

La Luna es el cuerpo celeste (astro) más cercano a la Tierra. Gira alrededor de ella a una velocidad cuya magnitud es de 3664 km/h. Tarda 27 días con 7.716 horas en dar una vuelta alrededor de la Tierra (traslación) y es exactamente el mismo tiempo que tarda en girar sobre su propio eje (rotación), esto origina que veamos siempre un mismo lado; por ello, para conocer su otra cara los rusos y estadounidenses han enviado diferentes sondas espaciales a nuestro satélite natural.

Una sonda espacial consta de equipo instrumental y de radiocomunicación, que permite efectuar investigaciones en el espacio interplanetario y en los astros del Sistema Solar. Algunas sondas están provistas de instrumentos ópticos como telescopios, cámaras fotográficas o de televisión. Las sondas más perfeccionadas se posan en la superficie de los astros, pues están provistas de cohetes de retropropulsión para frenar la caída. El lanzamiento de una sonda se realiza mediante el empleo de cohetes propulsores.

Las fotografías de la parte oculta de la Luna que han sido enviadas a la Tierra por las sondas espaciales, muestran que esa zona es bastante parecida a la ya conocida.

El diámetro de la Luna es de 3 476 km y comparado con el de la Tierra, que es de 12 742.9 km, equivale al 27.27% del diámetro de ésta. La masa de la Luna es aproximadamente de 7.25×10^{22} kg y equivale al 1.229% de la masa terrestre cuyo valor es de 5.9×10^{24} kg.

La Luna al girar alrededor de la Tierra en ocasiones se encuentra más cerca de ella (perigeo) a una distancia de 356 500 km y en otras más lejos (apogeo) a una distancia de 406 700 km. La fuerza de gravedad de la Luna ejerce su efecto sobre la Tierra provocando las mareas, que son ascensos o descensos regulares de los océanos.

La Luna carece de luminosidad propia (figura 5.18). Su luz se debe a que su superficie refleja la luz del Sol y su cantidad varía debido a los cambios cíclicos de la posición relativa de la Luna respecto a la Tierra. Dichas variaciones hacen que su hemisferio sea visto alumbrado en forma diferente por el Sol a lo largo de una lunación. La lunación es el tiempo que transcurre entre dos lunas nuevas consecutivas, lo cual da lugar a las llamadas fases de la Luna: la luna nueva se presenta cuando todo el disco lunar queda en la **oscuridad**. Después de dos o tres días entra la fase de la luna creciente en la que se ve al satélite iluminándose en el borde del disco. La iluminación sigue aumentando hasta que siete días después de la luna nueva se ve la mitad del disco iluminado, esta fase se conoce como cuarto creciente. La Luna continúa su movimiento iluminándose hasta que todo el disco se ve completamente brillante, esta fase se llama luna llena. Después empieza la segunda parte del ciclo en el cual el disco va a menguar su iluminación. Cuando sólo la mitad del disco queda iluminada, tenemos la fase llamada cuarto menguante. Finalmente todo el disco queda en completa oscuridad dando inicio a un nuevo ciclo, cuya duración es de 29 días 7 horas 43 minutos 11.5 segundos y recibe el nombre de revolución sinódica, lunación o mes lunar.



figura 5.18

La Luna carece de luminosidad propia y gira alrededor de la Tierra a una velocidad cuya magnitud es de 3664 km/h.

La Luna carece de atmósfera, pues su fuerza de gravedad es incapaz de retener a las moléculas gaseosas; esto implica que tenga una carencia total de humedad, además de estar expuesta a los constantes bombardeos de meteoritos, mismos que al no encontrar ninguna resistencia producen cráteres en su superficie. En la Tierra, gracias a su atmósfera (capa de aire que la envuelve), las variaciones en el clima no son muy drásticas. El aire suministra energía calorífica de los lugares más calientes a los más fríos, sirve también de filtro para evitar que lleguen a la Tierra radiaciones solares en exceso y retiene una parte del calor que por radiación pierde el suelo. En la Luna, la temperatura del suelo alcanza valores mayores a 120 °C cuando está expuesta a la radiación solar y desciende a menos de 150 °C bajo cero cuando no la recibe. Los rayos cósmicos llegan a la superficie lunar con toda su energía, pues **no existe nada que logre atenuarlos**.

Las condiciones en la Luna obligan a los astronautas que pisan su suelo a tomar una serie de medidas tendentes a permitirles subsistir por medio de una atmósfera artificial. Para ello, deben transportar desde la Tierra el oxígeno, los alimentos y demás elementos necesarios. Para protegerse de las radiaciones cósmicas y que puedan respirar, los astronautas deben usar una vestidura hermética que cubre todo su cuerpo, misma que recibe el nombre de escafandra espacial.

El día y la noche duran dos semanas terrestres cada una. Además, sus noches son iluminadas por la luz solar que refleja la Tierra y cuya intensidad es mayor a la que ella nos envía.

El viaje del hombre a la Luna

Desde tiempos muy remotos el hombre se ha inspirado en la Luna para dar rienda suelta a sus sueños y fantasías, aparte de conferirle las más increíbles características, asociándola a sentimientos nobles, amorosos o catastróficos. Sin embargo, uno de sus sueños más ambiciosos era poder posar sus pies sobre la superficie lunar. Escritores como **Julio Verne**, novelista francés (1828-1905), se anticiparon a la exploración de la Luna a través de sus novelas de ficción científica, pero fue hasta el 20 de julio de 1969 cuando la ficción se hizo realidad al pisar el hombre por primera vez la superficie de la Luna (figura 5.19).

La astronáutica es la ciencia que se encarga de la navegación en el espacio cósmico. Se diferencia de la navegación aérea porque ésta no se encuentra involucrada en problemas como: viajes realizados a través de espacios carentes de atmósfera o de gravedad; altas magnitudes de velocidades que alcanzan las astronaves o las variaciones en las magnitudes de aceleración a la salida y llegada de éstas.

El 4 de octubre de 1957, los rusos fueron los primeros en iniciar la era espacial mediante el lanzamiento del *Sputnik I*, primer satélite artificial en órbita alrededor de la Tierra. Tres meses más tarde los estadounidenses lanzaron su primer satélite llamado *Explorer I*.



figura 5.19

El 20 de julio de 1969 el hombre pisó por primera vez la superficie lunar.

Lograr la exploración de la Luna fue una labor ardua, como lo exige cualquier tarea importante que el hombre asume. Para ello, fue necesario realizar varios lanzamientos, algunas veces mediante el uso de cápsulas espaciales tripuladas y otras mediante el envío de sondas espaciales.

El proyecto *Apolo* fue puesto en marcha por Estados Unidos en 1962. Dicho proyecto tenía como finalidad colocar a un hombre sobre la Luna. Hazaña que se logró mediante la construcción de un potente cohete de tres fases capaz de poner en órbita terrestre la cápsula espacial llamada *Apolo*. Dicha cápsula estaba constituida por **tres módulos: el de mando, servicio y alunizaje**. Tres astronautas viajaron hasta colocarse en órbita alrededor de la Tierra para posteriormente entrar en órbita alrededor de la Luna. Utilizando el módulo de alunizaje, dos de ellos bajaron a la superficie lunar, mientras el otro se mantuvo en órbita. Después de realizar algunos experimentos y tomar muestras de rocas y polvo, el módulo de alunizaje con los dos tripulantes a bordo debía elevarse para realizar la fase de acoplamiento con el módulo de mando e iniciar el regreso a la Tierra.

El proyecto *Apolo* llegó a feliz término después de haber efectuado varios vuelos como el del *Apolo VIII* en el que tres astronautas dieron diez vueltas alrededor de la Luna. El *Apolo IX* se lanzó en marzo de 1969, tres meses después que el *Apolo VIII*, su objetivo era probar

los módulos lunar, de servicio y de mando en una órbita terrestre, además de ensayar el acoplamiento entre los mismos.

En mayo de 1969 lanzaron el *Apolo X* cuyo propósito era realizar todas las fases previstas menos el verdadero descenso del hombre en la Luna. El *Apolo XI* se lanzó la mañana del 16 de julio de 1969 y alunizó 4 días más tarde, descendiendo Edwin E. Aldrin y Neil Armstrong. Después de dos horas y media sobre el suelo lunar, en las que se recogieron más de 20 kg de rocas y se realizaron algunos experimentos, regresaron a su módulo, dando saltos con facilidad pese al peso de sus trajes y al equipo de supervivencia, pues la fuerza de gravedad de la Luna les permitía reducir la magnitud de su peso a la sexta parte. Pusieron a funcionar los cohetes de propulsión y se acoplaron con el de mando para finalmente iniciar su regreso a nuestro planeta.

Después del éxito obtenido con el *Apolo XI* se realizaron otros cinco alunizajes: en 1969, el *Apolo XII*; en 1971, los *Apolos XIV* y *XV*; y en 1972, los *Apolos XVI* y *XVII*. Durante estos vuelos se hicieron importantes estudios, por ejemplo, las muestras de rocas y polvo permitieron a los científicos obtener más información para poder encontrar las **posibles causas que dieron origen al Sistema Solar**.

También midieron la distancia entre la Tierra y su satélite natural por medio de un rayo láser enviado desde nuestro planeta, el cual fue reflejado por un espejo especial instalado en la Luna. Al determinar el tiempo que empleó el rayo en ir y regresar y conocer la magnitud de su velocidad de propagación (aproximadamente 300 000 km/s), se calculó la distancia con una gran precisión.

Se instaló un instrumento para registrar cualquier tipo de vibraciones sobre la superficie lunar, así como otro para medir el viento solar, producido por flujos de partículas con carga eléctrica procedentes del Sol.

Mediante diferentes magnetómetros instalados se encontró que la intensidad del campo magnético lunar equivale a la centésima parte del terrestre.

Algunas consideraciones sobre los viajes interplanetarios

Para poder realizar un viaje por el espacio cósmico, como es un viaje a la Luna, deben tomarse en cuenta las siguientes situaciones:

1. Puesto que el vuelo de la nave espacial se realiza en ausencia de atmósfera, no cuenta con el oxígeno del aire para lograr la combustión. Por tal motivo, además del combustible debe transportar oxígeno (figura 5.20).
2. El arranque de la astronave debe ser pausado, evitando aceleraciones cuyas magnitudes sean muy grandes que pongan en peligro la resistencia del organismo humano, el cual soporta grandes velocidades, pero no cambios bruscos en la aceleración.



figura 5.20

Las naves espaciales requieren transportar, además del combustible, el oxígeno para lograr la combustión.

3. Para determinar la trayectoria que seguirá una nave en su viaje a la Luna debe considerarse que su vuelo estará afectado por: la rotación y la traslación de la Tierra, la atracción creciente de la Luna y la atracción decreciente de la Tierra, y por la atracción del Sol. Por otra parte, como las posiciones de la Luna, la Tierra y la nave cambian constantemente, la influencia de los astros también varía sobre ésta. Así, la trayectoria que debe seguir la nave, considerando los efectos que sobre ella se ejercerán, debe ser calculada anticipadamente con toda precisión valiéndose del uso de computadoras.
4. Para evitar que la nave parta con una velocidad con una magnitud excesiva o menor de la necesaria, el lanzamiento se hace en dos fases: la primera consiste en ponerla en órbita estacionaria alrededor de la Tierra, esto sucede cuando alcanza una velocidad llamada orbital cuya magnitud es de 28 000 km/h. Durante el tiempo que dura en órbita estacionaria se revisan los instrumentos y se determina el punto de la órbita más conveniente para orientar su dirección. La segunda fase consiste en verificar constantemente las posiciones de la Tierra, la Luna, la nave y los objetos que se estén moviendo en todas direcciones. Por medio de las computadoras se conocerá el momento preciso y la velocidad que deberá llevar la nave impulsada por el cohete propulsor para salir de la órbita terrestre e iniciar su recorrido a la Luna. **La magnitud de la velocidad que se requiere para vencer la fuerza de gravedad terrestre es de 40 000 km/h.**
5. Al alejarse de la Tierra la magnitud de la fuerza de atracción terrestre disminuirá sobre la nave y aumentará la de la Luna hasta llegar a un punto en que las dos fuerzas se equilibren. Dicho punto, llamado muerto, se encuentra aproximadamente a 57 000 km

del centro de la Luna; al rebasar este punto la nave penetra en el campo gravitacional lunar, por lo que su velocidad comienza a incrementarse. Si no existiera alguna manera de frenar la nave, ésta se estrellaría contra la superficie lunar a una velocidad cuya magnitud es de 8 000 km/h.

6. Para frenar la nave se usa la **retropropulsión**, dirigiendo el chorro de los motores hacia la superficie lunar se reduce la magnitud de la velocidad aproximadamente a 3 000 km/h. Esta velocidad permite que la nave quede en órbita alrededor de la Luna. Posteriormente, puede descenderse hasta la superficie lunar haciendo funcionar el motor de descenso que deberá actuar después como retrocohete para amortiguar la caída.
7. El regreso a la Tierra requiere una velocidad inicial de la nave con una magnitud de 8 600 km/h para alcanzar el punto muerto e iniciar su retorno en caída libre. La magnitud de velocidad que llega a alcanzar es de unos 40 000 km/h (misma magnitud de velocidad que requirió para vencer la fuerza de gravedad que le permitió partir de la Tierra).
8. Al penetrar a la atmósfera terrestre la nave debe descender con una cierta inclinación, pues si lo hiciera verticalmente la fricción con el aire la desintegraría rápidamente. La inclinación permite que sea frenada por el aire, pero la fricción provoca que algunas partes de la nave alcancen temperaturas de 5 000 °C. Por tal motivo se recubre con un plástico especial, el cual con el calor se funde lentamente y se desprende. Por último, el descenso final a la superficie terrestre se realiza por medio de paracaídas, aprovechando la resistencia de la atmósfera.

Resolución de problemas de la ley de gravitación universal

1 Calcular la magnitud de la fuerza gravitacional con la que se atraen dos personas, si una de ellas tiene una masa de 60 kg y la otra de 70 kg, y la distancia que hay entre ellas es de 1.5 m.

Solución:

Datos

$F = ?$

$m_1 = 60\ \text{kg}$

$m_2 = 70\ \text{kg}$

$d = 1.5\ \text{m}$

$G = 6.67 \times 10^{-11}\ \dfrac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$

Fórmula

$$F = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

Sustitución y resultado

$$F = 6.67 \times 10^{-11}\ \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \times \frac{60\ \text{kg} \times 70\ \text{kg}}{(1.5\ \text{m})^2}$$

$$= 12\,450.66 \times 10^{-11}\ \text{N}$$

2 Calcular la magnitud de la fuerza con la que se atraen dos cuerpos cuyos pesos son 98 N y 300 N al haber entre ellos una distancia de 50 cm. Dar el resultado en unidades del SI.

Solución:

Datos

$F = ?$

$P_1 = 98\ \text{N}$

$P_2 = 300\ \text{N}$

$d = 50\ \text{cm} = 0.5\ \text{m}$

Fórmulas

$$P = mg \therefore m = \frac{P}{g}$$

$$F = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

Sustitución y resultado

$$m_1 = \frac{P_1}{g} = \frac{98\ \text{kg m/s}^2}{9.8\ \text{m/s}^2} = 10\ \text{kg}$$

$$m_1 = \frac{P_2}{g} = \frac{300\ \text{kg m/s}^2}{9.8\ \text{m/s}^2} = 30.61\ \text{kg}$$

$$F = 6.67 \times 10^{-11}\ \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \times \frac{10\ \text{kg} \times 30.61\ \text{kg}}{(0.5\ \text{m})}$$

$$= 81667 \times 10^{-11}\text{N}$$

3 ¿A qué distancia se encuentran dos masas de 4×10^{-2} kg y 9×10^{-3} kg, si la magnitud de la fuerza con la que se atraen es de 9×10^{-9} N?

Solución:

Datos

$d = ?$

$m_1 = 4 \times 10^{-2}\ \text{kg}$

$m_2 = 9 \times 10^{-3}\ \text{kg}$

$F = 9 \times 10^{-9}\ \text{N}$

$G = 6.64 \times 10^{-11}\ \dfrac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$

Fórmulas

$$F = G\frac{m_1 m_2}{d^2} \therefore$$

$$d^2 = \frac{Gm_1 m_2}{F}$$

Sustitución y resultados

$$F = G\frac{4 \times 10^{-2}\text{kg} \times 9 \times 10^{-3}\text{kg}}{d^2} = G\frac{36 \times 10^{-5}\text{kg}^2}{d^2}$$

Despejando d^2

$$d^2 = \frac{Gm_1 m_2}{F}$$

$$d^2 = \frac{6.67 \times 10^{-11}\ \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \times 36 \times 10^{-5}\text{kg}}{9 \times 10^{-9}\text{N}} = 26.68 \times 10^{-7}\text{m}^2$$

$$d = \sqrt{2.668 \times 10^{-6}\ \text{m}^2} = 1.63 \times 10^{-3}\ \text{m}$$

4 ¿Qué distancia debe haber entre un cuerpo de 600 g de masa y otro de 400 g para que se atraigan con una fuerza cuya magnitud es de 2×10^{-5} dinas?

Solución:

Datos

$d = ?$

$m_1 = 600\ \text{g}$

$m_2 = 400\ \text{g}$

$F = 2 \times 10^{-5}\ \text{dinas}$

$G = 6.67 \times 10^{-8}\ \dfrac{\text{dina cm}^2}{g^2}$

Fórmulas

$F = G\dfrac{m_1 m_2}{d^2} \therefore$

$d^2 = \dfrac{Gm_1 m_2}{F}$

Sustitución y resultado

$$d^2 = \frac{6.67 \times 10^{-8}\ \dfrac{\text{dina cm}^2}{g^2} \times 600\ \text{g} \times 400\ \text{g}}{2 \times 10^{-5}\ \text{dinas}}$$

$$= 800\,400 \times 10^{-3}\ \text{cm}^2$$

$$d = \sqrt{800.4\ \text{cm}^2} = 28.29\ \text{cm}$$

5 Calcular la masa de una silla si la magnitud de la fuerza gravitacional con que se atrae con una mesa de 20 kg es de 40×10^{-11} N y la distancia a la que se encuentran uno del otro es de 4 m.

Datos

$m_1 = ?$

$m_2 = 20\ \text{kg}$

$F = 40 \times 10^{-11}\ \text{N}$

$d = 4\ \text{m}$

$G = 6.67 \times 10^{-11}\ \dfrac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$

Fórmulas

$F = G\dfrac{m_1 m_2}{d^2} \therefore$

$m_1 = \dfrac{Fd^2}{Gm_2}$

Sustitución y resultado

$$m_1 = \frac{40 \times 10^{-11}\text{N}(4\ \text{m})^2}{6.67 \times 10^{-11}\ \dfrac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \times 20\ \text{kg}} = 4.79\ \text{kg}$$

6 Determinar la magnitud de la fuerza gravitacional que ejercerá la Tierra sobre un cuerpo cuya masa es de 1 kg al estar colocado en un punto donde el radio terrestre es de 6.336×10^6 m. La masa de la Tierra es de 5.9×10^{24} kg.

Datos

$m_1 = 1\ \text{kg}$

$d = 6.336 \times 10^6\ \text{m}$

$m_2 = 5.9 \times 10^{24}\ \text{kg}$

$F = ?$

$G = 6.67 \times 10^{-11}\ \dfrac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$

Fórmula

$F = G\dfrac{m_1 m_2}{d^2}$

Sustitución y resultado

$$F = 6.67 \times 10^{-11}\ \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \times \frac{1\ \text{kg} \times 5.9 \times 10^{24}\ \text{kg}}{(6.336 \times 10^6\ \text{m})} = 9.8\ \text{N}$$

Nota: La distancia entre el cuerpo y la Tierra se tomó igual al radio de la Tierra, pues se considera al centro de ésta como el punto donde se concentra su peso. En general, para calcular la magnitud de la fuerza de atracción gravitacional entre los cuerpos se mide la distancia a partir de sus centros de gravedad, es decir, del lugar donde se considera concentrado su peso.

Ejercicios propuestos

1 Un muchacho cuya masa es de 60 kg se encuentra a una distancia de 40 cm de una muchacha cuya masa es de 48 kg, determine la magnitud de la fuerza gravitacional en newtons con la cual se atraen.

2 Determine la magnitud de la fuerza gravitacional con la que se atraen un miniauto de 1 200 kg con un camión de carga de 4 500 kg, al estar separados a una distancia de 5 m.

3 Una barra metálica cuyo peso tiene una magnitud de 800 N se acerca a otra de 1 200 N hasta que la distancia entre sus centros de gravedad es de 80 cm. ¿Con qué magnitud de fuerza se atraen?

4 ¿A qué distancia se encuentran dos elefantes cuyas masas son 1.2×10^3 kg y 1.5×10^3 kg, y se atraen con una fuerza gravitacional cuya magnitud es de 4.8×10^{-6} N?

5 Calcular la distancia que debe haber entre un libro de 850 g y un pisapapel de 300 g para que se atraigan con una fuerza cuya magnitud es de 1.9×10^{-5} dinas.

6. Determine la masa de un cuerpo, si la magnitud de la fuerza gravitacional con que se atrae con otro de 100 kg es de 60×10^{-10} N y la distancia entre ellos es de 10 m.

7. Determinar la magnitud de la fuerza gravitacional que ejercerá la Luna sobre una roca cuya masa es de 1 kg al encontrarse en un punto donde el radio lunar es de 1.74×10^{6} m. La masa de la Luna es de 7.25×10^{22} kg.

4 Estática

Relación de la estática con la dinámica

La palabra estática se deriva del griego *statikós* que significa inmóvil. En virtud de que la dinámica estudia las causas que originan el reposo o movimiento de los cuerpos, tenemos que la estática queda comprendida dentro del estudio de la dinámica y analiza las situaciones que permiten el equilibrio de los cuerpos. Los principios de la estática se sustentan en las leyes de Newton.

En general, la estática estudia aquellos casos en que los cuerpos sometidos a la acción de varias fuerzas no se mueven, toda vez que éstas se equilibran entre sí. También considera los casos en que la resultante de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en movimiento es nula y el cuerpo sigue desplazándose con movimiento rectilíneo uniforme.

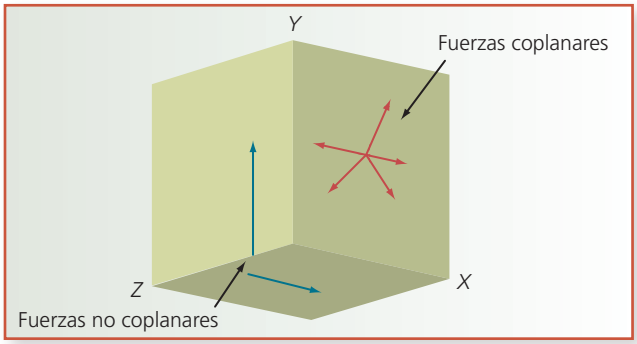
En esta sección nos ocuparemos del estudio del equilibrio de los cuerpos rígidos, aquellos cuya deformación provocada por una fuerza es mínima al compararla con su tamaño. Ejemplos: vigas de madera, armaduras de acero o hierro colado, bolas de acero o vidrio, herramientas metálicas, cascos de fútbol americano, bicicletas y motocicletas, entre otros.

Fuerzas coplanares y no coplanares. Principio de transmisibilidad de las fuerzas

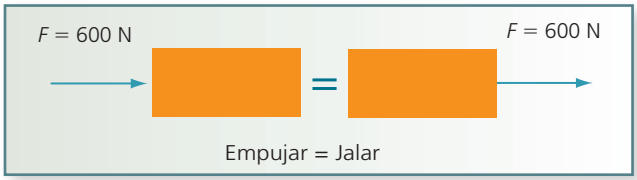
Las fuerzas pueden clasificarse en coplanares si se encuentran en el mismo plano, o sea, en dos ejes, y no coplanares si están en diferente plano, es decir, en tres ejes.

El principio de transmisibilidad del punto de aplicación de las fuerzas dice:

El efecto externo de una fuerza no se modifica cuando se traslada en su misma dirección, es decir, sobre su propia línea de acción.



Por ejemplo, si deseamos mover un cuerpo horizontalmente aplicando una fuerza, el resultado será el mismo si lo empujamos o si lo jalamos (ver la siguiente figura).



Sistema de fuerzas colineales

Un sistema de fuerzas colineales se forma cuando sobre un cuerpo actúan dos o más fuerzas con una misma línea de acción, es decir, en la misma dirección. Por ejemplo, si sobre un carrito aplicamos dos o más fuerzas colineales, la resultante de las mismas dependerá del

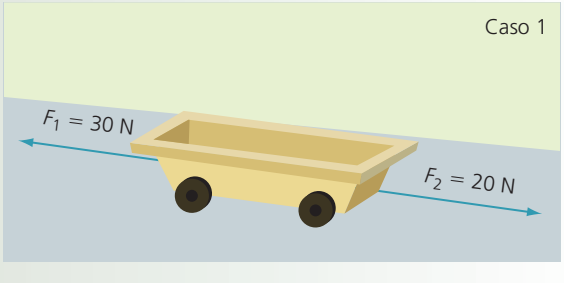


figura 5.21

Fuerzas colineales con sentidos contrarios.

Fuerzas colineales con sentidos contrarios.

sentido en que estén actuando. Veamos los siguientes tres casos (figuras 5.21, 5.22 y 5.23):

La magnitud de la resultante de las dos fuerzas será igual a la suma algebraica:

$$R = \Sigma F = F_1 + F_2 = -30\ \text{N} + 20\ \text{N} = -10\ \text{N}$$

Como la resultante tiene signo negativo nos indica que el carrito se moverá hacia la izquierda con una fuerza neta o resultante de 10 newtons.

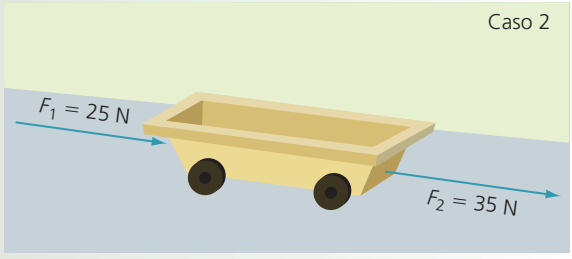


figura 5.22

Fuerzas colineales con el mismo sentido.

La magnitud de la resultante de las dos fuerzas colineales será igual a la suma algebraica:

$$R = \Sigma F = F_1 + F_2 = 25\ \text{N} + 35\ \text{N} = 60\ \text{N}$$

Como las dos fuerzas colineales actúan hacia la derecha su signo es positivo y producen una resultante de 60 N.

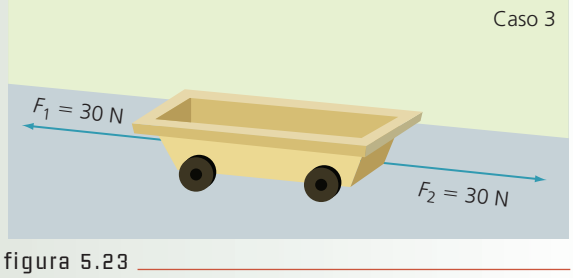


figura 5.23

Fuerzas colineales con magnitudes iguales y sentidos contrarios.

La resultante de las dos fuerzas colineales será igual a su suma algebraica:

$$R = \Sigma F = F_1 + F_2 = -30\ \text{N} + 30\ \text{N} = 0$$

Puesto que al sumar las dos fuerzas la resultante es igual a cero, el carrito estará en equilibrio, es decir, en reposo, o bien, en movimiento rectilíneo uniforme toda vez que las dos fuerzas se equilibran entre sí.

Sistema de fuerzas concurrentes o angulares

Las fuerzas concurrentes son aquellas cuyas direcciones o líneas de acción pasan por un mismo punto. También

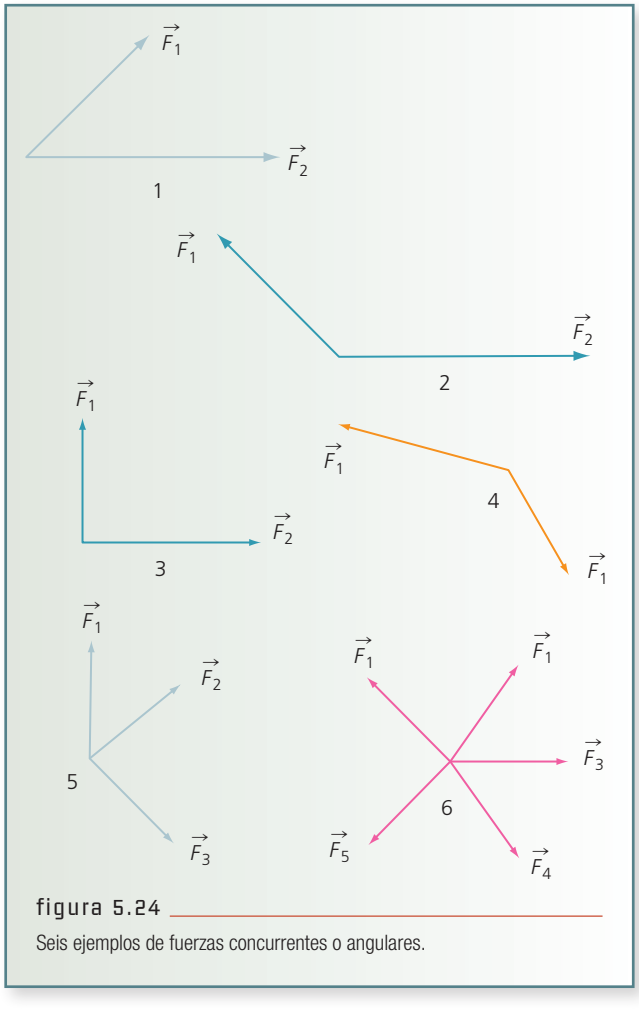


figura 5.24

Seis ejemplos de fuerzas concurrentes o angulares.

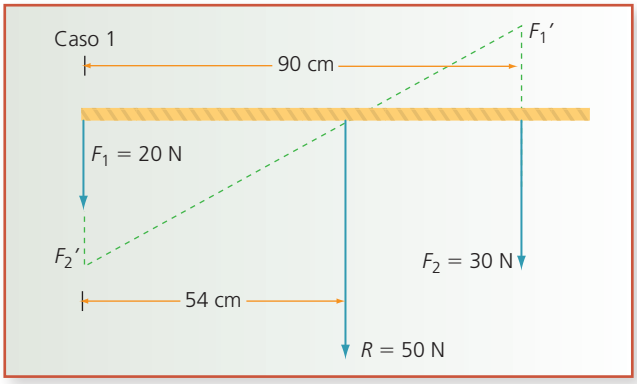
se les suele llamar angulares porque forman un ángulo entre ellas (figura 5.24).

Cuando en forma gráfica se desea sumar dos fuerzas concurrentes, como los ejemplos del 1 al 4, se utiliza el método del paralelogramo. Para sumar más de dos fuerzas concurrentes, como en los ejemplos 5 y 6, se utiliza el método del polígono. (ver en la unidad 3 la sección: Suma de dos o más vectores concurrentes).

Fuerzas paralelas

Si sobre un cuerpo rígido actúan dos o más fuerzas cuyas líneas de acción son paralelas, la resultante tendrá una magnitud igual a la suma de ellas con su línea de acción también paralela a las fuerzas, pero su punto de aplicación debe ser determinado con precisión para que produzca el mismo efecto que las componentes. Veamos los siguientes ejemplos en los que se determinará en forma gráfica el punto de aplicación de la resultante de dos fuerzas paralelas con igual y diferente sentido:

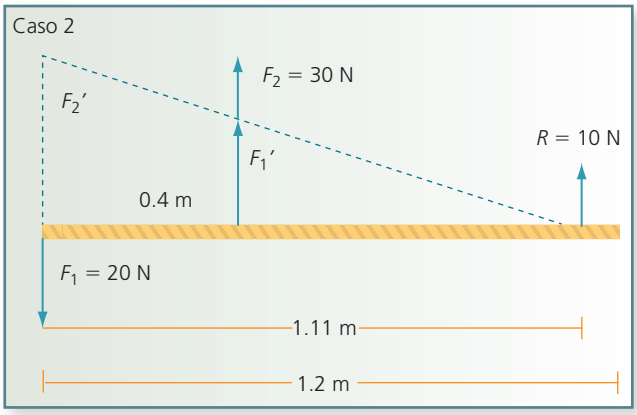
En la figura se tiene una barra de 90 cm de longitud, soportando una fuerza cuya magnitud es de 20 N y otra



de 30 N. La resultante evidentemente es la suma de las dos magnitudes de fuerzas, o sea 50 N, pues actúan en forma paralela y con el mismo sentido. Para encontrar el punto donde debe actuar la resultante, se procede de la siguiente forma, tal como se ve en la figura: se traza una paralela de $\vec{F}_2$ sobre $\vec{F}_1$ en el mismo sentido ($\vec{F}_2'$), después una paralela de $\vec{F}_1$ a partir del origen de $\vec{F}_2$, pero en sentido contrario (F_1'). Se traza una línea uniendo los extremos de F_1' y F_2' de tal forma que en el punto preciso en que la línea corta la barra, se tendrá el origen o punto de aplicación de la resultante a 54 cm de $\vec{F}_1$.

En la barra cuya longitud es de 1.2 m (caso 2) actúa una fuerza de 20 N hacia abajo ($\vec{F}_1'$) y otra de 30 N hacia arriba ($\vec{F}_2'$), a una distancia de 0.4 m de $\vec{F}_1$. La resultante de las dos fuerzas es la suma de las mismas: $R = F_1 + F_2 = -20\text{ N} + 30\text{ N} = 10\text{ N}$, como es positiva se traza verticalmente hacia arriba.

Para encontrar el punto donde debe actuar la resultante, se procede de la siguiente forma: se traza una paralela de $\vec{F}_2$ con su mismo sentido a partir del punto de origen de $\vec{F}_1$ (F_2'), después una paralela de $\vec{F}_1$, pero con sentido contrario a partir del punto de origen de $\vec{F}_2$ ($\vec{F}_1'$).



Se traza una línea uniendo los extremos de F_1' y F_2', de tal forma que en el punto preciso en que la línea corta la barra se tiene el origen o punto de aplicación de la resultante a 1.11 m de $\vec{F}_1$.

El **método analítico** para encontrar el punto de aplicación de la resultante lo veremos más adelante en la parte correspondiente a la resolución de problemas.

Par de fuerzas

Se produce un par de fuerzas cuando dos fuerzas paralelas de la misma magnitud, pero de sentido contrario actúan sobre un cuerpo. Su resultante es igual a cero y su punto de aplicación está en el centro de la línea que une a los puntos de aplicación de las fuerzas componentes. No obstante que la resultante es cero, un par de fuerzas produce siempre un movimiento de rotación tal como sucede con el volante de un automóvil (figura 5.25).

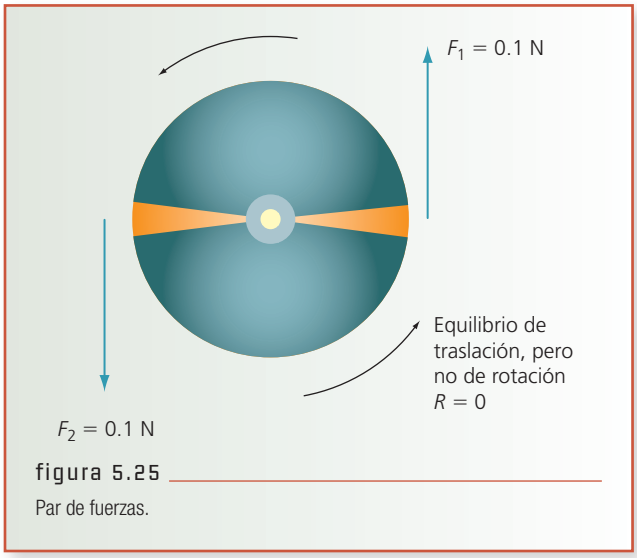


figura 5.25
Par de fuerzas.

La magnitud resultante es igual a la suma de las dos magnitudes de las fuerzas: $R = F_1 + F_2 = 0.1\text{ N} + (-0.1\text{ N}) = 0$. Sin embargo, todos sabemos que el volante gira, y la razón es que los efectos que una fuerza provoca en un movimiento de rotación depende del punto donde se aplique. Una mayor explicación la tendremos al leer las siguientes tres secciones.

Momento de una fuerza o momento de torsión

El momento de una fuerza, también llamado momento de torsión o simplemente torque o torca (torcer), se define como la capacidad que tiene una fuerza para hacer girar un cuerpo. También se puede definir como la intensidad con que la fuerza, actuando sobre un cuerpo, tiende a comunicarle un movimiento de rotación.

La magnitud del momento de una fuerza (M) se calcula multiplicando la magnitud de la fuerza aplicada (F) por el brazo de la palanca (r), donde:

$$M = Fr$$

Para comprender mejor el significado físico del momento de una fuerza, observemos los cuatro casos que se muestran en la figura 5.26:

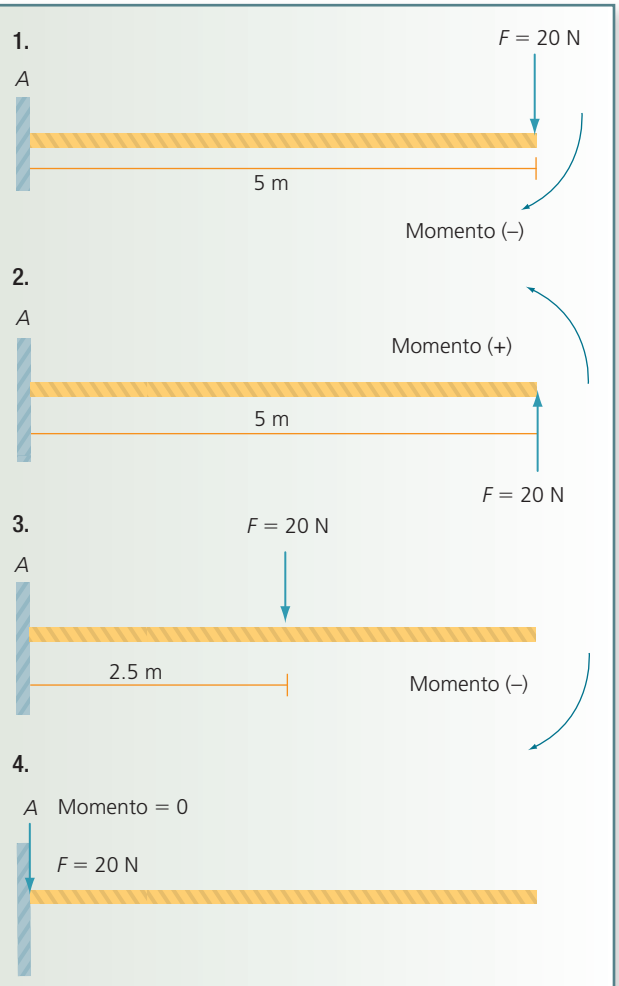


figura 5.26

Ejemplos de momentos de una fuerza.

En los cuatro casos tenemos una viga con una longitud de 5 metros, dicha viga recibe la misma magnitud de fuerza a diferentes distancias del punto de apoyo A excepto en el 1 y 2 en los que la distancia del punto de apoyo en la cual se aplica la fuerza es la misma, es decir, tienen igual su brazo de palanca. Como se observa, la magnitud del momento de la fuerza en el caso 1 es igual a la magnitud del momento de la fuerza en el caso 2, lo que es diferente es su efecto, pues mientras en el caso 1 el **momento es negativo**, en el caso 2 **es positivo**. Esto se debe a que por convención se considera que el momento de una fuerza es positivo cuando su tendencia es hacer girar a un cuerpo en sentido contrario al giro de las manecillas de un reloj, y negativo cuando la tendencia de la fuerza aplicada es hacer girar al cuerpo en sentido de las manecillas del reloj. Tales son los casos 2 y 1, respectivamente.

En el caso 3 se aplica la misma magnitud de la fuerza a la viga de 5 m de longitud, pero la fuerza de 20 N está aplicada a una distancia de 2.5 m del punto de apoyo, es decir, se ha reducido su brazo de palanca a la mitad. Por tal motivo, su momento es ahora la mitad y con signo negativo, toda vez que tiende a hacer girar a la viga en el mismo sentido de las manecillas de un reloj.

Finalmente, en el caso 4 la fuerza se está aplicando exactamente en el punto de apoyo de la viga, por lo que, no obstante que la fuerza sigue siendo la misma (20 N), **su brazo de palanca es cero y no tiene ninguna capacidad para hacer girar a la viga**, por tanto, **su momento es nulo**. La magnitud del momento de la fuerza para cada caso es:

1. $M = Fr = -20\ \text{N} \times 5\ \text{m} = -100\ \text{Nm}$

2. $M = Fr = 20\ \text{N} \times 5\ \text{m} = 100\ \text{Nm}$

3. $M = Fr = -20\ \text{N} \times 2.5\ \text{m} = -50\ \text{Nm}$

4. $M = Fr = 20\ \text{N} \times 0 = 0$

Por todo lo anterior, podemos concluir que el momento de una fuerza es una magnitud vectorial cuya dirección es perpendicular al plano en que se realiza la rotación del cuerpo y su sentido dependerá de cómo se realice ésta.

Centro de gravedad, centroide y centro de masa

El centro de gravedad de un cuerpo es el punto donde se encuentra aplicada la resultante de la suma de todas las fuerzas gravitatorias que actúan sobre cada una de las partículas del mismo. Si el cuerpo es simétrico y homogéneo la resultante de todas las fuerzas gravitatorias se localizará en el centro geométrico. Si se suspende un cuerpo de su centro de gravedad queda en completo equilibrio, tanto de traslación como de rotación. Si un cuerpo no es simétrico, como es el caso de un bate de beisbol o el de una piedra, su centro de gravedad puede encontrarse fácilmente si se suspende el cuerpo en dos puntos diferentes. El cruce de las dos líneas que sucesivamente ocupan la posición vertical, es el centro de gravedad.

Por centroide se entiende el punto donde estaría el centro de gravedad, si el espacio vacío fuera ocupado por un cuerpo. Por ejemplo, un cubo hueco hecho con placas de vidrio, metal, madera, etc., tiene centroide, pero un trozo de madera cuadrangular tiene centro de gravedad, lo mismo sucede con un tubo metálico, éste tiene centroide, pero una barra metálica cilíndrica presenta centro de gravedad.

El centro de masa de un cuerpo se localiza en aquel punto en el cual para cualquier plano que pasa por él los momentos de las masas a un lado del plano son iguales a los momentos de las masas del otro lado.

Con base en su centro de gravedad un cuerpo puede tener un equilibrio estable, inestable o indiferente. Para que un cuerpo apoyado esté en equilibrio se requiere que la línea de acción de su peso, o sea, la vertical que pasa por su centro de gravedad, pase también por su base de apoyo (figura 5.27).

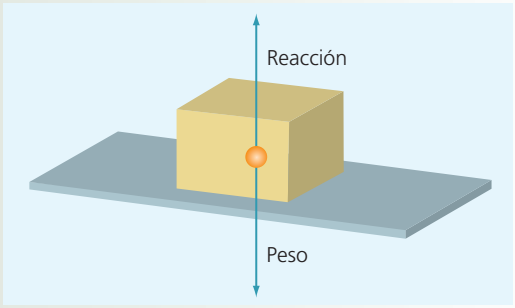


figura 5.27

En el dibujo se muestra un cuerpo que está en equilibrio porque en el apoyo se produce una reacción con la misma magnitud y dirección que el peso, pero con sentido contrario.

Cuando la vertical del centro de gravedad no pasa por el apoyo, el peso y la reacción dejan de ser colineales y se transforman en un par de fuerzas con su correspondiente momento de rotación, ocasionando que el cuerpo gire o caiga.

Un cuerpo está en equilibrio estable cuando al moverlo vuelve a ocupar la posición que tenía debido al efecto de la fuerza de gravedad. Cuando se mueve, su centro de gravedad sube, por ello trata de regresar a su posición inicial.

Un cuerpo tiene equilibrio inestable cuando al moverlo baja su centro de gravedad, por lo que trata de alejarse de su posición inicial buscando tener un equilibrio estable.

El equilibrio de un cuerpo es indiferente cuando en cualquier posición su centro de gravedad se mantiene a la misma altura, por lo cual no trata de conservar su posición original ni alejarse de ella.

En general, la estabilidad de un cuerpo apoyado sobre su base aumenta a medida que es mayor la superficie de sustentación y disminuye al ser mayor la altura de su centro de gravedad. Por ello, los autos de carreras tienen su centro de gravedad lo más bajo posible para una mayor estabilidad.

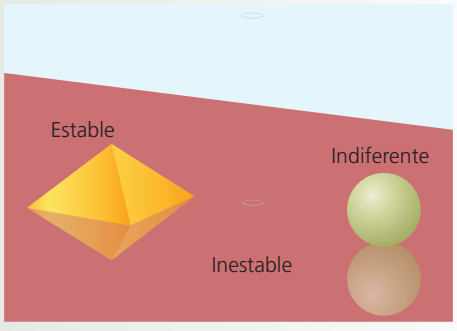


figura 5.28

Ejemplos de los tres tipos de equilibrio.

Condiciones de equilibrio

Primera condición de equilibrio

Cuando se aplica una fuerza a un cuerpo en equilibrio, ya sea que se encuentre en reposo o con movimiento rectilíneo uniforme, de acuerdo con la **Segunda Ley de Newton**, le provocará una aceleración, misma cuya magnitud será mayor mientras mayor sea la magnitud de la fuerza aplicada. Por tanto, para que un cuerpo esté en equilibrio de traslación la fuerza neta o resultante de todas las fuerzas que actúan sobre él debe ser igual a cero. En otras palabras, la suma de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo en el eje de las ordenadas y en el eje de las abscisas debe ser cero.

Con lo anteriormente expuesto podemos establecer la **primera condición de equilibrio que nos dice: para que un cuerpo esté en equilibrio de traslación, la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre él debe ser cero.**

$$\vec{R} = 0$$

o sea

$$\Sigma \vec{F}_x = 0$$
$$\Sigma \vec{F}_y = 0$$

En los siguientes ejemplos, se muestran varios casos de equilibrio:

Segunda condición de equilibrio

Un cuerpo puede encontrarse en equilibrio de traslación si la resultante de las fuerzas que actúan sobre él es cero. Sin embargo, puede estar girando sobre su propio eje, como fue señalado en la sección: **Par de fuerzas**, debido al efecto que le produce un par de fuerzas. Así, la rotación del volante de un automóvil se debe a la capacidad que tiene cada fuerza para hacerlo girar, y como tanto

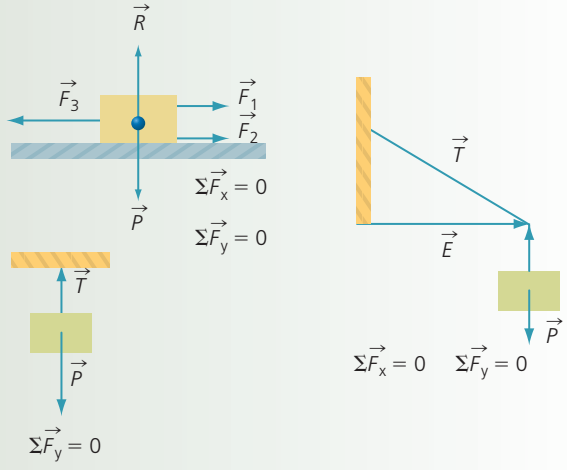


figura 5.29

Ejemplos de equilibrio de traslación.

la fuerza $\vec{F}_1$ y $\vec{F}_2$ lo hacen girar en el mismo sentido, sus momentos no se neutralizan (ver figura 5.25).

Para que un cuerpo esté en equilibrio de rotación, debe cumplirse la segunda condición que dice: para que un cuerpo esté en equilibrio de rotación, la suma de los momentos o torcas de las fuerzas que actúan sobre él respecto a cualquier punto debe ser igual a cero.

$$\Sigma \vec{M} = 0$$

En la figura 5.30 tenemos varios casos de equilibrio de rotación.

Nota: Cuando un cuerpo se encuentra en movimiento puede estar desplazándose de un punto a otro, girando sobre su propio eje, o bien, realizando ambos movimientos. Por ejemplo, cuando vemos pasar un autobús, los pasajeros efectúan un movimiento de traslación, pero las ruedas realizan un movimiento de rotación y de traslación. En general, cualquier movimiento por complejo que sea puede ser reducido para su estudio a dos tipos de movimiento: de **traslación** y de **rotación**.

Estrategia para resolver problemas de equilibrio de los cuerpos y diagrama de cuerpo libre

Para resolver problemas de equilibrio de los cuerpos es importante aislarlos unos de otros, ello permite hacer un análisis de las fuerzas conocidas que actúan sobre un cuerpo, así como de las que se desconocen y se desea calcular.

Cuando se aísla un cuerpo sobre él aparecen únicamente las fuerzas externas que soporta, las cuales son ocasionadas por tener contacto con otros cuerpos o por atracción gravitacional. Este procedimiento gráfico para aislar un cuerpo recibe el nombre de **diagrama de cuerpo libre**.

Los pasos a seguir para hacer un diagrama de cuerpo libre son:

a) Hacer un dibujo que represente claramente el problema que se desea resolver (sólo si no se proporciona la figura; si aparece, siga con el paso B).

b) Construya un diagrama de cuerpo libre sustituyendo por medio de fuerzas todo aquel efecto que recibe el cuerpo, provocado por su contacto con otros cuerpos o por la fuerza gravitacional y que originan que se encuentre en equilibrio. Indique la magnitud, dirección y sentido de las fuerzas conocidas. Use símbolos para señalar las cantidades que se desconocen.

Después de hacer el diagrama de cuerpo libre continúe la resolución del problema de equilibrio al realizar los siguientes pasos:

1. Haga un sistema de referencia utilizando ejes rectangulares y coloque al cuerpo en equilibrio en el origen del sistema de coordenadas. Cabe señalar que los ejes no necesariamente deberán ser verticales y horizontales, ya que ello dependerá de las condiciones de equilibrio en que se encuentre el cuerpo.

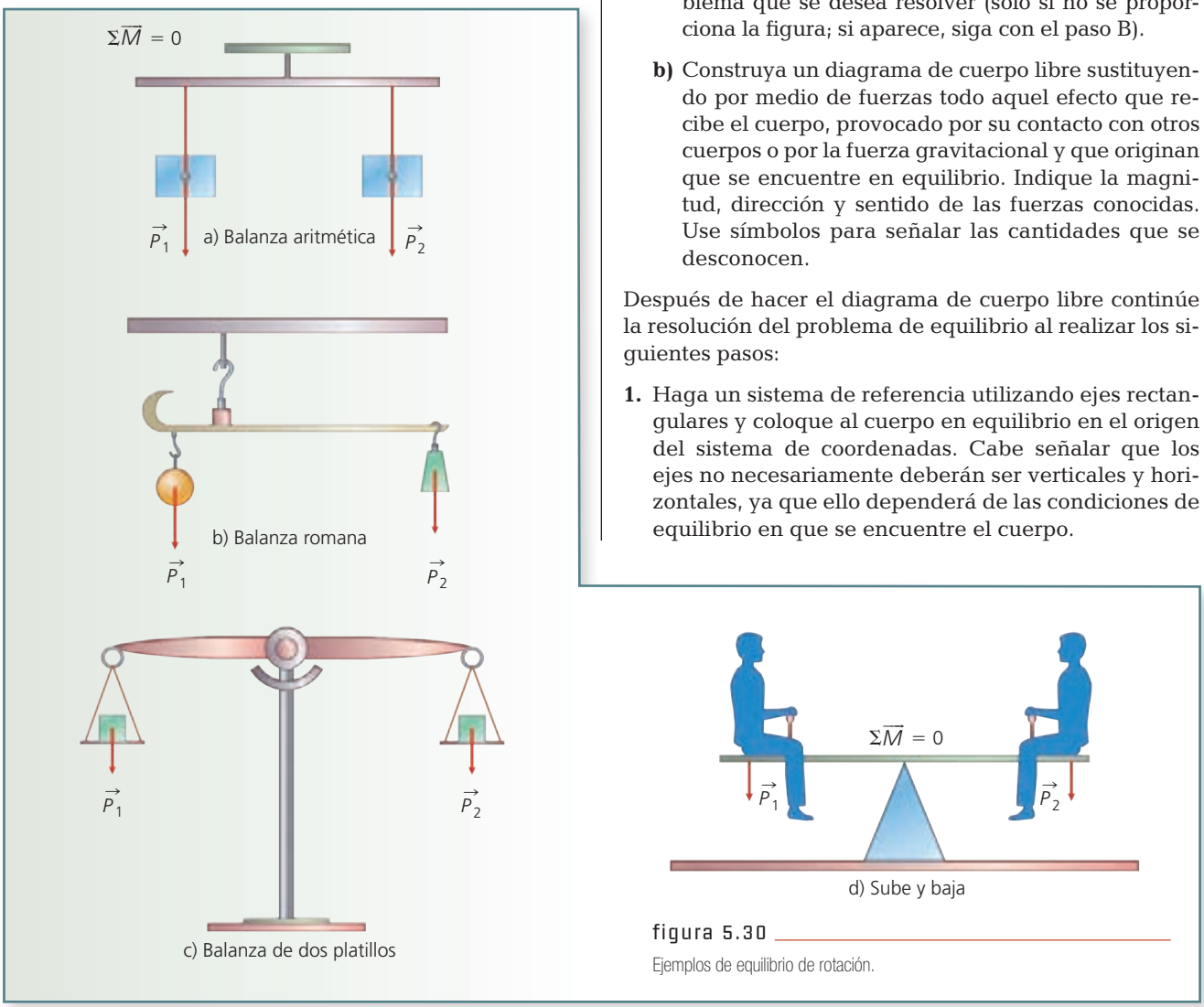


figura 5.30

Ejemplos de equilibrio de rotación.

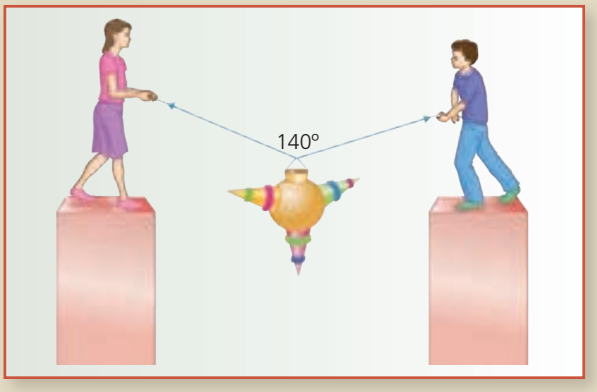
2. Dibuje las componentes rectangulares en los ejes X y en Y de cada vector mediante líneas punteadas. Señale también el valor de los ángulos conocidos.

3. Aplique las ecuaciones de equilibrio que necesite para encontrar las respuestas a las incógnitas buscadas. Dichas ecuaciones son:

1. $\Sigma \vec{F}_x = 0$
2. $\Sigma \vec{F}_y = 0$
3. $\Sigma \vec{M} = 0$

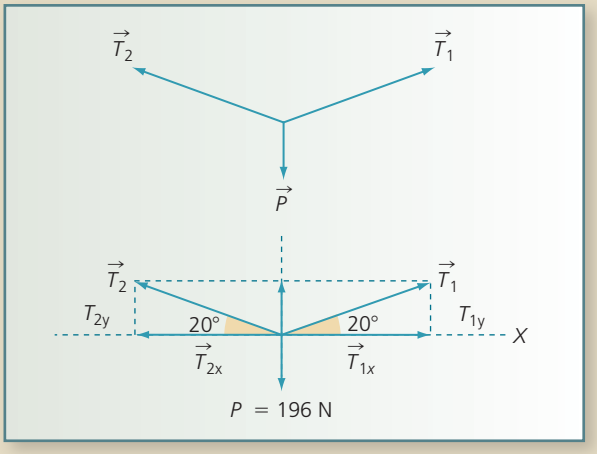
Resolución de problemas de equilibrio de los cuerpos

1 Dos niños sostienen una piñata cuyo peso tiene una magnitud de 196 N, formando un ángulo de 140° con ambas cuerdas, como se ve en la figura. Calcular la magnitud de la fuerza aplicada por cada niño.



Solución:

Diagrama de cuerpo libre:



Como el cuerpo está en equilibrio, tenemos que:

$$\Sigma F_x = 0 = T_{1x} + (-T_{2x})$$

$$\Sigma F_y = 0 = T_{1y} + T_{2y} + (-P)$$

Sustitución:

$$\Sigma F_x = T_1 \cos 20° - T_2 \cos 20° = 0$$

$$\therefore T_1 \cos 20° = T_2 \cos 20°$$

$$T_1 = T_2$$

$$\Sigma F_y = T_1 \operatorname{sen} 20° + T_2 \operatorname{sen} 20° - 196 \text{ N} = 0$$

$$\therefore T_1 \operatorname{sen} 20° + T_2 \operatorname{sen} 20° = 196 \text{ N}$$

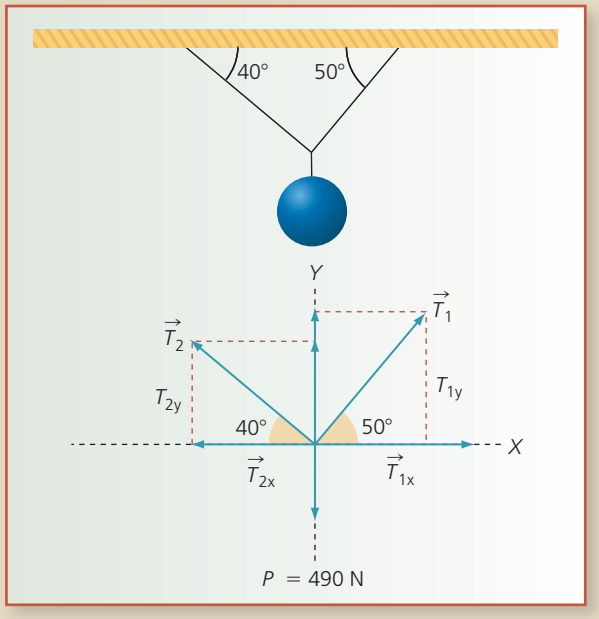
como $T_1 = T_2 = T$

$$2T \operatorname{sen} 20° = 196 \text{ N}$$

$$T = \frac{196 \text{ N}}{2 \operatorname{sen} 20°} = \frac{196 \text{ N}}{2 \times 0.3420} = 286.54 \text{ N}$$

Donde la magnitud de la fuerza aplicada por cada niño es de 286.54 N

2 Un cuerpo tiene un peso con una magnitud de 490 N se encuentra suspendido del techo por medio de dos cuerdas como se ve en la figura. Determine la magnitud de la tensión en cada una de ellas.



Solución:

Como el cuerpo está en equilibrio:

$$\Sigma F_x = 0 = T_{1x} + (-T_{2x})$$

$$\Sigma F_y = 0 = T_{1y} + T_{2y} + (-P)$$

Sustitución:

$$\Sigma F_x = T_1 \cos 50° - T_2 \cos 40° = 0$$

$$\therefore T_1\, 0.6428 = T_2\, 0.7660$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{0.7660}{0.6428} = 1.192$$

Despejando a T_1 tenemos:

$$T_1 = T_2\, 1.192$$

Para encontrar las magnitudes de T_1 y T_2, trabajaremos con la suma de las magnitudes de las fuerzas en el eje Y:

$$\Sigma F_y = T_1 \text{ sen } 50^{\circ} + T_2 \text{ sen } 40^{+} (-490 \text{ N}) = 0$$

$$\therefore T_1\, 0.7660 + T_2\, 0.6428 = 490 \text{ N}$$

Como desconocemos T_1 y T_2, expresamos en esta última ecuación a T_1 en términos de T_2, esto es:

$$T_1 = T_2\, 1.192$$

$$\therefore T_2\, 1.192 \times 0.7660 + T_2\, 0.6428 = 490 \text{ N}$$

Como T_2 es factor común tenemos:

$$T_2\, (1.192 \times 0.7660 + 0.6428) = 490 \text{ N}$$

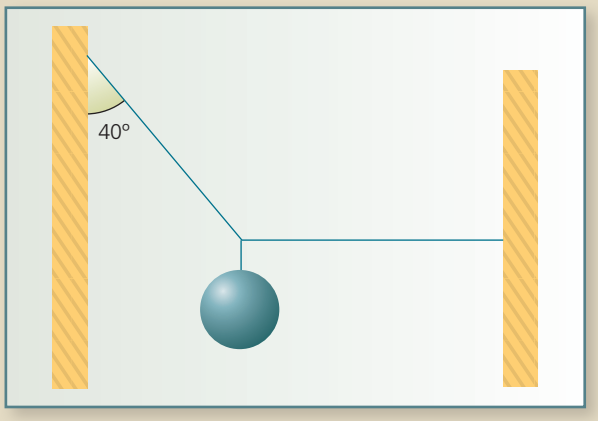
$$T_2\, (0.9131 + 0.6428) = 490 \text{ N}$$

$$T_2 = \frac{490 \text{ N}}{1.5559} = 314.93 \text{ N}$$

Como $T_1 = T_2\, 1.192$

$$T_1 = 314.93 \text{ N} \times 1.192 = 375.39 \text{ N}$$

3 Un cuerpo tiene un peso cuya magnitud es de 680 N y está sujeto por dos cuerdas, como se ve en la figura. Calcular la magnitud de la tensión en cada una de ellas.

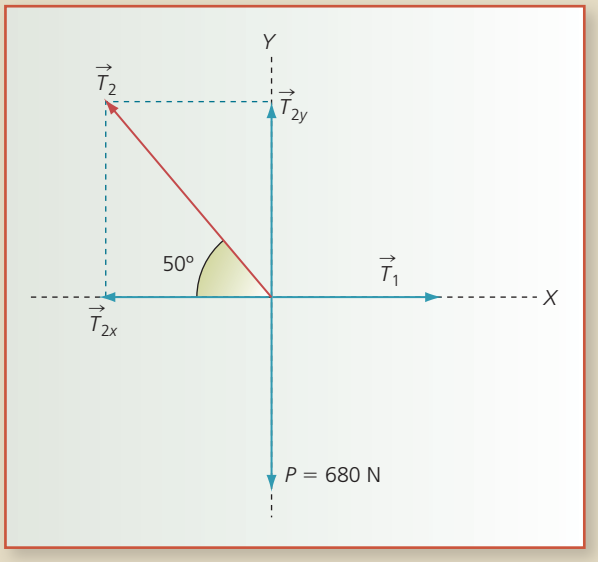


Solución:

Como el cuerpo está en equilibrio:

$$\Sigma F_x = 0 = T_1 - T_{2x}$$

$$\Sigma F_y = 0 = T_{2y} - P$$



Sustitución:

$$\Sigma F_x = T_1 - T_2 \cos 50^{\circ} = 0$$

$$\therefore T_1 = T_2 \cos 50°$$

Para encontrar T_1 y T_2 tenemos que trabajar con la suma de las magnitudes de las fuerzas en el eje de las Y:

$$\Sigma F_y = T_2 \text{ sen } 50° - 680 \text{ N} = 0$$

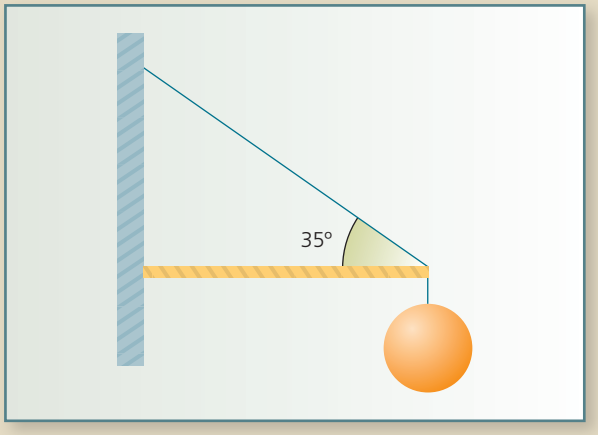
$$\therefore T_2 = \text{sen } 50° = 680 \text{ N}$$

$$T_2 = \frac{680 \text{ N}}{0.7660} = 887.73 \text{ N}$$

Sustituyendo este valor en T_1 tenemos:

$$T_1 = T_2 \cos 50° = 887.73 \text{ N} \times 0.6428 = 570.63 \text{ N}$$

4 Un cuerpo cuyo peso tiene una magnitud de 500 N está suspendido de una armadura, como se ve en la figura. Determinar la magnitud de la tensión de la cuerda y la magnitud del empuje de la barra.

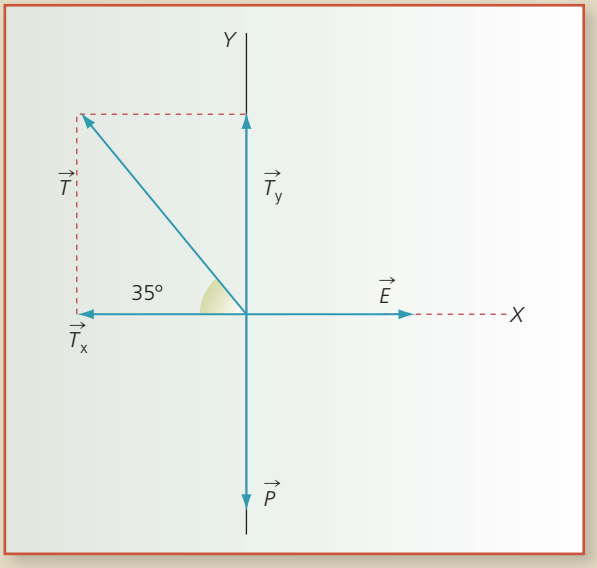


Solución:

Como el cuerpo está en equilibrio:

$$\Sigma F_x = 0 = E + (-T_x)$$

$$\Sigma F_y = 0 = T_y + -P$$



Sustitución:

$$\Sigma F_x = E - T\cos 35° = 0$$

$$\therefore E = T\cos 35°$$

$$\Sigma F_y = T\,\text{sen}\,35° - P = 0$$

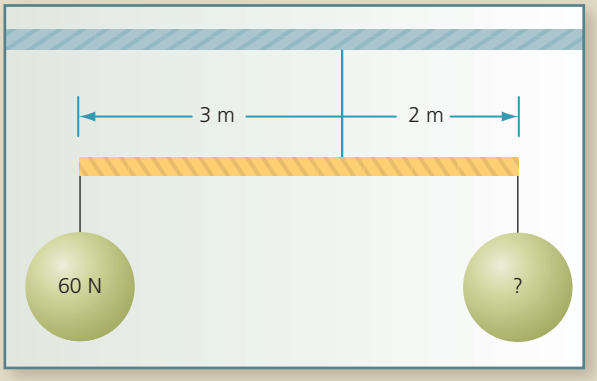
$$\therefore T\,\text{sen}\,35° = P$$

$$T = \frac{P}{\text{sen}\,35°} = \frac{500\ \text{N}}{0.6736} = 871.68\ \text{N}$$

Sustituyendo la magnitud de la tensión para encontrar la magnitud del empuje tenemos:

$$E = T\cos 35° = 871.68\ \text{N} \times 0.8192 = 714.08\ \text{N}$$

5 Sobre una barra uniforme de 5 m se coloca un peso con una magnitud de 60 N a 3 m del punto de apoyo como se ve en la figura.

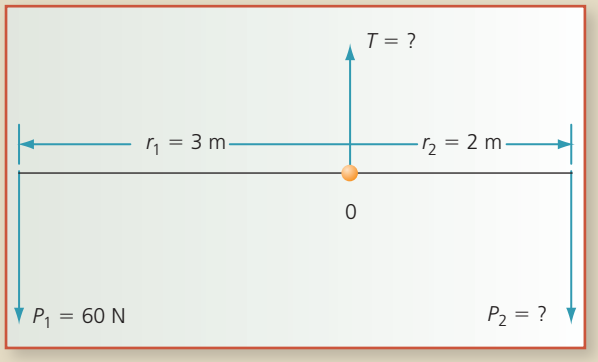


Calcular:

a) La magnitud del peso que se debe aplicar en el otro extremo para que la barra quede en equilibrio.

b) La magnitud de la tensión que soporta el cable que sujeta la barra. Considere despreciable el peso de la barra.

Solución:



a) Para que el cuerpo esté en equilibrio de traslación y de rotación tenemos que:

$$\Sigma F = 0 = T + (-P_1) + (-P_2) \qquad (1)$$

$$\Sigma M_0 = 0 = M_{P_1} + (-M_{P_2}) = 0 \qquad (2)$$

Sustituyendo en la ecuación 1:

$$\Sigma F = T - 60\ \text{N} - P_2 = 0$$

$$\therefore T = 60\ \text{N} + P_2$$

b) Para calcular la magnitud de la tensión debemos conocer la magnitud del peso que equilibrará al sistema, de donde al sustituir en la ecuación 2, tenemos que la suma de las magnitudes de los momentos en el punto 0 es igual a:

$$\Sigma M_0 = P_1 r_1 - P_2 r_2 = 0$$

$$\therefore P_1 r_1 = P_2 r_2$$

$$P_2 = \frac{P_1 r_1}{r_2} = \frac{60\ \text{N} \times 3\ \text{m}}{2\ \text{m}} = 90\ \text{N}$$

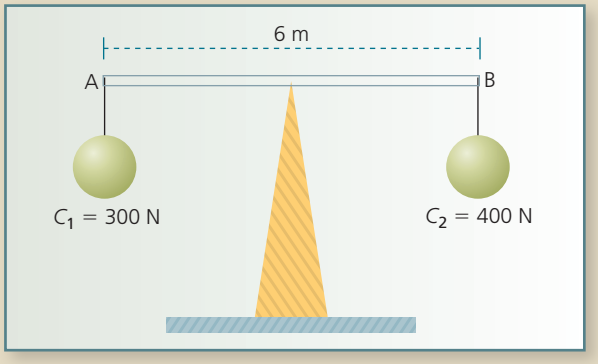
Por tanto, el peso que equilibra tiene una magnitud de 90 N y la magnitud de la tensión del cable es:

$$T = P_1 + P_2 = 60\ \text{N} + 90\ \text{N} = 150\ \text{N}$$

6 Una viga uniforme de peso despreciable soporta dos cargas como se ve en la figura.

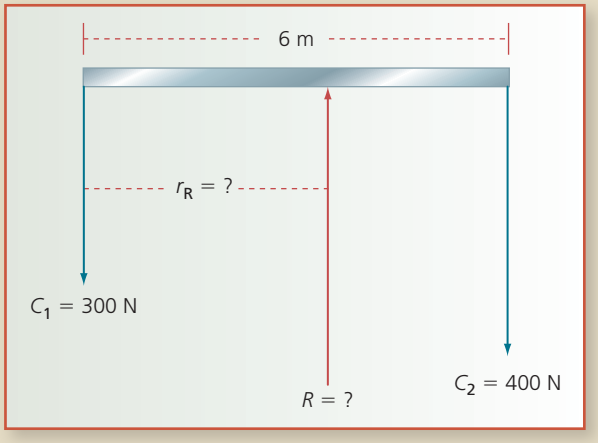
Calcular:

a) ¿Cuál es la magnitud de la fuerza de reacción (R) que se ejerce para equilibrar a la viga?



b) ¿Dónde debe colocarse la fuerza de reacción respecto al punto A?

Solución:



a) Para que el cuerpo esté en equilibrio:

$$\Sigma F = 0 = R + (-C_1) + (-C_2) \quad (1)$$

$$\Sigma M_A = 0 = R r_R + (-C_2 r_{C_2}) \quad (2)$$

Sustituyendo en 1:

$$\Sigma F = R - 300\ \text{N} - 400\ \text{N} = 0$$

$$\therefore R = 700\ \text{N}$$

b) Sustituyendo en 2 y tomando momentos respecto al punto A:

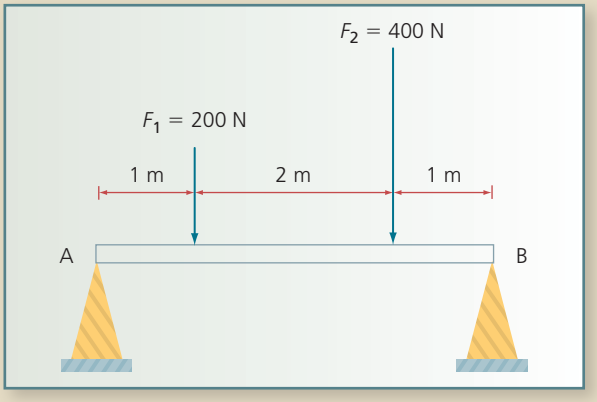
$$\Sigma M_A = 700\ \text{N}\ r_R - 400\ \text{N}\ 6\ \text{m} = 0$$

$$\therefore 700\ \text{N}\ r_R = 400\ \text{N}\ 6\ \text{m}$$

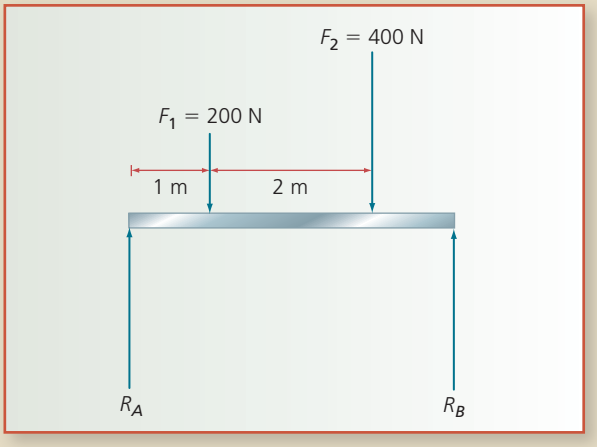
$$r_R = \frac{400\ \text{N}\ 6\ \text{m}}{700\ \text{N}} = 3.43\ \text{m}$$

Por tanto, la reacción tiene una magnitud de 700 N, que equivale a la suma de las magnitudes de las dos cargas y queda colocada a 3.43 m del punto A.

7 Una viga de 4 m de longitud soporta dos cargas, una cuya magnitud es de 200 N y otra de 400 N, como se ve en la figura. Determinar las magnitudes de los esfuerzos de reacción a que se encuentran sujetos los apoyos, considerar despreciable el peso de la viga.



Solución:



Para que la viga esté en equilibrio de traslación y de rotación tenemos que:

$$\Sigma F = 0 = R_A + R_B + (-F_1) + (-F_2) = 0 \quad (1)$$

$$\Sigma M_A = 0 = R_B \times 4\ \text{m} + (-F_2 \times 3\ \text{m}) + (-F_1 \times 1\ \text{m}) = 0 \quad (2)$$

Sustituyendo valores en la ecuación 2, donde se consideran los momentos respecto al punto A tenemos:

$$\Sigma M_A = R_B \times 4\ \text{m} - 400\ \text{N} \times 3\ \text{m} - 200\ \text{N} \times 1\ \text{m} = 0$$

$$\Sigma M_A = R_B \times 4\ \text{m} - 1\,200\ \text{Nm} - 200\ \text{Nm} = 0$$

$$\therefore R_B \times 4\ \text{m} = 1\,400\ \text{Nm}$$

$$R_B = \frac{1\,400\ \text{Nm}}{4\ \text{m}} = 350\ \text{N}$$

Para calcular la magnitud de la reacción en el apoyo A se hace lo mismo, pero ahora tomando momentos respecto al punto B; toda vez que cuando un cuerpo está en equilibrio la suma

de sus momentos en cualquier punto es igual a cero, por lo que $\Sigma M_B = 0$. Sin embargo, es más sencillo calcular la magnitud de la reacción en B partiendo de la ecuación 1, misma que al sustituir valores queda:

$$\Sigma F = R_A + 350\ \text{N} - 200\ \text{N} - 400\ \text{N} = 0$$

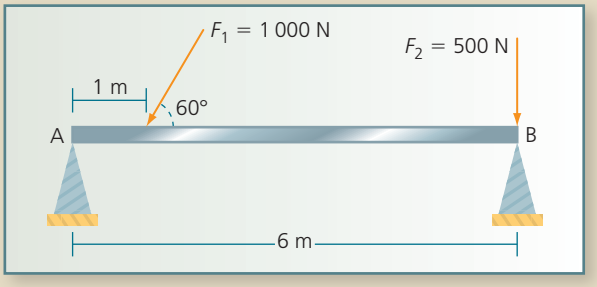
$$\therefore R_A + 350\ \text{N} = 600\ \text{N}$$

$$R_A = 600\ \text{N} - 350\ \text{N} = 250\ \text{N}$$

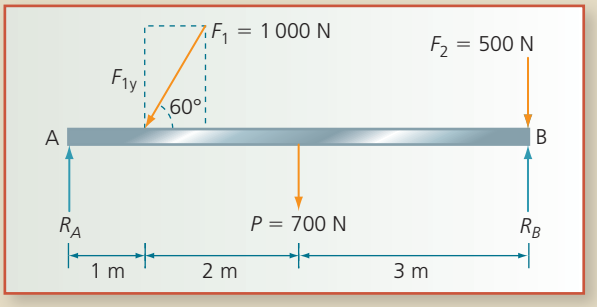
Como se observa, la suma de $R_A + R_B$ es igual a 600 N, magnitud igual a las fuerzas que soportan:

$$F_1 + F_2 = 600\ \text{N}$$

8 Una viga de 6 m de longitud, cuyo peso tiene una magnitud de 700 N, soporta una carga de 1 000 N que forma un ángulo de 60° y otra carga cuya magnitud es de 500 N, como se ve en la figura. Determinar la magnitud de la reacción en el apoyo A y B.



Solución:



Como la fuerza F_1 forma un ángulo de 60° respecto al eje horizontal debemos calcular la magnitud de su componente rectangular sobre el eje vertical, pues es la única que tiene capacidad de hacer girar al cuerpo debido a que la componente rectangular horizontal tiene su línea de acción sobre el plano de la viga y, por tanto, su momento es igual a cero. Por otra parte, el peso de la viga se considera concentrado en su centro de gravedad, esto es, a la mitad de su longitud. Al aplicar las condiciones de equilibrio tenemos:

$$\Sigma F = 0 = R_A + R_B + (-F_{1y}) + (-P) + (-F_2) \qquad (1)$$

$$\Sigma M_A = 0 = R_B \times 6\ \text{m} + (-F_2 \times 6\ \text{m}) + (-P \times 3\ \text{m}) + (-F_{1y} \times 1\ \text{m}) \qquad (2)$$

Sustituyendo valores en la ecuación 2:

$$\Sigma M_A = R_B \times 6\ \text{m} - 500\ \text{N} \times 6\ \text{m} - 700 \times 3\ \text{m} - 1\,000\ \text{N sen}\ 60 \times 1\ \text{m} = 0$$

$$\Sigma M_A = R_B \times 6\ \text{m} - 3\,000\ \text{Nm} - 2\,100\ \text{Nm} - 866\ \text{Nm} = 0$$

$$\Sigma M_A = R_B \times 6\ \text{m} - 5\,966\ \text{Nm} = 0$$

$$\therefore R_B \times 6\ \text{m} = 5\,966\ \text{N}$$

$$R_B = \frac{5\,966\ \text{Nm}}{6\ \text{m}} = 994.33\ \text{N}$$

Para calcular R_A sustituimos el valor de R_B en la ecuación 1:

$$\Sigma F = R_A + 994.33\ \text{N} - 1\,000\ \text{N} \times 0.866 - 700\ \text{N} - 500\ \text{N} = 0$$

$$\Sigma F = R_A + 994.3\ \text{N} - 2\,066\ \text{N} = 0$$

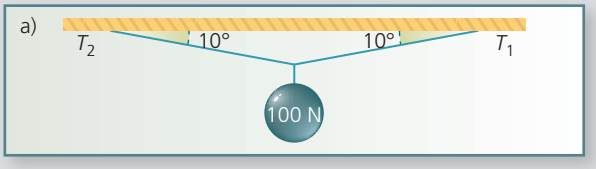
$$\therefore R_A + 994.3\ \text{N} = 2\,066\ \text{N}$$

$$R_A = 2\,066\ \text{N} - 994.3\ \text{N} = 1\,071.7\ \text{N}$$

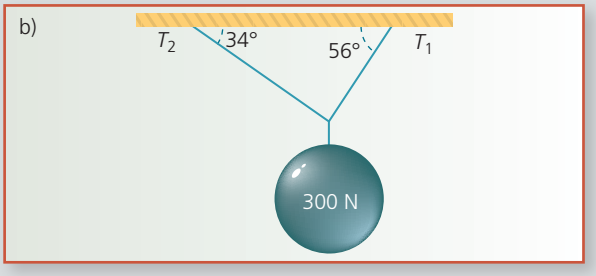
Ejercicios propuestos

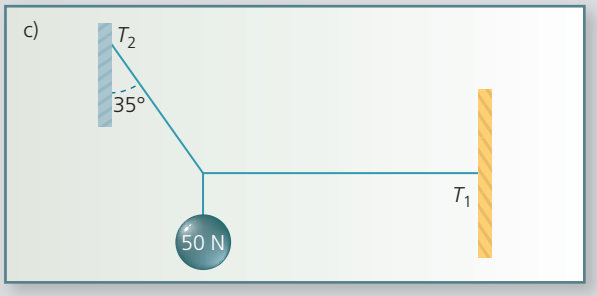
1 Encontrar la magnitud de la tensión que soporta cada una de las cuerdas que sostienen diferentes pesos de acuerdo con las siguientes figuras:

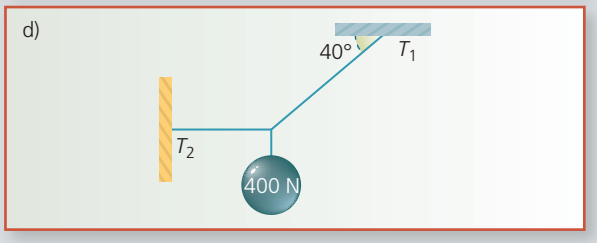
a)



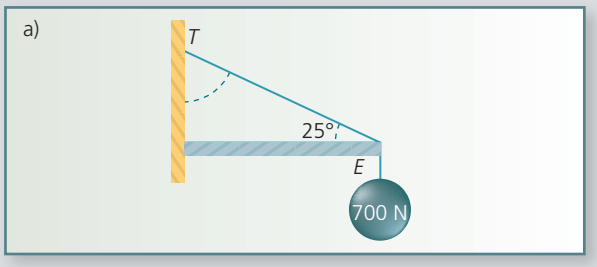
b)

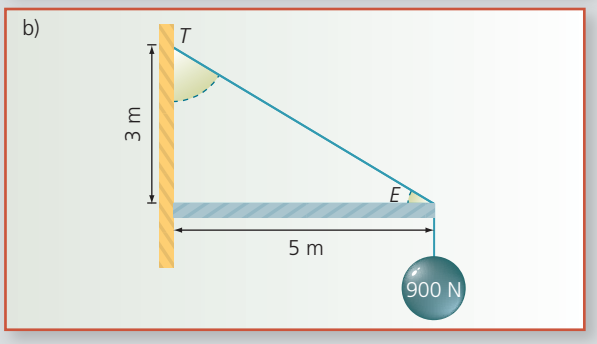




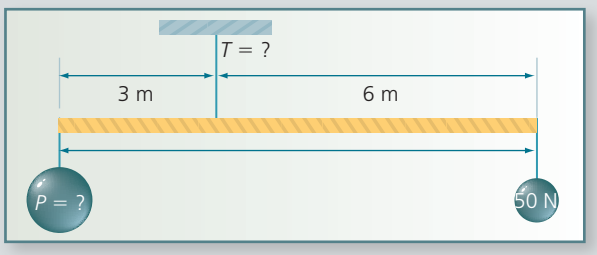


2 Calcular la magnitud de la tensión y la magnitud del empuje de la barra en las siguientes armaduras:

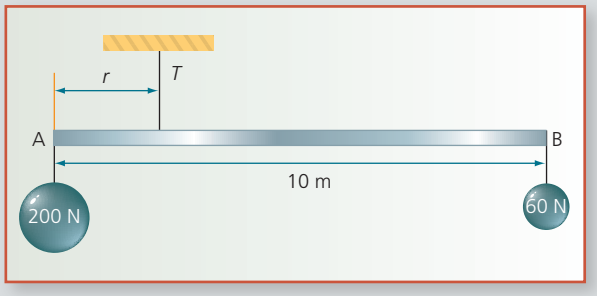




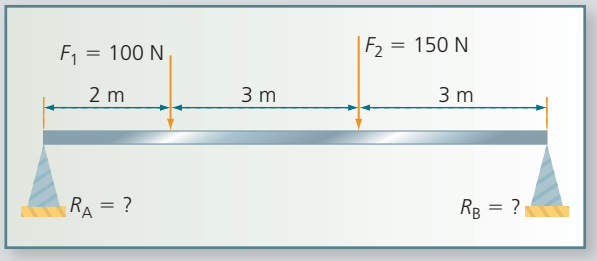
3 Calcular la magnitud del peso que se debe aplicar para que la barra quede en equilibrio y determinar la magnitud de la tensión en la cuerda que sujeta a la barra, si el peso de ésta es despreciable:



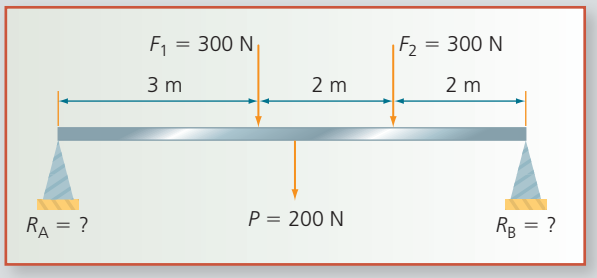
4 Calcular la tensión en la cuerda que sostiene a la siguiente viga y a qué distancia se encuentra del punto A. Considere despreciable el peso de la viga.



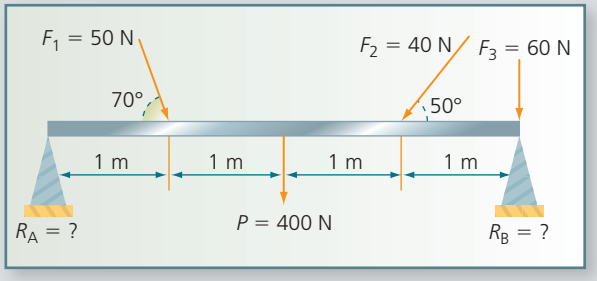
5 Encontrar los valores de los esfuerzos de reacción a que se encuentran sujetos los apoyos en la siguiente viga. Considere despreciable el peso de la viga.



6 Encontrar el valor de los esfuerzos de reacción en cada uno de los apoyos en la siguiente viga, misma que tiene un peso de 200 N.



7 Calcular la reacción en el apoyo A y B de la siguiente viga, cuyo peso es de 400 N.



5 Fricción

Siempre que se quiere desplazar un cuerpo que está en contacto con otro se presenta una fuerza llamada fricción que se opone a su deslizamiento. La fuerza de fricción o de rozamiento sobre un cuerpo es opuesta a su movimiento, o movimiento inminente respecto de la superficie.

La fricción es una fuerza tangencial, paralela a las superficies que están en contacto. Existen dos tipos de fuerza de fricción: estática y dinámica o de movimiento.

La fuerza de fricción estática es la reacción que presenta un cuerpo en reposo oponiéndose a su deslizamiento sobre otra superficie.

La fuerza de fricción dinámica tiene una magnitud igual a la que se requiere aplicar para que un cuerpo se deslice a velocidad constante sobre otro.

La magnitud de la fuerza máxima de fricción estática será en cualquier situación un poco mayor que la de fricción dinámica, ya que se requiere aplicar más fuerza para lograr que un cuerpo inicie su movimiento, que la necesaria para que lo conserve después a velocidad constante.

Un experimento sencillo para estudiar las características de la fricción consiste en colocar sobre una mesa horizontal un bloque de peso conocido, al cual se le ata un hilo, mismo que tiene en su otro extremo un dinamómetro, como se ve en la figura 5.31.

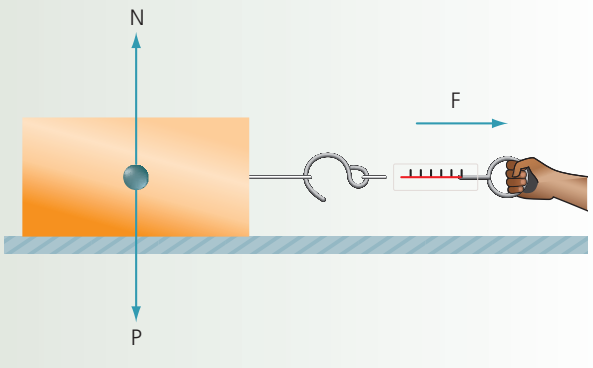


figura 5.31
Experimento para estudiar la fricción.

Se jala poco a poco el dinamómetro y se observa que la magnitud de la fuerza aplicada por la mano va aumentando hasta que llega un momento en que si se incrementa un poco más, el bloque comenzará a deslizarse sobre la superficie. Por tanto, observamos que la fuerza de fricción estática no es constante, sino que a medida que jalamos el cuerpo aumenta. La fuerza máxima estática (*Fme*) se alcanza un instante antes de que el cuerpo inicie su deslizamiento.

Si le colocamos al bloque una pesa encima, cuya magnitud sea igual al peso del bloque, tendremos que al aumentar el peso se ejercerá sobre la mesa una mayor acción, y como reacción la magnitud de la normal (N) será igual al peso del bloque más el de la pesa. Si ahora jalamos nuevamente el sistema bloque-pesa se observará que el dinamómetro señala una fuerza máxima estática al doble que cuando se tenía al bloque solo. Si se triplica el peso del bloque la normal también se triplicará y la fuerza máxima estática registrada en el dinamómetro señalará el triple.

Por lo anterior, podemos concluir que la magnitud de la fuerza máxima estática (*Fme*) es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza normal (N) que tiende a mantener unidas ambas superficies debido al peso donde: $Fme \propto N$. Podemos transformar esta relación en una igualdad, si cambiamos el signo de proporcionalidad (α) por un signo de igual e incluimos una constante de proporcionalidad que será μ_e. Por tanto, tenemos que

$$Fme = \mu_e N$$

donde: *Fme* = magnitud de la fuerza máxima de fricción estática en newtons (N)

N = magnitud de la fuerza normal que tiende a mantener unidas las superficies en contacto debido al peso en newtons (N)

μ_e = constante de proporcionalidad llamada coeficiente de fricción estático, sin unidades

Si de la ecuación anterior despejamos μ_e tenemos:

$$\mu_e = \frac{Fme}{N} \text{ (adimensional)}$$

Por definición, el coeficiente de fricción estático es la relación entre la magnitud de la fuerza máxima de fricción estática y la magnitud de la normal. Como se observa, es adimensional, o sea que carece de unidades, ya que es el resultado de dividir dos magnitudes de fuerzas.

Para estudiar ahora la fuerza de fricción dinámica (F_d) le quitamos las pesas al bloque a fin de registrar la magnitud de la fuerza que se necesita para moverlo con velocidad constante. Observaremos que **la fuerza de fricción dinámica actuará siempre en la misma dirección, pero en sentido contrario al movimiento del bloque**, es decir, en sentido contrario a la velocidad, provocando una aceleración negativa y consecuentemente un frenado. **Una vez iniciado el movimiento la fuerza de fricción dinámica se mantiene constante, independientemente de que la magnitud de la velocidad sea grande o pequeña.** Si se aumenta la magnitud del peso del bloque al doble y al triple se observa también que la magnitud de la fuerza de fricción

dinámica se duplica o triplica respectivamente, por tanto, es directamente proporcional a la magnitud de la normal entre las superficies ($F_d \alpha N$), por lo que puede escribirse:

$$F_d = \mu_d N$$

donde: F_d = magnitud de la fuerza de fricción dinámica en newtons (N)

N = magnitud de la fuerza normal entre las superficies debido al peso en newtons (N)

μ_d = coeficiente de fricción dinámico, sin unidades

Al despejar a μ_d tenemos:

$$\mu_d = \frac{Fd}{N} \text{ (adimensional)}$$

Por definición, el coeficiente de fricción dinámico es la relación entre la magnitud de la fuerza de fricción dinámica y la magnitud de la fuerza normal que tiende a mantener unidas dos superficies. Es adimensional.

Al continuar con nuestro experimento podemos cambiar la superficie por la que se desliza el bloque, colocando una placa de vidrio, una cartulina, una tela o una placa metálica. Observaremos que la magnitud de la fricción depende del grado de rugosidad de la superficie, es decir, que **en las superficies lisas la fricción es de una magnitud menor.**

Finalmente, apoyamos el bloque sobre una de sus caras de menor área y comprobaremos que **la magnitud de la fuerza de fricción es prácticamente independiente de la superficie de deslizamiento,** por tanto, obtendremos aproximadamente las mismas magnitudes de la fuerza de fricción para un cuerpo que se desliza sobre una superficie plana, si es arrastrado por cualquiera de sus caras.

Ventajas y desventajas de la fricción

La fuerza de fricción se manifiesta en nuestra vida diaria prácticamente en todo momento, pues se presenta cuando caminamos, ya que sin la fricción de los zapatos con el suelo nos resbalaríamos. También gracias a la fricción es posible la escritura; sostener cualquier objeto con las manos; lavar pisos, paredes o ropa; frenar un vehículo, pues al aplicar el freno el roce de las balatas con el tambor de los neumáticos y el roce de éstos con el suelo permiten detenerlo si se desea; cuando llueve o cae granizo la fricción con el aire evita que las gotas de agua o los trozos de hielo caigan con más fuerza sobre nosotros una vez que alcanzan su velocidad límite o terminal (ver caída libre en la sección 9 de la unidad 4), pulir metales, brillantes o pedrería para joyería; los meteoritos que penetran a nuestra atmósfera se desintegran por el calor producido al rozar con el aire, ello nos evita los graves riesgos a los que estaríamos expuestos si de repente cayera sobre nosotros una gran masa proveniente del espacio.

La fricción no siempre está ofreciéndonos ventajas, pues debido a ella se presentan los siguientes inconvenientes: se produce un considerable desgaste en la ropa, zapatos, neumáticos, piezas metálicas, pisos, alfombras, paredes, etc.; una gran parte de la energía suministrada a las máquinas se pierde por el calor no aprovechable que se produce por la fricción.

Actualmente, el hombre ha encontrado varias formas para reducir la fricción y para ello usa aceites, lubricantes, cojinetes de bolas o baleros, pues el rozamiento es menor en superficies rodantes que en las deslizantes. Asimismo, emplea superficies lisas en lugar de rugosas.

De lo anterior podemos concluir que la magnitud de la fuerza de fricción se puede aumentar o disminuir cuando sea conveniente.

Resolución de problemas de fricción

1 Un instante antes de que una viga de madera que tiene un peso con una magnitud de 490 N comience a deslizarse sobre una superficie horizontal de cemento, se aplica una fuerza máxima de fricción estática cuya magnitud es de 392 N, como se ve en la figura. Calcular el coeficiente de fricción estático entre la madera y el cemento.

Solución:

Datos

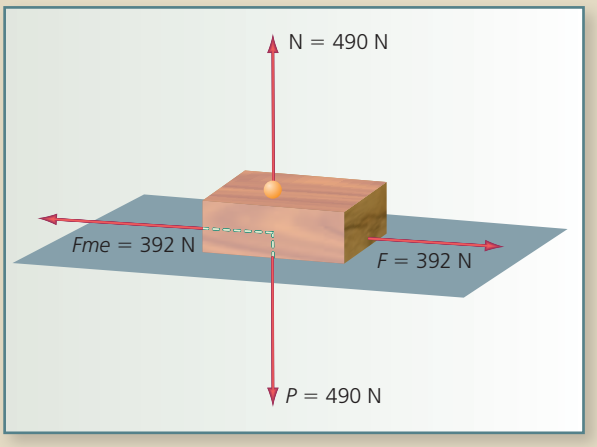
$P = N = 490$ N

$Fme = 392$ N

$\mu_e = ?$

Fórmula

$$\mu_e = \frac{Fme}{N}$$



Sustitución y resultado

$$\mu_e = \frac{392\ \text{N}}{490\ \text{N}} = 0.8$$

2 Para que un bloque de madera que tiene un peso con una magnitud de 60 N iniciara su deslizamiento con una velocidad constante sobre una mesa de madera, se aplicó una fuerza cuya magnitud es de 21 N. Calcular el coeficiente de fricción dinámico entre las dos superficies.

Solución:

Datos

$P = \text{N} = 60\ \text{N}$

$F_\text{d} = 21\ \text{N}$

$\mu_\text{d} = ?$

Fórmula

$$\mu_d = \frac{F_d}{\text{N}}$$

Sustitución y resultado

$$\mu_d = \frac{21\ \text{N}}{60\ \text{N}} = 0.35$$

3 Calcular la magnitud de la fuerza que se necesita aplicar a un cuerpo cuyo peso tiene una magnitud de 500 N para deslizarlo horizontalmente con una velocidad constante sobre una superficie cuyo coeficiente de fricción dinámico es de 0.4.

Solución:

Datos

$F = ?$

$P = 500\ \text{N}$

$\mu_d = 0.4$

Solución:

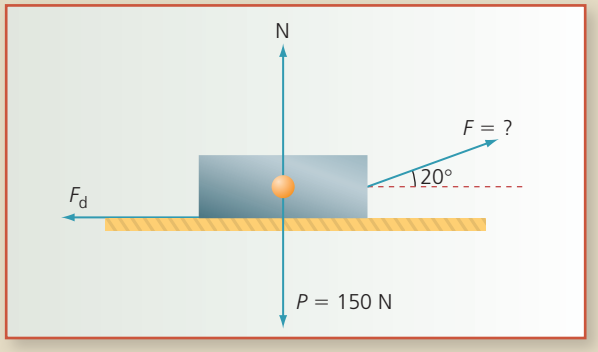
Como la fuerza que se requiere aplicar es de la misma magnitud que la fuerza de fricción dinámica, pero de sentido contrario, tenemos que:

$$F_d = \mu_d \text{N}$$

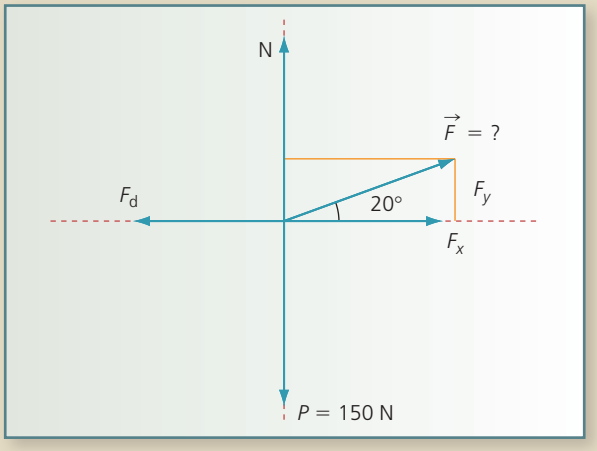
donde:

$$F_d = 0.4 \times 500\ \text{N} = 200\ \text{N}$$

4 Calcular la magnitud de la fuerza que se debe aplicar para deslizar al bloque de la siguiente figura a velocidad constante, si tiene un peso cuya magnitud es de 150 N y el coeficiente de fricción dinámico es de 0.3.



Solución:



Como se observa, la fuerza que se aplica al bloque tiene un ángulo de 20° respecto a la horizontal, por tal motivo su componente horizontal F_x es la que desplaza al bloque y tendrá una magnitud igual, pero de sentido opuesto a la fuerza de fricción F_d. Por otra parte, la componente vertical de la fuerza, o sea, F_y, al actuar sobre el cuerpo con sentido hacia arriba contribuye a levantarlo reduciendo la fuerza de fricción entre las superficies, por lo que la fuerza normal será igual al peso del bloque menos la magnitud de la componente F_y de la fuerza. Si se resuelve tenemos:

$$\Sigma F_x = F_x - F_d = 0 \qquad (1)$$

$$\Sigma F_y = \text{N} + (-P) + F_y = 0 \qquad (2)$$

De la ecuación 1:

$$F_x = F_d = \mu_d \text{N} \qquad (3)$$

De la ecuación 2:

$$\text{N} = P - F_y \qquad (4)$$

Sustituyendo 4 en 3:

$$F_x = \mu_d (P - F_y) \qquad (5)$$

como: $$F_x = F \cos 20° = F\ 0.9397 \qquad (6)$$

$$F_y = F \operatorname{sen} 20° = F\ 0.3420 \qquad (7)$$

Sustituyendo 6 y 7 en 5:

$$F\ 0.9397 = 0.3\ (150\ \text{N} - F\ 0.3420)$$

$$F\ 0.9397 = 45\ \text{N} - F\ 0.1$$

$$F\ 0.9397 + F\ 0.1 = 45\ \text{N}$$

$$F\ 1.0397 = 45\ \text{N}$$

$$F = \frac{45\ \text{N}}{1.0397} = 43.28\ \text{N}$$

Donde la fuerza que se debe aplicar al bloque es de 43.28 N con un ángulo de 20° respecto a la horizontal para que se desplace con una velocidad constante.

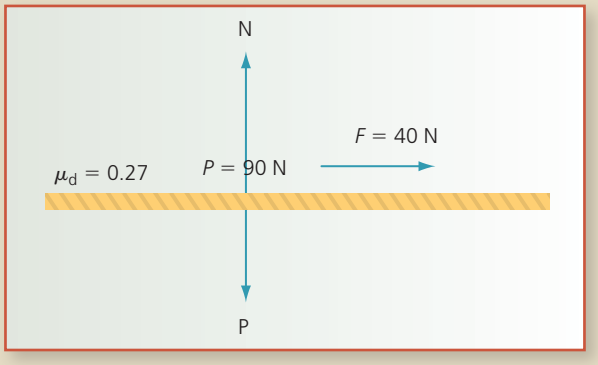
5 Se aplica una fuerza cuya magnitud es de 40 N durante 5 segundos, sobre un bloque cuyo peso tiene una magnitud de 90 N para desplazarlo sobre una superficie horizontal, con un coeficiente de fricción dinámico de 0.27.

Calcular:

a) La magnitud de la aceleración del bloque.

b) La magnitud de la velocidad que llevará a los cinco segundos.

c) La distancia que recorre el bloque al cabo de los cinco segundos.



Solución:

Datos

$F = 40$ N

$t = 5$ s

$P = 90$ N

$\mu_d = 0.27$

a) $a = ?$

b) $v_{5s} = ?$

c) $d_{5s} = ?$

a) La aceleración que recibe el cuerpo se debe a la fuerza resultante (F_R) que actúa sobre él y cuya magnitud es:

$$F_R = F - F_d$$

como $F_d = \mu_d N$

$$F_R = 40 \text{ N} - 0.27 \times 90 \text{ N} = 40 \text{ N} - 24.3 \text{ N} = 15.7 \text{ N}$$

$$a = \frac{F_R}{m} = \frac{F_R}{\frac{P}{g}} = \frac{15.7 \text{ N}}{\frac{90 \text{ N}}{9.8 \text{ m/s}^2}} = 1.71 \text{ m/s}^2$$

b) Como la aceleración es constante la magnitud de la velocidad a los cinco segundos será:

$$v = at = 1.71 \text{ m/s}^2 \times 5 \text{ s} = 8.55 \text{ m/s}$$

c) La distancia recorrida a los cinco segundos es:

$$d = \frac{at^2}{2} = \frac{1.71 \text{ m/s}^2 (5 \text{ s})^2}{2} = 21.38 \text{ m}$$

6 Una motocicleta cuyo peso tiene una magnitud de 1 800 N se mueve a una velocidad cuya magnitud es de 60 km/h. Al aplicar los frenos se detiene a una distancia de 25 m. Calcular la magnitud de la fuerza de fricción promedio que la detiene.

Datos

$P = 1\,800$ N

$V_0 = 60$ km/h

$d = 25$ m

$F = ?$

Solución:

Como las unidades deben estar en el mismo sistema de unidades transformamos la magnitud de la velocidad a m/s:

$$v_0 = 60 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1\,000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} = 16.66 \text{ m/s}$$

La magnitud de la fuerza de fricción que detiene a la motocicleta es igual a:

$$F = ma$$

como $m = \frac{P}{g}$; sustituyendo m en la ecuación, tenemos:

$$F = \frac{P}{g} \text{ a} \qquad (1)$$

Puesto que desconocemos la magnitud de la aceleración, la calculamos a partir de una de las ecuaciones usadas para la velocidad final (vista en la unidad 4, sección 9: Deducción de las ecuaciones utilizadas en el MRUA para movimiento rectilíneo uniformemente acelerado).

$$v_f^2 = v_0^2 + 2\,ad$$

Cuando la motocicleta se detiene $v_f = 0$; donde: $0 = v_0^2 + 2$ ad, despejando a la aceleración tenemos:

$$a = -\frac{v_0^2}{2d} = -\frac{(16.66 \text{ m/s})^2}{2 \times 25 \text{ m}} = -5.55 \text{ m/s}^2$$

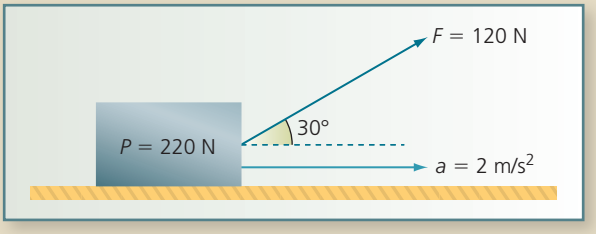
Sustituyendo en la ecuación 1:

$$F = \frac{1\,800 \text{ N}}{9.8 \text{ m/s}^2} \times -5.55 \text{ m/s}^2 = -1\,019.39 \text{ N}$$

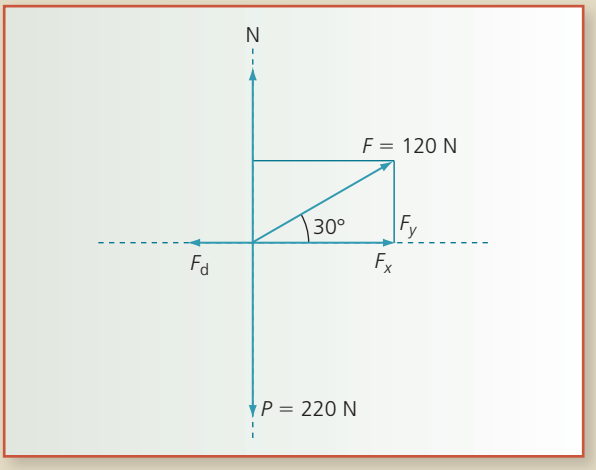
Por tanto, la magnitud de la fuerza de fricción promedio que detiene a la motocicleta es de 1 019.39 N.

7 Se aplica una fuerza cuya magnitud es de 120 N formando un ángulo de 30° con la horizontal sobre un bloque de 220 N, como se ve en la figura. Si el bloque adquiere una aceleración cuya

magnitud es de 2 m/s² calcular el coeficiente de fricción dinámico.



Solución:



Como el bloque recibe una aceleración cuya magnitud es de 2 m/s² es evidente que la magnitud de la fuerza resultante (F_R) que la provoca equivale a la diferencia entre la magnitud de la componente (F_x) de $F = 120$ N y la magnitud de la fuerza de fricción dinámica (F_d), donde:

$$\Sigma F_x = F_R = F_x - F_d = ma \qquad (1)$$

$$F_R = ma = \frac{P}{g}a = \frac{220\text{ N}}{9.8\text{ m/s}^2} \times 2\text{ m/s}^2 = 44.90\text{ N}$$

$$F_x = F\cos 30^\circ = 120\text{ N} \times 0.8660 = 103.92\text{ N}$$

como $F_R = F_x - F_d$

despejamos F_d:

$$F_d = F_x - F_R = 103.92\text{ N} - 44.90 = 59.02\text{ N}$$

como $\mu_d = \frac{F_d}{N}$ tenemos que N vale:

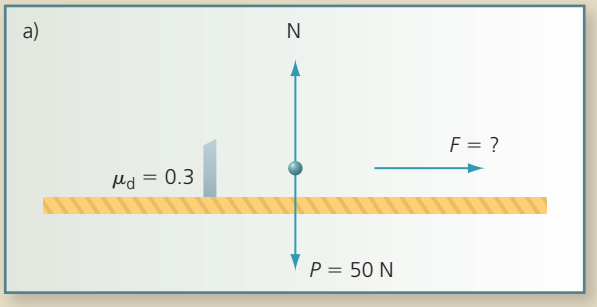
$$\begin{aligned} N &= P - F_y \\ &= 220\text{ N} - 120\text{ N} \times \text{sen } 30^\circ \\ &= 220\text{ N} - 120\text{ N} \times 0.5 \\ &= 160\text{ N} \end{aligned}$$

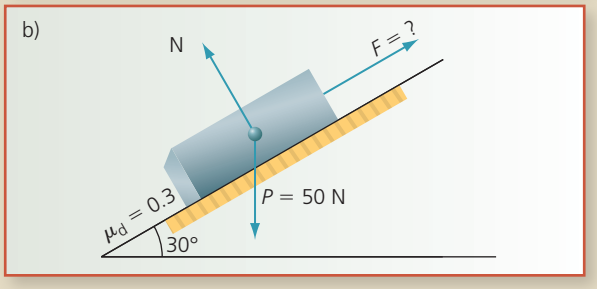
$$\therefore \mu_d = \frac{59.02\text{ N}}{160\text{ N}} = 0.369$$

8 Un bloque cuyo peso tiene una magnitud de 50 N se desliza sobre una tabla existiendo un coeficiente de fricción dinámica de 0.3. Calcular la magnitud de la fuerza que se debe aplicar al bloque para que se mueva con una velocidad constante si:

a) La tabla se encuentra sobre una superficie horizontal [figura a)].

b) La tabla forma un ángulo de 30° respecto al plano horizontal [figura b)].





Solución:

a) Como la fuerza que se aplica para que el bloque se mueva a velocidad constante tiene una magnitud igual a la fuerza de fricción dinámica, tenemos:

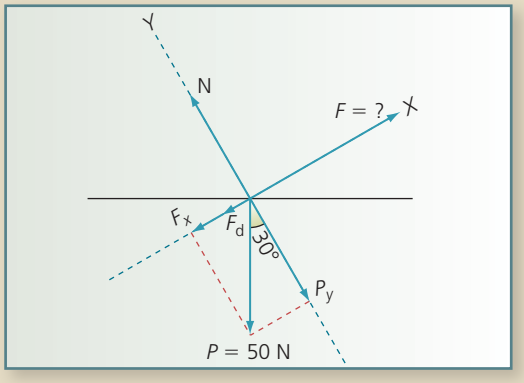
$$F = F_d = \mu_d N$$

Dado que el bloque está apoyado horizontalmente y la fuerza para moverlo es paralela al plano, la magnitud de la normal es igual a la magnitud del peso del bloque.

Sustituyendo tenemos:

$$F = F_d = 0.3 \times 50\text{ N} = 15\text{ N}$$

b)



Como se observa, el peso del bloque es una fuerza que actúa verticalmente sobre él y se descompone en dos fuerzas menores, una perpendicular al plano, es decir, P_y y otra paralela al plano, es decir, P_x. La fuerza normal que tiende a mantener unido el bloque a la tabla será igual y opuesta a la magnitud de la componente P_y del peso, ya que su componente P_x actúa paralelamente al plano oponiéndose al movimiento ascendente del bloque, tal como se opone la fuerza de fricción dinámica. Por tanto, de acuerdo con las ecuaciones de equilibrio tenemos:

$$\Sigma F_y = N + P_y = 0 \quad (1)$$

$$\Sigma F_x = F + P_x + F_d = 0 \quad (2)$$

Las magnitudes de las componentes del peso son:

$$P_x = P \operatorname{sen} 30° = 50\ N \times 0.5 = 25\ N$$

$$P_y = P \cos 30° = 50\ N \times 0.8660 = 43.3\ N$$

De acuerdo con la ecuación 1 tenemos:

$$N = P_y = 43.3\ N$$

Por tanto, la magnitud de la fuerza de fricción dinámica es:

$$F_d = \mu_d N = 0.3 \times 43.3\ N = 12.99\ N$$

Por lo que al sustituir valores en la ecuación 2 tenemos:

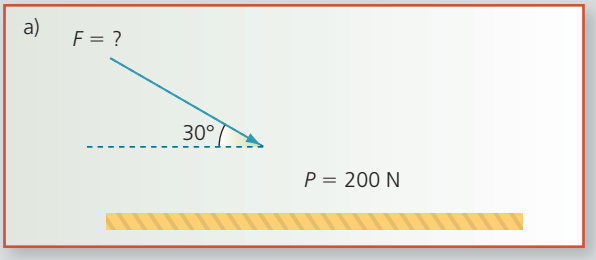
$$F + (-25\ N) + (-12.99\ N) = 0$$

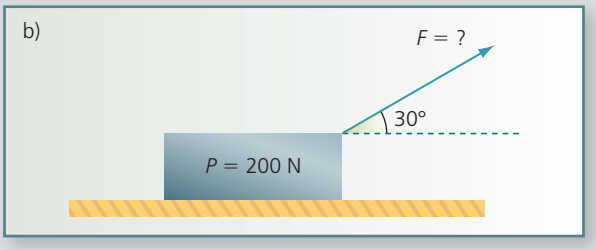
$F = 37.99$ N (magnitud de la fuerza necesaria para que el bloque ascienda con una velocidad constante)

Nota: Si tuvo dificultad para comprender cómo se descompone el peso del cuerpo en un plano inclinado, consulte la sección 4: Relación entre el peso de un cuerpo y la fuerza de gravedad y descomposición del peso en un plano inclinado.

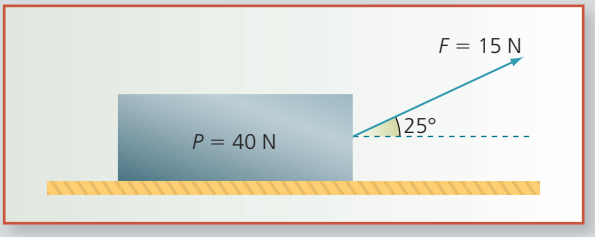
Ejercicios propuestos

1. Un bloque de madera cuyo peso tiene una magnitud de 20 N es jalado con una fuerza máxima estática cuya magnitud es de 12 N; al tratar de deslizarlo sobre una superficie horizontal de madera, ¿cuál es el coeficiente de fricción estático entre las dos superficies?
2. Se aplica una fuerza cuya magnitud es de 85 N sobre un cuerpo para deslizarlo a velocidad constante sobre una superficie horizontal. Si la masa del cuerpo es de 21.7 kg, ¿cuál es el coeficiente de fricción dinámico?
3. Se requiere mover un bloque cuyo peso tiene una magnitud de 30 N sobre una superficie horizontal a una velocidad constante, si el coeficiente de fricción dinámico es de 0.5, determine la magnitud de la fuerza que se necesita para moverlo y la magnitud de la aceleración que adquirirá el bloque si se le aplica el doble de la magnitud de la fuerza calculada.
4. Calcular la magnitud de la fuerza que se debe aplicar para deslizar un bloque cuyo peso tiene una magnitud de 200 N con velocidad constante sobre una superficie con coeficiente de fricción igual a 0.4, al presentarse las siguientes situaciones:
   a) Se empuja el bloque con un ángulo de 30° [figura a)].
   b) Se jala el bloque con un ángulo de 30° [figura b)].





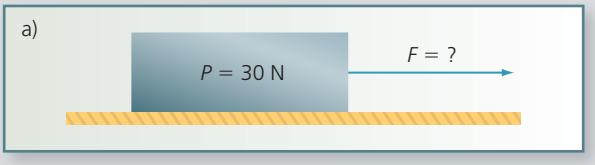
5. Un camión de carga cuyo peso tiene una magnitud de 98 000 N viaja a una velocidad cuya magnitud es de 70 km/h, el conductor aplica los frenos y lo detiene a una distancia de 100 m. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza de fricción promedio que lo detiene?
6. Sobre un bloque de 40 N se aplica una fuerza cuya magnitud es de 15 N formando un ángulo de 25° con la horizontal, como se ve en la figura. Si el bloque adquiere una aceleración cuya magnitud es de 1.5 m/s² calcular el coeficiente de fricción dinámico.

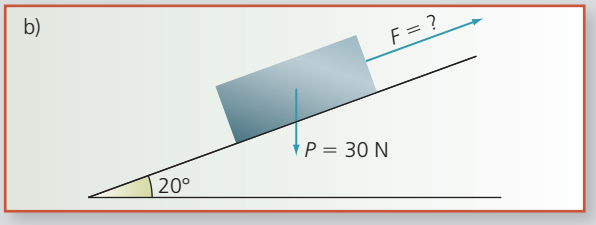


7 Un bloque cuyo peso tiene una magnitud de 30 N se desliza sobre una tabla al existir un coeficiente de fricción dinámico de 0.4. Determinar la magnitud de la fuerza que se debe aplicar al bloque para que se mueva con una velocidad constante cuando:

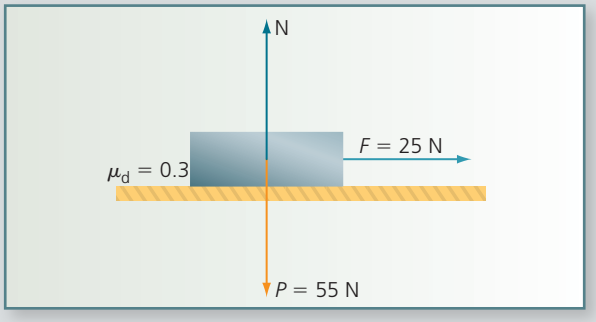
a) La tabla se encuentra sobre una superficie horizontal [figura a)].

b) La tabla forma un ángulo de 20° respecto al plano horizontal [figura b)].





8 Se aplica una fuerza cuya magnitud es de 25 N durante 4 segundos sobre un bloque de 55 N para desplazarlo en una superficie horizontal con un coeficiente de fricción dinámico de 0.3. Calcular la magnitud de la velocidad que adquiere el bloque a los 4 segundos y la distancia recorrida en ese tiempo.



6 Trabajo mecánico

En nuestra vida diaria es muy común escuchar a alguien decir que le costó mucho trabajo encontrar tal o cual herramienta, prenda de vestir, libro, calle o cualquier otra cosa. De igual manera, se dice que triunfar en la vida, obtener un diploma y destacar como técnico especializado o profesional en alguna de las ramas del conocimiento humano, requiere esfuerzo, dedicación y trabajo constante. Pero entonces, ¿qué es trabajo? Si esta pregunta se la hacemos a diferentes personas nos encontraremos con una gran diversidad de respuestas, pues lo que para unos es trabajo para otros es una diversión, pasatiempo, objeto de estudio o tema de interés. Por fortuna, desde el punto de vista de la Física, el trabajo sólo tiene una interpretación y es la siguiente:

El trabajo es una magnitud escalar producida sólo cuando una fuerza mueve un cuerpo en la misma dirección en que se aplica. Su valor se calcula multiplicando la magnitud de la componente de la fuerza localizada en la misma dirección en que se efectúa el movimiento del cuerpo, por la magnitud del desplazamiento que éste realiza.

$$T = F \cos \theta \, d$$

Es común expresar el trabajo de la siguiente manera:

$$T = Fd \cos \theta$$

donde: T = trabajo realizado en Nm = joule = J

$F \cos \theta$ = magnitud de la componente de la fuerza en la dirección del movimiento en newtons (N)

d = magnitud del desplazamiento en metros (m)

Si la fuerza que mueve el cuerpo se encuentra totalmente en la misma dirección en que se efectúa el desplazamiento, el ángulo θ es igual a cero y el $\cos \theta = \cos 0° = 1$, donde el trabajo será igual a:

$$T = Fd$$

Se realiza un trabajo de un joule (1 J) cuando al aplicar una fuerza cuya magnitud es de un newton a un cuerpo, éste se desplaza un metro. De donde:

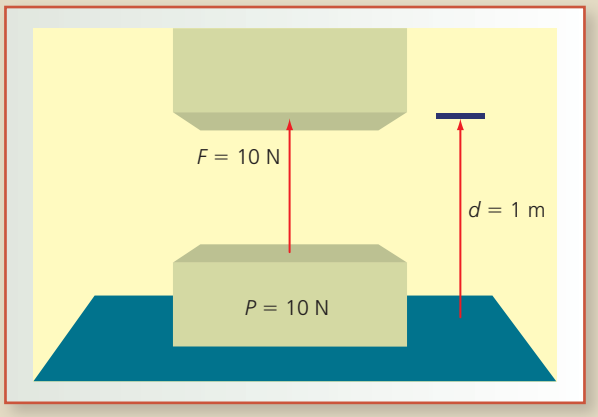
$$1 \, J = \text{Nm}$$

Nota: El trabajo mecánico es la magnitud física que se obtiene como resultado del producto escalar de dos vectores: fuerza ($\vec{F}$) y desplazamiento ($\vec{d}$) (ver la sección 14 de la unidad 3), de donde:

$$T = \vec{F} \cdot \vec{d} = Fd \cos \theta$$

Resolución de problemas en los que se realiza trabajo mecánico

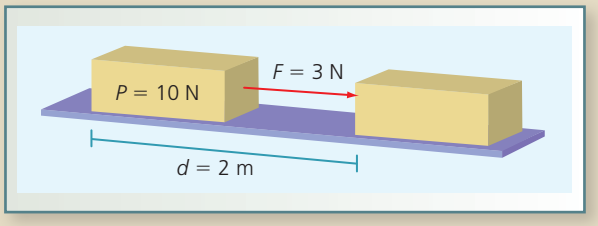
1 En la siguiente figura vemos a un cuerpo cuyo peso tiene una magnitud de 10 N y se levanta a una altura de 1 m. ¿A cuánto equivale el trabajo realizado?



Solución:

$$T = Fd = 10\ \text{N} \times 1\ \text{m} = 10\ \text{J}$$

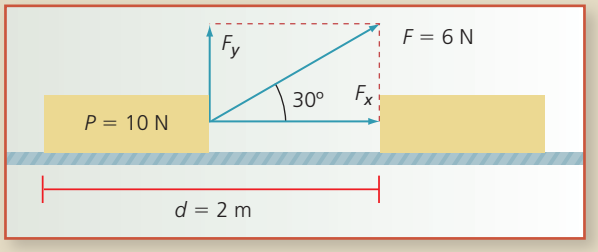
2 Si el mismo cuerpo es empujado ahora en forma horizontal con una fuerza cuya magnitud es de 3 N suficiente para vencer la fuerza de fricción y desplazarlo 2 m con velocidad constante, ¿a cuánto es igual el trabajo realizado por dicha fuerza?



Solución:

$$T = Fd = 3\ \text{N} \times 2\ \text{m} = 6\ \text{J}$$

3 En la siguiente figura tenemos al mismo cuerpo anterior, pero ahora es jalado por una fuerza cuya magnitud es de 6 N que forma un ángulo de 30° respecto a la dirección del desplazamiento. ¿Cuál será el valor del trabajo realizado si el desplazamiento del cuerpo es de 2 m?



Solución:

Al observar la figura vemos que la fuerza cuya magnitud es de 6 N, puesto que está formando un ángulo de 30° respecto al desplazamiento, debe descomponerse en sus dos componentes rectangulares que son F_x y F_y. Como el cuerpo se mueve horizontalmente, de acuerdo con la definición del trabajo sólo la componente horizontal de la fuerza, o sea F_x, es la que produce un trabajo, por tanto, la magnitud de éste será

$$T = Fd \cos 30° = 6\ \text{N} \times 2\ \text{m} \times 0.8660 = 10.39\ \text{J}$$

4 Si ahora le aplicamos al cuerpo anterior una fuerza cuya magnitud es de 6 N, primero con un ángulo de 20° respecto a la dirección del desplazamiento, después con un ángulo de 10° y finalmente con un ángulo de 0°, calcular:

a) ¿Cuál es el valor del trabajo realizado en cada caso si el desplazamiento del cuerpo siempre es de 2 m?

b) ¿Cuál será el ángulo más apropiado para que la fuerza realice un mayor trabajo?

c) Si aplicáramos la fuerza con un ángulo de 90° respecto a la dirección en que se efectuaron los desplazamientos, ¿cuánto valdría el trabajo?

Solución:

a) Cálculo del trabajo realizado cuando la fuerza forma un ángulo de 20° respecto a la dirección del desplazamiento:

$$T = Fd \cos 20° = 6\ \text{N} \times 2\ \text{m} \times 0.9397 = 11.28\ \text{J}$$

Trabajo realizado cuando la fuerza forma un ángulo de 10° respecto a la dirección del desplazamiento:

$$T = Fd \cos 10° = 6\ \text{N} \times 2\ \text{m} \times 0.9848 = 11.82\ \text{J}$$

Trabajo realizado cuando la fuerza actúa en la misma dirección en que se efectúa el desplazamiento.

$$T = Fd = 6\ \text{N} \times 2\ \text{m} = 12\ \text{J}$$

b) Como se observa, la fuerza realiza un mayor trabajo a medida que se aplica cada vez con un ángulo menor respecto al desplazamiento del cuerpo. El mayor trabajo se obtiene cuando la dirección en que se aplica la fuerza es la misma que tiene el desplazamiento ($\theta = 0°$)

c) Si aplicamos la fuerza con un ángulo de 90°, su dirección es perpendicular al desplaza-

miento del cuerpo y, por tanto, el trabajo realizado será cero, toda vez que cos 90° = 0.

5 Una persona cuyo peso tiene una magnitud de 588 N sube por una escalera que tiene una longitud de 17 metros hasta llegar a una altura de 10 m.

Calcular:

a) ¿Qué trabajo realizó?

b) Si la longitud de la escalera aumenta o varía su inclinación, ¿cambia el valor del trabajo que es necesario realizar para alcanzar una altura de 10 m?

Solución:

a) Puesto que para poder subir, la persona debe realizar una fuerza igual en magnitud a su peso a fin de alcanzar la altura de 10 m, el trabajo será:

Datos

$T = ?$

$P = 588$ N

$d = 10$ m

Sustitución y resultado

$$T = Fd = 588 \text{ N} \times 10 \text{ m} = 5\,880 \text{ N}$$

b) El trabajo necesario para que la persona suba una altura de 10 m es independiente de la longitud o de la inclinación de la escalera, pues desde el punto de vista físico lo único importante es la fuerza que se efectuará verticalmente hacia arriba y la altura que alcanzará el cuerpo.

6 Una persona levanta una pesa cuya magnitud es de 1 470 N desde el suelo hasta una altura de 1.9 m.

Calcular:

a) ¿Qué trabajo realiza?

b) Si mantiene la pesa a la misma altura y camina sobre el suelo 3 m, ¿realiza trabajo?

Solución:

a) Como la fuerza que se necesita aplicar para elevar la pesa a velocidad constante es igual y opuesta al peso de la misma, tenemos:

Datos

$P = 1\,470$ N

$d = 1.9$ m

$T = ?$

Sustitución y resultado

$$T = Fd = 1\,470 \text{ N} \times 1.9 \text{ m} = 2\,793 \text{ J}$$

b) No realiza ningún trabajo, ya que éste se produce sólo cuando un cuerpo se mueve en la misma dirección en que actúa la fuerza. Así, como el peso de la pesa está dirigido verticalmente hacia abajo, la fuerza para sostenerlo actúa verticalmente hacia arriba y como el desplazamiento es horizontal no existe componente de la fuerza en la dirección del desplazamiento. Por tanto, para realizar trabajo se necesita levantar más la pesa.

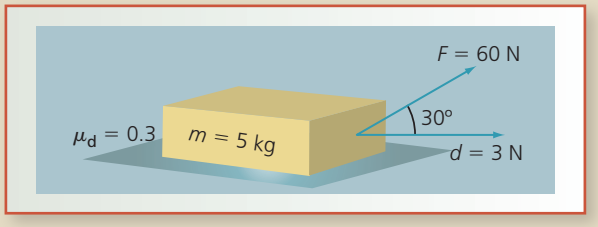


Para una mayor aclaración con respecto a este inciso observe la figura a la izquierda.

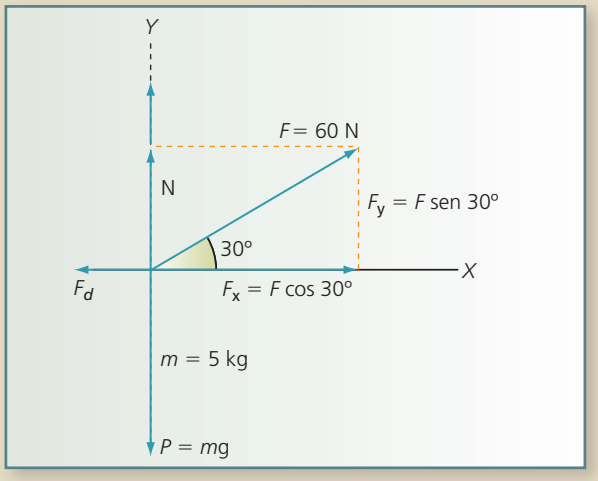
7 Un bloque cuya masa es de 5 kg es jalado por una fuerza cuya magnitud es de 60 N con un ángulo de 30°, como se ve en la figura. Si el desplazamiento del bloque tiene una magnitud de 3 m y existe un coeficiente de fricción dinámico con el suelo de 0.3, calcular:

a) ¿Cuánto vale el trabajo realizado por cada una de las fuerzas que actúan sobre el bloque?

b) ¿Cuál es el valor del trabajo resultante?



Solución:



a) Como se observa, las fuerzas que actúan sobre el cuerpo son F y F_d debida a la fricción, P y N. Dado que el cuerpo se desplaza horizontalmente las únicas fuerzas que producen trabajo son la componente horizontal de F o sea F_x y la fuerza causada por la fricción F_d localizada en la misma dirección del desplazamiento. Donde el trabajo realizado por la componente horizontal (F_x) de la fuerza de 60 N es:

$$T_{F_x} = Fd \cos 30^\circ = 60 \text{ N} \times 3 \text{ m} \times 0.8660 = 155.88 \text{ J}$$

Para calcular el trabajo realizado por la fuerza de fricción dinámica, misma que como sabemos actúa en sentido contrario al desplazamiento del cuerpo, tenemos que:

$Fd = \mu_d N$, pero N es igual a:

$$N = P - F_y = mg - F \text{ sen } 30^\circ$$
$$= 5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 - 60 \text{ N} \times 0.5$$
$$= 49 \text{ N} - 30 \text{ N} = 19 \text{ N}$$
$$F_d = 0.3 \times 19 \text{ N} = 5.7 \text{ N}$$

Trabajo realizado por F_d:

$$T_{F_d} = -F_d d = -5.7 \text{ N} \times 3 \text{ m} = -17.1 \text{ J}$$

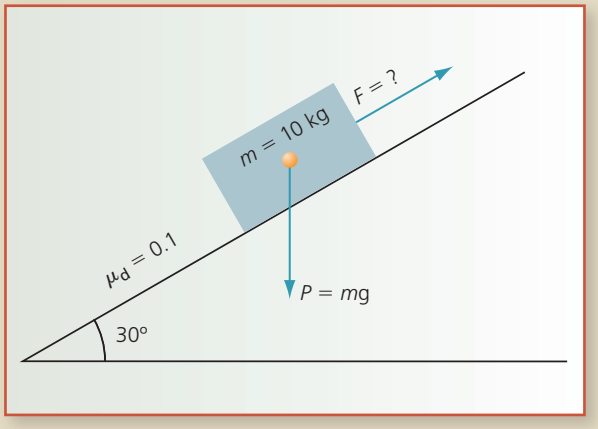
El signo del trabajo es negativo porque se realiza en sentido contrario al desplazamiento.

b) El trabajo resultante (T_R) de las dos fuerzas es:

$$T_R = T_{F_x} + T_{F_d} = 155.88 \text{ J} + (-17.1 \text{ J}) = 138.78 \text{ J}$$

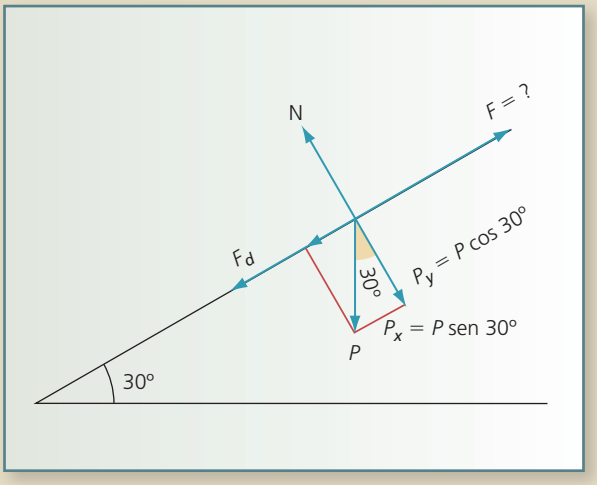
8 Determinar:

a) La magnitud de la fuerza que se debe aplicar para jalar un bloque cuya masa es de 10 kg, a velocidad constante, sobre un plano inclinado que forma un ángulo de 30° con la horizontal, como se ve en la figura, si el coeficiente de fricción dinámico es 0.1.



b) Si se le aplica al bloque el doble de la fuerza calculada, ¿cuál será el valor del trabajo resultante sobre él si se desplaza 3 m?

Solución:



a) Para que el bloque ascienda con velocidad constante sobre el plano inclinado, se debe aplicar una fuerza cuya magnitud sea igual a la fuerza de fricción dinámica más la fuerza producida por la componente horizontal del peso P_x, pero de sentido contrario, donde:

$$\Sigma F_x = F + F_d + P_x = 0 \quad (1)$$

$$\therefore F = F_d + P_x \quad (2)$$

Cálculo de P_x y P_y:

$$P_x = P \text{ sen } 30^\circ = mg \text{ sen } 30^\circ$$
$$= 10 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.5 = 49 \text{ N}$$

$$P_y = P \cos 30^\circ = mg \cos 30^\circ$$
$$= 10 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.8660 = 84.87 \text{ N}$$

Cálculo de la magnitud de la fuerza de fricción dinámica:

$$F_d = \mu_d N$$

Como $N = P_y$

$$F_d = 0.1 \times 84.87 \text{ N} = 8.49 \text{ N}$$

Sustituyendo en la ecuación 2:

$$F = 8.49 \text{ N} + 49 \text{ N} = 57.49 \text{ N}$$

b) Si aplicamos ahora al bloque el doble de la magnitud de la fuerza calculada, esto es, 114.98 N, el trabajo resultante realizado sobre él será:

$$T_R = F_R d = (114.98 \text{ N} - 57.49 \text{ N}) \times 3 \text{ m} = 172.47 \text{ J}$$

9 Calcular el trabajo útil realizado por una bomba que descarga 500 litros de aceite en un tanque de almacenamiento que se encuentra a 7 m de altura. El peso específico del aceite es 7 840 N/m^3.

Datos

$T = ?$

$V = 500$ litros

$h = 7$ m

$Pe = 7\,840$ N/m^3

Solución:

$$T = Fd$$

Como la magnitud de la fuerza requerida para subir el aceite es igual a su magnitud de peso, tenemos:

$$Pe = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} = \frac{P}{\text{V}} \therefore P = Pe\text{V}$$

$$\text{V} = 500 \text{ litros} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1\,000 \text{ litros}} = 0.5 \text{ m}^3$$

$$P = 7\,840 \text{ N/m}^3 \times 0.5 \text{ m}^3 = 3\,920 \text{ N} = F$$

Sustituyendo en $T = Fd$, tenemos:

$$T = 3\,920 \text{ N} \times 7 \text{ m} = 27\,440 \text{ J}$$

10 Una bomba de uso doméstico eleva 50 litros de agua por minuto hasta una altura de 9 m, determinar el trabajo útil hecho por la bomba en 30 minutos. El peso específico del agua es de 9.8×10^3 N/m^3.

Datos

$V = 50$ litros/min

$h = 9$ m

$T = ?$

$t = 30$ min

$Pe_{H_2O} = 9.8 \times 10^3$ N/m^3

Solución:

Volumen de agua subido en 30 minutos:

$$\text{V} = 50 \text{ litros/min} \times 30 \text{ min} = 1\,500 \text{ litros}$$

$$\text{V} = 1\,500 \text{ litros} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1\,000 \text{ litros}} = 1.5 \text{ m}^3$$

Peso del agua subida:

$$P = Pe\text{V} = 9.8 \times 10^3 \text{ N/m}^3 \times 1.5 \text{ m}^3 = 14.7 \times 10^3 \text{ N}$$

Como la magnitud de la fuerza que se requiere aplicar para subir 1.5 m^3 de agua es igual a su magnitud de peso, tenemos que el trabajo útil es:

$$T = Fd = 14.7 \times 10^3 \text{ N} \times 9 \text{ m} = 132.3 \times 10^3 \text{ J}$$

Ejercicios propuestos

1 Una persona levanta una silla cuyo peso tiene una magnitud de 49 N hasta una altura de 0.75 m. ¿Qué trabajo realiza?

2 Determinar el trabajo realizado al desplazar un bloque de 3 m sobre una superficie horizontal, si se desprecia la fricción y la magnitud de la fuerza aplicada es de 25 N.

3 ¿Qué magnitud de peso tendrá un cuerpo si al levantarlo a una altura de 1.5 m se realiza un trabajo de 88.2 joules?

4 Un ladrillo tiene una masa de 1 kg, ¿a qué distancia se levantó del suelo si se realizó un trabajo de 19.6 J?

5 Un viajero levanta su petaca cuyo peso tiene una magnitud de 196 N hasta una altura de 0.5 m.

Calcular:

a) ¿Qué trabajo realiza?

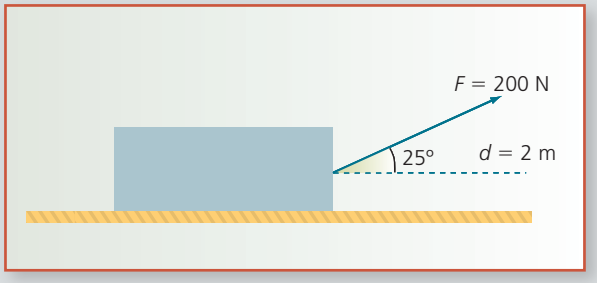
b) Si se queda parado durante 2 minutos, sosteniendo la petaca a la misma altura, ¿cuánto vale el trabajo realizado?

c) Si camina 5 m sin variar la altura de la petaca, ¿cuánto vale el trabajo realizado?

6 Se aplica una fuerza en forma horizontal sobre un cuerpo cuyo peso tiene una magnitud 18 N desplazándolo 6 m. Puesto que la fuerza aplicada es capaz de vencer a la fuerza de fricción y de mover al cuerpo a velocidad constante, ¿cuánto trabajo realiza?

7 a) Calcular el trabajo realizado por una fuerza cuya magnitud de 200 N que forma un ángu-

lo de 25° respecto a la horizontal, al desplazar una magnitud de 2 metros al cuerpo que se ve en la siguiente figura:



b) Calcular el trabajo si la fuerza es paralela al desplazamiento.

c) Determinar el trabajo si la fuerza es perpendicular al desplazamiento.

8 Una persona cuyo peso es de 686 N sube por una escalera que tiene una longitud de 25 m hasta llegar a una altura de 15 m.

Calcular:

a) ¿Qué trabajo realizó?

b) ¿Qué trabajo realiza si sube a la misma altura de 15 m, pero usando una escalera cuya longitud es de 35 m?

9 Una persona levanta un bulto de cemento cuyo peso tiene una magnitud de 490 N desde el suelo hasta colocarlo sobre su hombro a una altura de 1.45 m.

Calcular:

a) ¿Qué trabajo realiza?

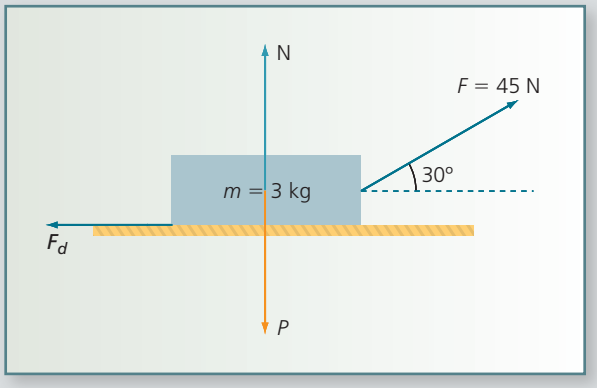
b) Si se queda parado 30 segundos, ¿cuánto trabajo realiza?

c) Si mantiene el bulto a la misma altura y camina 5 m, ¿cuánto trabajo realiza?

10 Un bloque cuya masa es de 3 kg es jalado por una fuerza cuya magnitud es de 45 N con un ángulo de 30°, como se ve en la figura, desplazándolo con una magnitud de 5 m. Considerando que el coeficiente de fricción dinámico con el suelo es de 0.25.

Calcular:

a) ¿Cuánto vale el trabajo realizado por las fuerzas que actúan sobre el bloque?



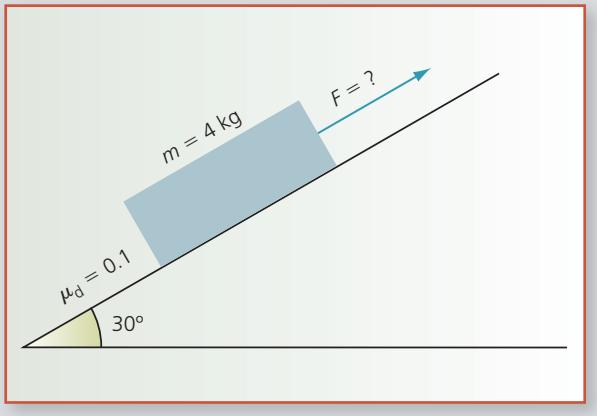
b) ¿Cuál es el valor del trabajo resultante?

11 Se requiere jalar, a una velocidad constante, un bloque cuya masa es de 4 kg sobre un plano inclinado que forma un ángulo de 30° con la horizontal.

Determinar:

a) La magnitud de la fuerza que se debe aplicar si se tiene un coeficiente de fricción dinámico de 0.1

b) El trabajo resultante sobre el bloque, al aplicarle el doble de la magnitud de la fuerza calculada y desplazarse 5 m.



12 Una bomba descarga 1 500 litros de aceite en un tanque de almacenamiento que se encuentra a 12 m de altura sobre ella; el peso específico del aceite es de 6 250 N/m^3, ¿cuál es el trabajo útil que realiza la bomba?

13 Una bomba eleva 200 litros de agua por minuto hasta una altura de 8 m de ella, ¿qué trabajo útil realiza al funcionar durante 15 minutos? El peso específico del agua es de 9.8×10^3 N/m^3.

7 Energía

La energía siempre ha estado estrechamente ligada con las actividades cotidianas del ser humano, toda vez que el hombre primitivo realizaba sus tareas utilizando primero la energía de su cuerpo. Posteriormente, aprendió a domesticar animales y a utilizar su energía para hacer más fáciles sus actividades. Más tarde, descubrió otras fuentes de energía y aprendió a usar la del viento para la propulsión de sus barcos de vela; así como a aprovechar la energía de las corrientes del agua al construir en los ríos, molinos de granos.

Tipos de energía

Existen varios tipos de energía como son:

Energía calorífica

Se produce por la combustión de carbón, madera, petróleo, gas natural, gasolina y otros combustibles (figura 5.32).



figura 5.32

El hombre obtiene energía calorífica por medio de la combustión de la materia.

Energía eléctrica

Es la que se obtiene principalmente, por medio de generadores eléctricos, pilas secas, acumuladores y pilas solares. Se utiliza para producir una corriente eléctrica, es decir, un movimiento o flujo de electrones a tráves de un material conductor. (figura 5.33).



figura 5.33

En nuestros hogares utilizamos la energía eléctrica para el funcionamiento de diversos aparatos.

Energía química

Se produce cuando las sustancias reaccionan entre sí alterando su constitución íntima, como es el caso de la energía obtenida en los explosivos o en las pilas eléctricas.

Energía hidráulica

Se aprovecha cuando la corriente de agua mueve un molino o la caída de agua de una presa mueve una turbina (figura 5.34).



figura 5.34

La energía potencial del agua almacenada se transforma en cinética y se utiliza para mover turbinas.

Energía eólica

Es la producida por el movimiento del aire y se aprovecha en los molinos de viento o en los aerogeneradores de alta potencia para producir electricidad (figura 5.35).



figura 5.35

La energía éolica producida por el movimiento del aire, es decir, el viento, es una inestimable fuente de energía.

Energía radiante

Es la energía producida por ondas electromagnéticas que se caracterizan por su propagación en el vacío a una velocidad cuya magnitud es de aproximadamente 300 000 km/s, tal es el caso de las de radio, los rayos gamma, rayos X, ultravioleta, infrarrojos o luminosos. La energía radiante del Sol, así como su intensidad, las estudiaremos en la unidad 11 de este libro.

Energía nuclear

Es la originada por la energía que mantiene unidas a las partículas en el núcleo de los átomos, misma que es liberada en forma de energía calorífica y radiante cuando se produce una reacción de fusión, caracterizada por la unión de dos núcleos ligeros para formar uno mayor, o bien, cuando se produce una reacción de fisión al desintegrarse el núcleo de un elemento de peso atómico elevado, como es el caso del uranio, liberándose gran cantidad de energía que se utiliza para calentar agua.

Energía mecánica

Es la que tienen los cuerpos cuando por su posición o su velocidad, son capaces de interaccionar con el sistema del cual forman parte para realizar un trabajo. Se divide en energía cinética y potencial.

Definición de energía

Encontrar una definición precisa para la energía no es algo sencillo, sin embargo podemos decir:

La energía es una propiedad que caracteriza la interacción de los componentes de un sistema físico que tienen la capacidad de realizar un trabajo. Es importante señalar que la energía se manifiesta de diferentes formas, sin embargo, no se crea de la nada, ya que cuando hablamos de producir energía en realidad nos referimos a su transformación de una energía a otra, ya que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma. En conclusión: un cuerpo tiene energía si es capaz de interaccionar con el sistema del cual forma parte para realizar un trabajo. La unidad de energía en el Sistema Internacional es el joule (J).

$$1\ \text{J} = \text{Nm} = \text{kg m/s}^2 \cdot \text{m} = \text{kg m}^2/\text{s}^2$$

Nota: Un sistema físico cualquiera está constituido por una combinación de cuerpos u objetos que se relacionan entre sí. Un sistema físico propicia a la observación, el estudio, la investigación y de ser posible, la manipulación de las distintas variables involucradas en el mismo.

En virtud de la importancia que representa la energía potencial y la energía cinética en muchos acontecimientos cotidianos, las estudiaremos con detalle a continuación.

Energía potencial gravitacional (EPG)

Cuando levantamos un cuerpo cualquiera, como el que ilustra la figura 5.36 a una cierta altura (h), debemos efectuar un trabajo igual al producto de la magnitud de la fuerza aplicada por la altura a la que fue desplazado. Este trabajo se convierte en energía potencial gravitacional, llamada así pues su origen se debe a la atracción gravitacional ejercida por la Tierra sobre el cuerpo. Así pues, debido a la atracción de la Tierra, si el cuerpo se deja caer, será capaz de realizar un trabajo del mismo valor sobre cualquier objeto en el que caiga, ya que puede comprimir un resorte, perforar el piso e introducir pilotes hechos de hormigón armado en terrenos frágiles.



figura 5.36

Un cuerpo tiene energía potencial gravitacional cuando se encuentra a cualquier altura con respecto al suelo.

Como el trabajo (T) realizado para elevar un cuerpo es igual a la energía potencial gravitacional (EPG), tenemos:

$$\text{EPG} = T = Ph$$

La magnitud de la fuerza requerida para elevar un cuerpo a cierta altura es igual a la magnitud de su peso, por tanto:

$$F = P = mg$$

Donde la energía potencial gravitacional es igual a:

$$\text{EPG} = Ph = mgh$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

Las unidades de EPG en el Sistema Internacional son:

$$\text{EPG} = \text{kg}\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\,\text{m} = \text{kg m}^2/\text{s}^2 = \text{joules (J)}$$

La energía potencial gravitacional de un cuerpo localizado a cierta altura depende del nivel tomado como referencia. Por ejemplo, si un bloque de madera de 2 kg de masa, como el de la figura 5.37 está sobre una mesa cuya altura es de 1 m y se levanta a una altura de 0.6 m de la mesa, el bloque tendrá una energía potencial gravitacional respecto a la mesa igual a:

$$\text{EPG} = mgh = 2 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.6 \text{ m} = 11.76 \text{ J}$$

Pero respecto al suelo, su altura es de 1.6 m, por tanto, considerando este nivel de referencia su energía potencial gravitacional es de:

$$\text{EPG} = mgh = 2 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 1.6 \text{ m} = 31.36 \text{ J}$$

¿Puede ser la energía potencial gravitacional de valor negativo? La respuesta es sí. Veamos:

En la figura 5.38 se ve un cuerpo suspendido a cierta altura respecto al suelo, el cual se toma como nivel de referencia, y se observa también otro cuerpo, pero en un lugar por debajo del suelo. El cuerpo elevado a una altura h del nivel de referencia tiene una energía potencial gravitacional positiva, pues al regresar al suelo será capaz de realizar un trabajo equivalente a su energía potencial gravitacional: $T = \text{EPG} = mgh$. Pero el cuerpo localizado a una altura h abajo del nivel de referencia tiene una energía potencial gravitacional negativa, pues al bajar a ese punto cede energía y para subirlo de nuevo al nivel del suelo se debe realizar un trabajo considerado negativo cuyo valor será igual a:

$$-T = -\text{EPG} = -mgh$$

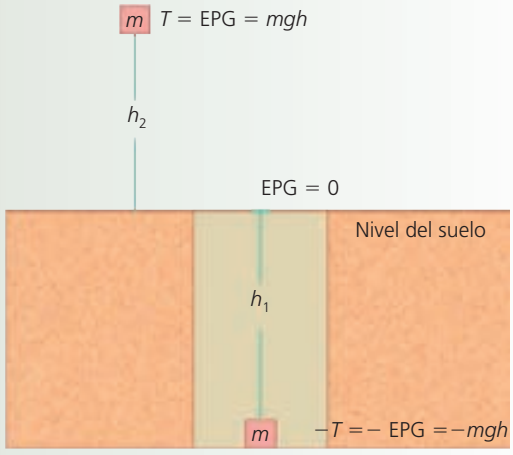


figura 5.38

Si el nivel del suelo se considera como nivel cero de energía potencial gravitacional, un cuerpo que se localice abajo de dicho nivel tendrá una energía potencial gravitacional negativa.

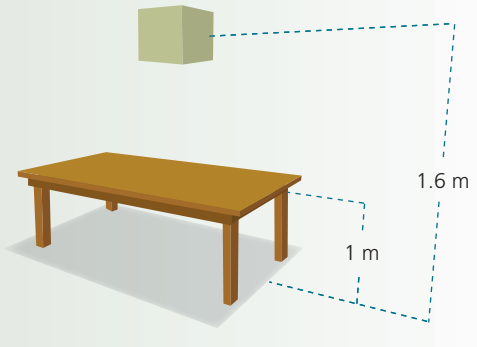


figura 5.37

La energía potencial gravitacional de un cuerpo es mayor a medida que aumenta su altura de acuerdo con el nivel considerado como referencia.

Un cuerpo exactamente colocado en el suelo, considerado como nivel de referencia, no tiene ninguna altura y por tanto su valor de EPG será igual a cero.

En la figura 5.39 vemos cómo por medio de una polea fija podemos subir una cubeta con agua, colocando una pesa en el otro extremo de la cuerda. Al bajar la pesa, se transforma su energía potencial gravitacional en trabajo, pues logra subir a la cubeta, así, ésta recibe energía potencial

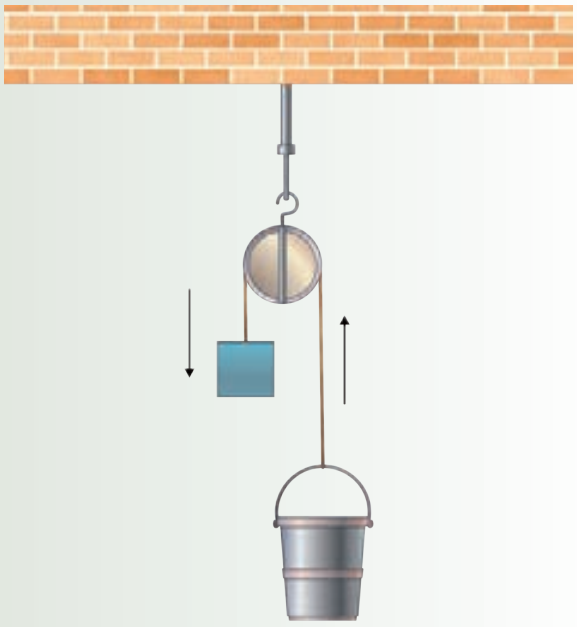


figura 5.39

Al ir bajando la pesa, transforma su energía potencial gravitacional en trabajo al elevar el otro cuerpo.

gravitacional de la pesa, conservándose la energía si la fricción en la polea es despreciable.

Energía potencial elástica

Por el estado en que se encuentran un resorte comprimido o estirado, una liga tensa o los muelles de espiral, como la cuerda enrollada de un reloj, tienen la capacidad de realizar trabajo, es decir, de desplazar algún cuerpo por la acción de una fuerza. Debido a ello tienen energía potencial elástica (figura 5.40).

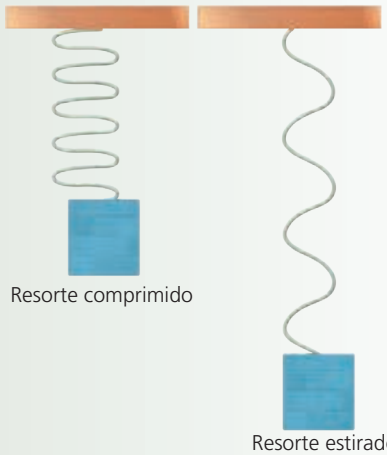


figura 5.40

Cuando se estira o comprime un cuerpo elástico adquiere energía potencial elástica.

Energía cinética

Todo cuerpo en movimiento tiene energía cinética. Por ejemplo, cuando una persona camina o corre, un avión en pleno vuelo o al momento de adquirir velocidad para su despegue, una corriente de agua, un disco que gira, la rueda de la fortuna, un pájaro al volar, una canica al rodar por el suelo, una manzana que cae de un árbol y, en fin, todo aquello que está en movimiento tiene energía cinética (figura 5.41).



figura 5.41

Cuando un cuerpo está en movimiento tiene energía cinética.

Seguramente habrá observado cómo unos cuerpos tienen movimiento de traslación y otros de rotación, o una combinación de ambos. Decimos que un cuerpo presenta un movimiento de traslación cuando todas sus partes siguen una dirección constante, por ejemplo, un avión en vuelo, o una piedra cayendo al suelo desde la cima de un precipicio. Un cuerpo tiene movimiento de rotación cuando lo lleva a cabo alrededor de una recta llamada eje de rotación, cuyos puntos permanecen inmóviles, por ejemplo, una rueda de la fortuna, un disco compacto, un engrane o una polea fija. Hay cuerpos con movimiento de traslación y rotación, tal es el caso de la Tierra y también el de un yoyo.

Energía cinética traslacional (ECT)

Un cuepo tiene energía cinética traslacional cuando todas sus partes siguen una misma dirección, por ejemplo, una persona cuando camina o corre, un automóvil en movimiento, etcétera.

Un cuerpo suspendido a cierta altura, al ser soltado transforma su energía potencial gravitacional en energía cinética traslacional. Por ejemplo, para construir la Torre Latinoamericana, edificio ubicado en el centro de la ciudad de México, fue necesario reforzar el suelo blando de esa área mediante pilotes, los cuales fueron introducidos o clavados por medio de un martinete (figura 5.42), elaborado básicamente por un gran mazo dentro de guías para mantenerlo correctamente en la dirección del blanco u objetivo.



figura 5.42

La energía potencial gravitacional que tiene el mazo se utiliza para introducir pilotes en suelos blandos, para reforzarlos y construir edificios más seguros.

Para que un cuerpo en reposo adquiera energía cinética traslacional, es necesario realizar un trabajo sobre él, de tal manera que una fuerza constante al actuar sobre el cuerpo lo desplace aumentando la magnitud de su velocidad, acelerándolo desde el reposo hasta cierta velocidad. Por tanto, el trabajo realizado por la fuerza al actuar sobre el cuerpo será igual al cambio en la energía cinética del mismo, de donde:

Cambio de energía cinética traslacional (ΔECT) = Trabajo (T).

Partiendo de la igualdad entre el cambio de la energía cinética y el trabajo, deduciremos la expresión matemática de la energía cinética traslacional. Considerando que el cuerpo parte del reposo, tenemos que ΔECT = ECT, de donde:

$$\text{ECT} = T = Fd \qquad (1)$$

De la Segunda Ley de Newton tenemos que:

$$F = ma \qquad (2)$$

Sustituyendo la ecuación 2 en 1 tenemos:

$$\text{ECT} = mad \qquad (3)$$

De acuerdo con lo estudiado en la unidad 4, sección 9: Deducción de las ecuaciones utilizadas en el MRUA, recordemos que cuando un cuerpo se acelera desde el reposo, la distancia la calculamos con la expresión:

$$d = \frac{1}{2}at^2 \qquad (4)$$

Sustituyendo la ecuación 4 en 3:

$$\text{ECT} = ma\frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}m(at)^2 \qquad (5)$$

También sabemos que cuando un cuerpo se acelera desde el reposo, la magnitud de la velocidad que adquiere al cabo de cierto tiempo es:

$$v = at \qquad (6)$$

Si elevamos al cuadrado la ecuación 6 tenemos:

$$v^2 = (at)^2 \qquad (7)$$

Por lo que al sustituir la ecuación 7 en 5 nos queda:

$$\text{ECT} = \frac{1}{2}mv^2 \text{ ; o bien: } \text{ECT} = \frac{mv^2}{2}$$

De donde podemos concluir que la energía cinética traslacional de un cuerpo es igual a un medio del producto de su masa por el cuadrado de la magnitud de la velocidad que lleva.

La unidad usada en el Sistema Internacional para la energía la podemos encontrar sustituyendo en la ecuación de la energía cinética traslacional la unidad de masa (kg) y la unidad de velocidad (m/s) elevada al cuadrado:

ECT en unidades del SI es igual a: kg m^2/s^2 = joule = J

Energía cinética rotacional (ECR)

La energía cinética rotacional la presentan los cuerpos cuando giran sobre su propio eje. Antes de soltar una canica por un plano inclinado (figura 5.43), ésta tiene una energía potencial gravitacional igual a su peso por su altura, pero al ir cayendo se va transformando su energía potencial gravitacional en energía cinética traslacional. Pero además, debido a que existe fricción o rozamiento entre la canica y la superficie del plano inclinado, la canica empieza a girar adquiriendo también energía cinética rotacional. Si no existiera fricción entre la superficie y la canica, ésta no giraría y únicamente tendría energía cinética traslacional, al deslizarse por el plano inclinado. ¿Se da cuenta de la importancia que representa la fuerza de fricción cuando una superficie se desplaza sobre otra? ¿Qué superficie propondría para el plano inclinado a fin de lograr que la canica reduzca su fricción de tal manera que se deslice únicamente y no gire?

Otro ejemplo de cuerpo con energía cinética rotacional y traslacional es el yoyo. Al tenerlo enrollado a cierta altura

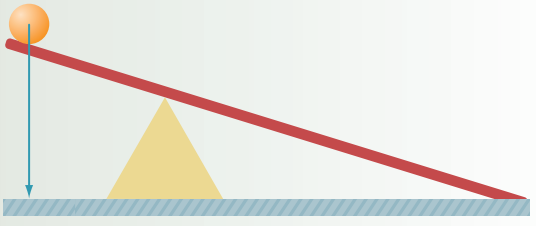


figura 5.43

Antes de deslizarse por el plano, la canica tiene una energía potencial gravitacional, la cual se transforma en energía cinética traslacional y en energía cinética rotacional, ésta como consecuencia de la fricción.

y soltarlo transforma su energía potencial gravitacional a energía cinética traslacional, pues se desplaza hacia el suelo hasta casi tocarlo, pero también adquiere energía cinética rotacional al girar sobre su propio eje. Cuando el yoyo llega casi al suelo y allí se le deja girando, observará que debido a la fuerza de fricción entre la cuerda y el eje del yoyo, éste se detiene al cabo de cierto tiempo. Sin embargo, si le da un tirón leve cuando todavía está girando, puede lograr que transforme parte de su energía cinética rotacional en energía cinética traslacional al subir, por supuesto, a una menor altura y, por tanto, también adquiere energía potencial gravitacional. Luego vuelve a bajar y a subir cada vez a una menor altura hasta que se detiene por la fuerza de fricción.

Rapidez traslacional y rapidez rotacional

Cuando se coloca una moneda pequeña cerca del centro de giro de un disco musical de 33 revoluciones o vueltas por minuto y otra moneda, también pequeña, alejada del centro de giro del disco, es decir, donde se localiza la primera melodía, se observa lo siguiente: las dos monedas tienen la misma rapidez rotacional, ya que ambas realizan 33 revoluciones por minuto, pero la moneda más alejada del centro de giro o eje de rotación tiene una mayor rapidez de traslación medida en m/s respecto a la moneda más cercana al eje de rotación. Este fenómeno se puede relacionar con la rapidez rotacional y traslacional para dos personas, una cerca del polo norte y otra cerca del Ecuador. Ambas tendrán la misma *rapidez rotacional*, pero la que se encuentra en el Ecuador tendrá una mayor *rapidez traslacional*.

Inercia rotacional

Un objeto en reposo procura seguir en esa condición y uno en movimiento procura seguir su movimiento en línea recta. De igual manera, un cuerpo que gira trata de continuar así, y uno sin girar trata de continuar igual. La propiedad de los cuerpos de oponerse a cambios en su estado de movimiento de rotación recibe el nombre de inercia rotacional, también llamado momento de inercia. La inercia rotacional, al igual que la inercia traslacional del cuerpo, depende de su masa, pero, a diferencia del movimiento traslacional depende de la distribución de la masa del cuerpo respecto a su eje de rotación. Por ello, si se dejan caer por un plano inclinado (ver figura 5.44) un cilindro sólido y un anillo o un tubo, con o sin la misma masa o diámetro exterior, el cilindro sólido rodará hacia abajo más rápido porque el anillo, al tener su masa concentrada más lejos de su eje de giro, tendrá una mayor **inercia rotacional** oponiéndose más a su giro y rodando más despacio. Esta situación no se presenta igual si se deslizan dos bloques de diferente masa por un plano inclinado o se dejan caer al suelo al mismo tiempo, pues, como sabemos, ambos tardarán el mismo tiempo en caer al suelo. En conclusión, al intervenir la rotación, un objeto con mayor inercia rotacional presentará mayor resistencia a un cambio en su movimiento, tardando más tiempo en rodar por un plano inclinado.

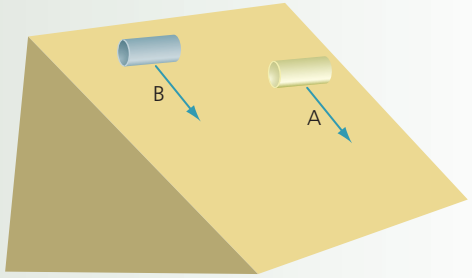


figura 5.44

El cilindro sólido A rodará más rápido en el plano inclinado que el anillo B, no obstante que tengan la misma masa o el mismo diámetro exterior, ya que el anillo presenta una mayor inercia rotacional.

Ley de la conservación de la energía y su degradación

Ya hemos mencionado que la energía se manifiesta de diferentes formas, pero que no se crea de la nada, por lo que al hablar de producir energía, en realidad nos referimos a su transformación de una energía a otra. La ley de la conservación de la energía señala que la energía existente en el Universo es una cantidad constante, no se crea ni se destruye, sólo se transforma. Por ejemplo, cuando se enciende un cerillo, se utiliza la energía química que éste contiene para que arda. La sustancia de la que está hecha el cerillo reacciona con el oxígeno del aire y se desprende energía hacia el ambiente calentándose, aunque sea de manera insignificante. La energía radiante del Sol se debe a las reacciones nucleares de fusión que se producen en su interior. El Sol se compone casi por completo de hidrógeno, cuyos átomos se fusionan produciendo helio. Durante dicho proceso se desprenden enormes cantidades de energía. El Sol (figura 5.45) hace



figura 5.45

Casi toda la energía de que se dispone en la Tierra tiene su origen en el Sol. En la ilustración se aprecia, además del Sol, una máquina escavadora de petróleo.

que crezcan los árboles y las plantas que sirven para alimentar a los animales. Todos ellos producen restos orgánicos que posteriormente dan lugar al carbón, petróleo y gas natural. También por el Sol se producen los vientos y las lluvias que contribuyen a almacenar agua en las presas. Así pues, casi toda la energía de que disponemos en la Tierra tiene su origen en el Sol; éste hace posible la vida en nuestro planeta al suministrar los recursos energéticos indispensables. Algunos usos de la energía solar se tienen en la calefacción de agua, así como en el funcionamiento de motores provistos de celdas solares.

La biomasa es una fuente de energía y se obtiene de la materia orgánica producida por los seres vivos, como en los casos de la madera, la paja, los azúcares, las grasas, el alcohol, entre otros. La biomasa es una de las fuentes de energía más antiguas de la Tierra.

Existen tres fuentes principales de biomasa:

a) Los desechos animales.

b) Los residuos vegetales.

c) Los cultivos específicos.

Tanto en Brasil, Estados Unidos de Norteamérica como en otros países, se han realizado con éxito cultivos de caña de azúcar para la producción de alcohol que se usa, entre otras cosas, como combustible para vehículos automotores, se mezcla con gasolina y recibe el nombre de gasohol.

En las transformaciones que ocurren en la naturaleza se produce transferencia de energía de unos sistemas a otros, interaccionando entre sí. A continuación revisaremos el siguiente ejemplo de interconversiones de energía potencial y cinética: con un tubo y un resorte se puede construir un disparador de esferas metálicas. Para comprimir el resorte se debe realizar un trabajo, el cual se convertirá en energía potencial elástica (EPE) del resorte. Al apuntar en dirección vertical hacia arriba y accionar el disparador, la esfera saldrá disparada con una energía cinética taslacional (ECT) igual al trabajo desarrollado por el resorte. Al subir la esfera realizará un trabajo contra la fuerza de gravedad y tanto la magnitud de su velocidad como su ECT disminuirán, pero al mismo tiempo su energía potencial gravitacional (EPG) aumentará al elevar su altura respecto al suelo. Cuando la esfera alcanza su altura máxima, la velocidad en ese instante es cero y toda su ECT se transforma en EPG. Al iniciar su descenso, la fuerza de gravedad realiza un trabajo sobre la esfera provocándole un incremento en la magnitud de su velocidad y en ECT, mientras que la EPG disminuye.

No obstante, la energía mecánica total de la esfera, es decir: E_T= EPG + ECT, en cualquier instante de su trayectoria es la misma. Esto se debe a la interacción de la esfera y la Tierra por la fuerza gravitacional, lo cual constituye un sistema conservativo, pues cualquier trabajo realizado por un cuerpo en contra de la fuerza de gravedad de la Tierra se recupera íntegramente cuando el cuerpo desciende. Por tal motivo, la fuerza de gravedad es una fuerza conservativa.

Cuando la esfera está a punto de chocar contra el resorte como consecuencia de su caída libre, tendrá en ese instante la misma magnitud de la velocidad y la energía con que fue disparado. La energía cinética traslacional (ECT) se transformará en trabajo al chocar contra el resorte comprimiéndolo nuevamente.

Si se repite el experimento, pero ahora la esfera en lugar de caer sobre el resorte cae sobre la superficie de la Tierra, la energía de la esfera se transformará en trabajo realizado al incrustarse y hacer un hoyo en el suelo.

Finalmente, si se vuelve a disparar la esfera y al caer choca contra una superficie metálica resistente al impacto, ¿qué sucederá con la ECT de la esfera? Al chocar la ECT se transformará en sonido y energía calorífica, aumentando la temperatura de la superficie metálica y de la esfera.

Cuando la energía se convierte en calor y después ya no es posible volver a transformarla en otro tipo de energía, decimos que se ha degradado.

Con base en lo expuesto, podemos apreciar que **la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma**.

Mediante los siguientes ejemplos podemos comprobar la conservación de la energía mecánica:

a) En la figura 5.46 observamos un balín deslizándose por un plano inclinado, después ascender por otro plano inclinado hasta alcanzar una altura igual a la original. Esto, por supuesto, si la fuerza de fricción es despreciable; de esta manera el balín continuará el proceso de bajar por el plano inclinado transformando su energía potencial gravitacional (EPG) en energía cinética traslacional (ECT). Cuando se encuentra en la parte inferior del plano inclinado, la energía potencial gravitacional es nula, pero la

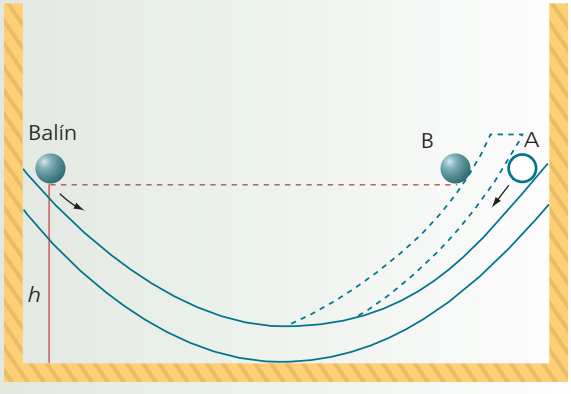


figura 5.46

Al descender el balín siguiendo la trayectotia A o B, en ausencia de la fuerza de fricción alcanzará su altura original *h* y conservará su energía mecánica total.

energía cinética traslacional es la máxima. Al alcanzar su altura máxima, la energía potencial gravitacional alcanza su mayor valor y la energía cinética traslacional es nula. En conclusión: en ausencia de fricción, la energía mecánica total (E_T) se conserva:

$$E_T = \text{EPG} + \text{ECT} = \mathbf{k} = \text{constante}$$

En la realidad, una fricción despreciable es difícil de obtener, por lo que el balín perderá altura y disipará su energía por medio del calor generado en el mismo y en la superficie del plano. Por tal motivo, tarde o temprano se detendrá.

En la figura 5.47, en a) se observa que la masa del péndulo, cuyo peso es de 1.5 N, se eleva a una altura de 20 cm para colocarse en su posición A. Al soltar la masa del péndulo, éste oscila al otro extremo y alcanzará nuevamente la altura de 20 cm. Esto siempre y cuando la fuerza de fricción que exista entre el hilo que sujeta la masa y el punto de apoyo donde se ata dicho hilo sea pequeña y se pueda despreciar, al igual que se desprecia la fuerza de fricción o fuerza viscosa que se presenta con el aire al desplazarse la masa del péndulo. Esta consideración de fricción despreciable, la hacemos con fines prácticos para analizar las transformaciones de energía cinética traslacional a energía potencial gravitacional y viceversa. Sin embargo, una fricción despreciable es difícil de obtener y la masa del péndulo alcanzará cada vez menor altura al desplazarse hasta que se detiene por completo. Por tanto, cuando en un problema o en una actividad experimental se desprecia la fricción, debemos entender que se hace con fines prácticos para lograr una primera aproximación de lo que sucede en un caso determinado, pero sabemos que en nuestras actividades cotidianas la fuerza de fricción siempre está presente, por lo que al no considerarla se provocarán discrepancias entre teoría y experimento. Bien, una vez hecha esta importante aclaración, se procede a analizar qué sucede con las transformaciones de la energía de la masa del péndulo, considerando despreciable la fuerza de fricción. Veamos:

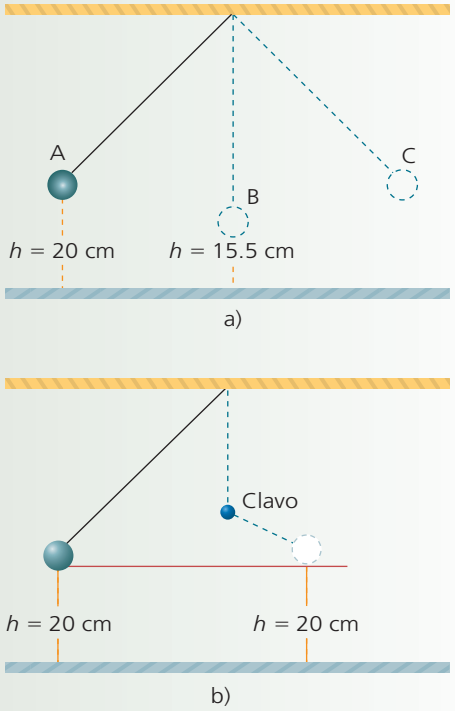


figura 5.47

En a) la masa del péndulo oscila a uno y a otro lado de su posición de equilibrio (punto B), en A y C tiene su mayor energía potencial gravitacional y en B tiene su valor mínimo. La energía cinética traslacional vale cero en A y C y tiene su valor máximo en B. En b) la masa del péndulo alcanza su altura original, pese al clavo colocado como obstáculo en su trayectoria.

Antes de soltar la masa del péndulo, que se encuentra en la posición A en la figura 5.47 a), tiene una energía potencial gravitacional igual a: EPG = 1.5 N × 0.2 m = 0.3 J. Al descender, la energía potencial disminuye y el punto B tiene su valor mínimo igual a: EPG= Ph= 1.5 N × 0.155 m = 0.23 J. El valor que disminuyó la energía potencial gravitacional, es decir: 0.3 J − 0.23 J = 0.07 J, se ha transformado en energía cinética traslacional, por lo que ésta tendrá un valor máximo de 0.07 J cuando la masa pase por su posición de equilibrio. Después la energía potencial gravitacional se incrementa hasta alcanzar su valor máximo (0.3 J) al llegar a su altura original de 20 cm y la energía cinética traslacional en ese momento tendrá un valor nulo. Este ciclo se repetiría una y otra vez si la fricción fuera nula. Como realmente no es así, la masa del péndulo se detendrá poco a poco y alcanzará cada vez menor altura.

En la figura 5.47 b) observamos el mismo péndulo, pero se coloca un clavo como obstáculo y de todas maneras la masa del péndulo alcanza la misma altura, **conservándose la energía mecánica**.

Degradación de la energía

Una de las principales causas por las cuales se investigan nuevas fuentes de energía de manera que se puedan utilizar a gran escala y de forma rentable, como es el caso de las energías solar, eólica, hidráulica, geotérmica y mecánica de los mares (mareomotriz), es la imposibilidad de convertir en trabajo todo el calor que suministra una fuente. Sin embargo, el trabajo sí puede convertirse en calor en su totalidad. Dicha imposibilidad hace que proceso tras proceso la energía disminuya su capacidad de producir trabajo. Cuando se realiza un trabajo, no se pierde energía, lo que ocurre es que disminuye la cantidad de trabajo que se podrá producir en procesos sucesivos.

En virtud de que la energía de un sistema al someterse a diversas transformaciones termina por convertirse en calor, y parte de éste ya no puede utilizarse para producir trabajo, podemos decir que cuando la energía se transforma en energía calorífica se ha degradado.

Importancia de la energía, sus usos y sus consecuencias

El progreso de nuestra sociedad no sería posible sin los diferentes tipos de energía que existen, cuyo uso ha hecho posible el desarrollo de la ciencia, así como las diversas aplicaciones en la tecnología. Gracias al uso de la energía, hoy en día nos trasladamos rápidamente por tierra, aire, mares y ríos; las comunicaciones entre los cinco continentes son prácticamente instantáneas; en síntesis, disfrutamos de las múltiples aplicaciones de la energía y nuestra vida es más activa y placentera.

Sin embargo, no podemos olvidar que el uso de los diferentes energéticos provoca consecuencias como la contaminación del suelo, agua y aire. Si bien las ventajas que representa la electricidad frente a los otros combustibles son múltiples porque es limpia y permite disponer con facilidad y de inmediato de la energía que necesitamos, debemos tener presente que un alto porcentaje de energía eléctrica se obtiene quemando combustibles en las plantas eléctricas. Con ese procedimiento se evita la contaminación doméstica, pero se traslada al medio ambiente donde se concentra.

Por otra parte, el aire, en especial de los grandes núcleos urbanos e industriales, contiene sustancias nocivas, incluso peligrosas, que contribuyen a la contaminación. Estas sustancias provienen de la combustión de carbón, leña e hidrocarburos. Así, la gasolina en exceso produce dióxido de carbono y agua durante su combustión, pero las condiciones del motor son diferentes, más propicias para una combustión parcial. Entonces, además del dióxido de carbono y agua en forma de vapor produce sustancias nocivas como:

a) Monóxido de carbono, que es un gas venenoso.

b) Hidrocarburos no quemados, que pueden causar daños al hígado, incluso cáncer.

c) Dióxido de azufre formado a partir de la pequeña cantidad de azufre que contiene el petróleo, que ocasiona enfermedades de las vías respiratorias y lluvia ácida.

d) Monóxido y dióxido de nitrógeno, productos de la reacción entre nitrógeno y oxígeno a la temperatura del motor; ocasiona los mismos efectos perniciosos que el dióxido de azufre.

e) Humo constituido por pequeñas partículas de carbono en suspensión que daña los pulmones y ennegrece la ropa, rostros, casas y edificios, entre otros.

El caso del ozono es particular, ya que es beneficioso en la atmósfera alta porque nos protege de una radiación intensa de rayos ultravioleta provenientes del Sol, pero perjudicial en la superficie porque irrita las vías respiratorias. El ozono se produce aquí por la acción de la luz solar sobre el oxígeno y los gases de escape de los motores. El conjunto de éstos forma lo que se llama esmog (vocablo inglés que proviene de la contracción de las palabras *smoke* que significa humo y *fog* niebla), que aparece como una niebla contaminante y persistente sobre los grandes núcleos urbanos (figura 5.48).

Los automóviles no son el único problema; también las industrias y las plantas termoeléctricas completan el panorama contribuyendo con sus propios contaminantes, como vapores de disolventes, productos químicos, polvos de metales, cemento, entre otros.

En la lucha contra la contaminación es importante instalar convertidores catalíticos en los tubos de escape de los automóviles para que transformen los gases nocivos en otros no dañinos. En las industrias deben construirse torres de lavado que eliminen humos y polvos, entre otros sistemas anticontaminantes.



figura 5.48

La contaminación urbana en forma de esmog se debe principalmente a los motores de combustión interna de automóviles, camiones e industrias.

8 Potencia mecánica

La potencia mecánica se define como la rapidez con que se realiza un trabajo. Se mide en watts (W) y se dice que existe una potencia mecánica de un watt cuando se realiza un trabajo de un joule en un segundo:

$$1\,\text{W} = \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Por ejemplo, mientras una persona sube por una escalera un bulto de cemento de 50 kg a un departamento que

se encuentra en reparación en el quinto piso de un edificio, otra, utilizando una polea, sube otro bulto de 50 kg hasta el mismo piso en un tiempo menor, ¿quién realiza mayor trabajo? Puesto que cada quien elevó un bulto de 50 kg a la misma altura el trabajo realizado es el mismo, sólo que uno lo efectuó en menor tiempo.

El hombre siempre ha buscado realizar su trabajo en el menor tiempo posible, de ahí la necesidad de introducir un nuevo concepto que señale claramente con qué rapidez se hace un trabajo, este concepto recibe el nombre de potencia. Por definición: Potencia mecánica es la rapidez con que se realiza un trabajo. Su expresión matemática es:

$$P = \frac{T}{t}$$

donde: P = potencia en J/s = watts (W)
T = trabajo realizado en joules (J)
t = tiempo en que se realiza el trabajo en segundos (s)

Como se observa, la unidad usada en el Sistema Internacional para medir potencia es el watt y significa un trabajo de un joule realizado en un segundo. (En honor al escocés James Watt, 1736-1819, famoso por la construcción de una máquina de vapor.)

No obstante, todavía se emplean las siguientes unidades prácticas: el caballo de fuerza (hp) y el caballo de vapor (cv)

$$1\ hp = 746\ W$$
$$1\ cv = 736\ W$$

Como el trabajo es igual a:

$$T = Fd$$

y como la potencia es:

$$P = \frac{T}{t} = \frac{Fd}{t}$$

pero $\frac{d}{t} = v$, entonces:

$$P = Fv$$

Esta expresión permite calcular la potencia si se conoce la magnitud de la velocidad que adquiere el cuerpo, misma que tendrá una dirección y un sentido igual a la de la fuerza que recibe.

Para conocer la eficiencia (η) o rendimiento de una máquina que produce trabajo, tenemos la expresión:

$$\eta = \frac{\text{Trabajo producido por la máquina}}{\text{Trabajo suministrado a la máquina}} \times 100$$

Resolución de problemas de energía y potencia mecánicas

1 Calcular en joules la energía cinética traslacional que lleva una bala de 8 g si su velocidad tiene una magnitud de 400 m/s.

Solución:

Datos **Fórmula**

ECT = ? $\quad$ $\text{ECT} = \frac{1}{2}mv^2$

m = 8 g = 0.008 kg

v = 400 m/s

Sustitución y resultado

$$\text{ECT} = \frac{1}{2}0.008\ \text{kg}\ (400\ \text{m/s})^2$$
$$= 640\ \text{kg m}^2/\text{s}^2 = 640\ J$$

2 ¿Cuál es la energía cinética traslacional de un balón de fútbol si pesa 4.5 N y lleva una velocidad cuya magnitud es de 15 m/s?

Solución:

Datos **Fórmulas**

ECT = ? $\quad$ $m = \frac{P}{g}$

P = 4.5 N

v = 15 m/s $\quad$ $\text{ECT} = \frac{1}{2}mv^2$

Sustitución y resultado

$$m = \frac{4.5\ \text{kg m/s}^2}{9.8\ \text{m/s}^2} = 0.46\ \text{kg}$$

$$\text{ECT} = \frac{1}{2}0.46\ \text{kg}\ (15\ \text{m/s})^2 = 51.75\ \text{J}$$

3 Calcular la masa de un cuerpo cuya velocidad tiene una magnitud de 10 m/s y su energía cinética traslacional, de 1 000 J.

Solución:

Datos **Fórmulas**

m = ? $\quad$ $\text{ECT} = \frac{1}{2}mv^2$

v = 10 m/s

ECT = 1 000 J $\quad$ $\therefore m = \frac{2\,\text{ECT}}{v^2}$

Sustitución y resultado

$$m = \frac{2 \times 1000\ \text{kg m}^2/\text{s}^2}{(10\ \text{m/s})^2} = 20\ \text{kg}$$

4 Determinar la magnitud de la velocidad que lleva un cuerpo cuya masa es de 3 kg, si su energía cinética traslacional es de 200 J.

Solución:

Datos

$v = ?$

$m = 3$ kg

ECT = 200 J

Fórmulas

$$ECT = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{2\,ECT}{m}}$$

Sustitución y resultado

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 200 \text{ kg m}^2/\text{s}^2}{3 \text{ kg}}} = \sqrt{133.33 \text{ m}^2/\text{s}^2}$$

$$= 11.55 \text{ m/s}$$

5 Calcular la energía potencial gravitacional de una piedra de 2.5 kg si se eleva a una altura de 2 m.

Solución:

Datos

EPG = ?

$m = 2.5$ kg

$h = 2$ m

$g = 9.8$ m/s^2

Fórmula

$EPG = mgh$

Sustitución y resultado

$$EPG = 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ m}$$

$$= 49 \text{ kg m}^2/\text{s}^2 = 49 \text{ J}$$

6 ¿A qué altura se debe encontrar una silla de 5 kg para que tenga una energía potencial gravitacional de 90 J?

Solución:

Datos

$h = ?$

$m = 5$ kg

EPG = 90 J

Fórmulas

$EPG = mgh$

$$\therefore h = \frac{EPG}{mg}$$

Sustitución y resultado

$$h = \frac{90 \text{ kg m}^2/\text{s}^2}{5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2} = 1.84 \text{ m}$$

7 Un cuerpo de 4 kg se encuentra a una altura de 5 m.

Calcular:

a) ¿Cuál es su energía potencial gravitacional?

b) ¿Cuánto vale su energía cinética traslacional en el preciso instante en que el cuerpo está a punto de chocar contra el suelo, al caer libremente?

Solución:

Datos

$m = 4$ kg

$h = 5$ m

a) EPG = ?

b) ECT = ?

$g = 9.8$ m/s^2

Fórmulas

a) $EPG = mgh$

b) $v = \sqrt{2\,gh}$

$$ECT = \frac{1}{2}mv^2$$

Sustitución y resultados

a) EPG = 4 kg × 9.8 m/s^2 × 5 m = 196 J

b) Para calcular la energía cinética traslacional primero determinamos la magnitud de la velocidad que llevará antes de chocar contra el suelo:

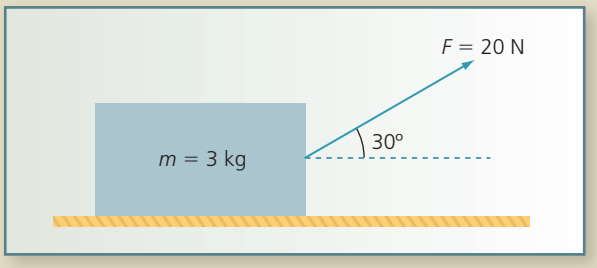
$$v = \sqrt{2\,gh} = \sqrt{2 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 5 \text{ m}} = 9.9 \text{ m/s}$$

b) $ECT = \frac{1}{2}mv^2$

$$ECT = \frac{1}{2}4 \text{ kg } (9.9 \text{ m/s})^2 = 196 \text{ J}$$

Como podemos observar, los valores de energía potencial gravitacional y cinética traslacional son los mismos, pues en el preciso instante en que el cuerpo está por chocar contra el suelo, toda su energía potencial se transforma en energía cinética.

8 A un bloque de 3 kg se le aplica una fuerza constante cuya magnitud es de 20 N, formando un ángulo de 30° respecto a la horizontal, como se ve en la figura. Si a partir del reposo se ha desplazado una magnitud de 4 m, ¿qué magnitud de velocidad llevará en ese instante? Considere nulo el rozamiento.



Solución:

Datos

$m = 3$ kg

$F = 20$ N, $\sphericalangle 30°$

$d = 4$ m

$v = ?$

Como el trabajo que realiza la fuerza es igual a la energía cinética traslacional que adquiere el bloque tenemos:

$$T = \text{ECT}$$

$$Fd\cos 30° = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{2Fd\cos 30°}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 20\ \text{kg m/s}^2 \times 4\ \text{m} \times 0.8660}{3\ \text{kg}}}$$

$$= \sqrt{46.19\ \text{m}^2/\text{s}^2} = 6.8\ \text{m/s}$$

9 Un automóvil lleva una energía cinética traslacional de 3×10^5 J y se detiene después de recorrer 30 m. Calcular la magnitud de la fuerza media que ha actuado para detenerlo.

Solución:

Datos	**Fórmulas**
$\text{ECT} = 3 \times 10^5$ J	$\text{ECT} = T$
$d = 30$ m	$\text{ECT} = Fd$
$F = ?$	$\therefore F = \dfrac{\text{ECT}}{d}$

Como la energía cinética traslacional perdida por el automóvil es igual al trabajo realizado contra la fuerza de rozamiento, tenemos que:

$$\text{ECT} = T$$

$$3 \times 10^5\ \text{J} = Fd$$

$$\therefore F = \frac{3 \times 10^5\ \text{Nm}}{30\ \text{m}} = 0.1 \times 10^5\ \text{N} = 1 \times 10^4\ \text{N}$$

10 Se lanza verticalmente hacia arriba una pelota de 0.4 kg con una velocidad cuya magnitud es de 30 m/s.

Calcular:

a) El valor inicial de la energía cinética traslacional y potencial gravitacional.

b) Las energías cinética traslacional y potencial gravitacional a 15 m de altura.

c) Demuestre que la energía mecánica se conserva.

Solución:

Datos	**Fórmulas**
$m = 0.4$ kg	$v_f = \sqrt{v_0^2 + 2\,gh}$
$v_0 = 30$ m/s	
$g = -9.8\ \text{m/s}^2$	a) $\text{ECT} = \dfrac{1}{2}mv^2$
a) $\text{ECT}_i = ?$	$\text{EPG} = mgh$
$\text{EPG}_i = ?$	b) $\text{ECT}_{15\ \text{cm}} = \dfrac{1}{2}mv^2$
b) $\text{ECT}_{15\text{m}} = ?$	$\text{EPG}_{15\text{m}} = mgh$
$\text{EPG}_{15\text{m}} = ?$	c) $E_\text{T} = \text{ECT} + \text{EPG}$

a) $\text{ECT}_i = \dfrac{1}{2}mv^2 = \dfrac{1}{2}0.4\ \text{kg}\ (30\ \text{m/s})^2 = 180$ J

$\text{EPG}_i = mgh = 0.4\ \text{kg} \times 9.8\ \text{m/s}^2 \times 0 = 0$

b) Para calcular la energía cinética traslacional cuando ha ascendido 15 m, debemos calcular la magnitud de la velocidad que lleva de acuerdo con la fórmula de la magnitud de la velocidad del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado:

$v_f^2 = v_0^2 - 2gh \therefore$

$v_f = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$

$v_f = \sqrt{(30\ \text{m/s})^2 + 2(-9.8\ \text{m/s}^2 \times 15\ \text{m})}$

$= \sqrt{606\ \text{m}^2/\text{s}^2} = 24.62$ m/s

$\therefore \text{ECT}_{15\ \text{m}} = \dfrac{1}{2}0.4\ \text{kg}\ (24.62\ \text{m/s})^2 = 121.23$ J

$\text{EPG}_{15\ \text{m}} = mgh$

$= 0.4\ \text{kg} \times 9.8\ \text{m/s}^2 \times 15\ \text{m} = 58.8$ J

c) Como observamos, la energía mecánica total al inicio del movimiento era igual a la energía cinética traslacional inicial, o sea, 180 J, y al ascender 15 m ha perdido energía cinética traslacional pero ha ganado energía potencial gravitacional. La energía mecánica a los 15 m es:

$E_\text{T} = \text{ECT}_\text{T} + \text{EPG} = 121.2\ \text{J} + 58.8\ \text{J} = 180$ J

Misma energía con la que partió.

11 Un bloque se desliza sobre el suelo con una velocidad inicial cuya magnitud es de 10 m/s teniendo un coeficiente de fricción dinámico de 0.3.

Calcular:

a) ¿Qué distancia recorre el bloque antes de detenerse?

b) ¿Cuánto tiempo tarda en detenerse?

Solución:

Datos

$v_0 = 10$ m/s

$\mu_d = 0.3$

$d = ?$

$t = ?$

a) Como la energía cinética traslacional que pierde el bloque es igual al trabajo realizado contra la fuerza de rozamiento, tenemos:

$$\text{ECT} = T_{F_d} \tag{1}$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = F_d d \tag{2}$$

$$\therefore d = \frac{\frac{1}{2}mv_0^2}{F_d} \tag{3}$$

Como F_d es la fuerza de fricción dinámica su magnitud está dada por la expresión:

$$F_d = \mu_d \text{N}$$

como $\text{N} = P$

$$F_d = \mu_d P = 0.3\ P \tag{4}$$

La masa del bloque es:

$$m = \frac{P}{g} \tag{5}$$

Sustituyendo 4 y 5 en 3 tenemos:

$$d = \frac{\frac{1\,P}{2g}v_0^2}{0.3\,P} = \frac{v_0^2}{2g\,0.3} = \frac{(10\text{ m/s})^2}{2 \times 9.8\text{ m/s}^2 \times 0.3} = 17\text{ m}$$

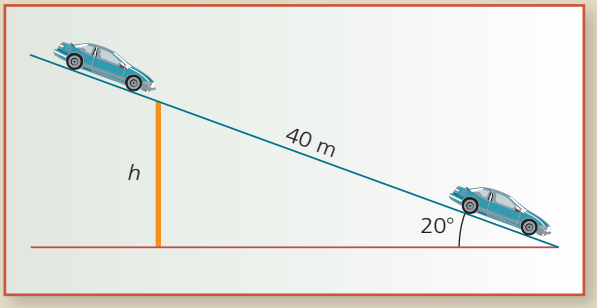
b) El tiempo que tarda en detenerse, lo calculamos a partir de la magnitud de la velocidad media:

$$v_m = \frac{v_f + v_0}{2} = \frac{0 + 10\text{ m/s}}{2} = 5\text{ m/s}$$

$$v_m = \frac{d}{t} \therefore t = \frac{d}{v_m} = \frac{17\text{ m}}{5\text{ m/s}}$$

$$t = 3.4\text{ s}$$

12 Un automóvil cuyo peso tiene una magnitud de 19 600 N baja por una pendiente que forma un ángulo de 20° con la horizontal, como se ve en la figura, a una velocidad cuya magnitud es de 60 km/h. El conductor aplica los frenos y logra detener el automóvil después de que recorrió 40 metros. ¿Qué magnitud de fuerza media realizaron los frenos para detenerlo?



Solución:

Datos

$P = 19\,600$ N

$\theta = 20°$

$v = 60$ km/h $= 16.6$ m/s

Como el automóvil tiene energía potencial gravitacional y energía cinética traslacional debido a su altura y velocidad, respectivamente, cuando éste se detiene ambas energías se han transformado en trabajo realizado contra la fuerza de fricción que lo detiene, donde:

$$T = \text{EPG}_{\text{perdida}} + \text{ECT}_{\text{perdida}} \tag{1}$$

$$\text{EPG}_{\text{perdida}} = mgh = Ph = \text{P (40 m sen 20°)}$$

$$= 19\,600\text{ N} \times 13.68\text{ m} = 268\,128\text{ J}$$

$$\text{ECT}_{\text{perdida}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1\,P}{2\,g}v^2$$

$$= \frac{1}{2}\left(\frac{19\,600\text{ N}}{9.8\text{ m/s}^2}\right)(16.66\text{ m/s})^2 = 277\,555.6\text{ J}$$

Sustituyendo los valores de $\text{EPG}_{\text{perdida}}$ y $\text{ECT}_{\text{perdida}}$ en la ecuación 1, tenemos que el trabajo realizado contra la fuerza de fricción es igual a:

$$T = 268\,128\text{ J} + 277\,555.6\text{ J} = 545\,683.6\text{ J}$$

Como $T = Fd$, la magnitud de la fuerza media que ejercen los frenos es igual a: $F = \frac{T}{d}$

$$\therefore F = \frac{545\,683.6\text{ Nm}}{40\text{ m}} = 13\,642.1\text{ N}$$

13 Calcular la potencia de una grúa que es capaz de levantar 30 bultos de cemento hasta una altura de 10 m en un tiempo de 2 segundos, si cada bulto tiene una masa de 50 kg.

Solución:

Datos

$P = ?$

$m = 30 \times 50$ kg

$= 1\,500$ kg

$h = 10$ m

$t = 2$ s

Fórmula

$$P = \frac{T}{t} = \frac{Fd}{t}$$

Para elevar los 30 bultos a velocidad constante, debe desarrollarse una fuerza cuya magnitud es igual a su peso, donde:

$$F = P = mg = 1\,500\text{ kg} \times 9.8\text{ m/s}^2 = 14\,700\text{ N}$$

$$\therefore P = \frac{14\,700\text{ N} \times 10\text{ m}}{2\text{ s}} = 73\,500\text{ W}$$

14 Calcular el tiempo que requiere un motor de un elevador cuya potencia es de 37 500 W, para elevar una carga de 5 290 N hasta una altura de 70 m.

Solución:

Datos

$t = ?$

$P = 37\,500$ W

$F = 5\,290$ N

$h = 70$ m

Fórmula

$$P = \frac{Fd}{t} = \therefore t = \frac{Fd}{P}$$

Sustitución y resultado

$$t = \frac{5\,290\text{ N} \times 70\text{ m}}{37\,500\,\frac{\text{Nm}}{s}} = 9.87\ s$$

15 La potencia de un motor eléctrico es de 50 hp. ¿A qué magnitud de velocidad constante puede elevar una carga de 9 800 N?

Solución:

Datos

$P = 50$ hp

$v = ?$

$F = 9\,800$ N

Fórmulas

$P = Fv$

$\therefore v = \frac{P}{F}$

Sustitución y resultado

$$50\text{ hp} \times \frac{746\text{ W}}{1\text{ hp}} = 37\,300\text{ W}$$

$$v = \frac{37\,300\text{ Nm/s}}{9\,800\text{ N}} = 3.81\text{ m/s}$$

Ejercicios propuestos

1 Determinar la energía cinética traslacional de una pelota de béisbol cuya masa es 100 g y lleva una velocidad cuya magnitud es de 30 m/s.

2 Un cuerpo cuyo peso tiene una magnitud de 19.6 N, lleva una velocidad cuya magnitud es de 10 m/s. ¿Cuál es su energía cinética traslacional?

3 Determine la masa de un cuerpo cuya energía cinética traslacional es 400 J y lleva una velocidad cuya magnitud es de 30 m/s.

4 Calcular la magnitud de la velocidad de un cuerpo cuya masa es de 4 kg y tiene una energía cinética traslacional de 100 J.

5 Un libro de 1.5 kg se eleva a una altura de 1.3 m. ¿Cuál es su energía potencial gravitacional?

6 Calcular la altura a la que debe estar una persona, cuya masa es de 60 kg, para que su energía potencial gravitacional sea de 5 000 J.

7 Una viga de 980 N se eleva a una altura de 20 m.

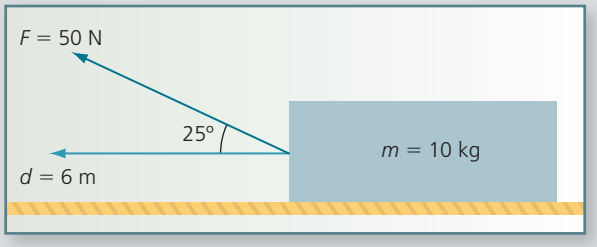
Calcular:

a) ¿Qué trabajo se realiza para elevar la viga?

b) ¿Cuál es su energía potencial gravitacional a los 20 m de altura?

c) ¿Cuál sería su energía cinética traslacional en el preciso instante antes de chocar contra el suelo si se dejara caer libremente?

8 Se aplica sobre un cuerpo de 10 kg una fuerza constante cuya magnitud es de 50 N con un ángulo de 25°, como se ve en la figura. Si a partir del reposo se ha desplazado 6 m, ¿cuál será la magnitud de su velocidad en ese instante? Considere nula la fricción.



9 Una camioneta lleva una energía cinética traslacional de 4×10^4 J y se detiene después de recorrer 20 m. Calcular la magnitud de la fuerza media que ha actuado para detenerla.

10 Un cuerpo de 0.2 kg se lanza verticalmente hacia arriba con una velocidad cuya magnitud es de 25 m/s.

Calcular:

a) ¿Cuánto vale su energía cinética traslacional y su energía potencial gravitacional al inicio de su ascenso?

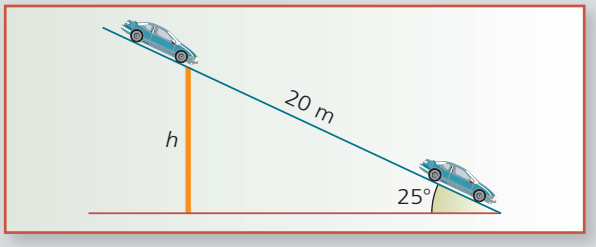
b) ¿Cuánto vale su energía cinética traslacional y potencial gravitacional cuando ha subido 10 m y cuánto vale su energía mecánica total?

11 Un bloque se desliza sobre el suelo con una velocidad inicial cuya magnitud es de 15 m/s. Si el coeficiente de fricción dinámico entre el bloque y el suelo es de 0.2, calcular:

a) ¿Cuál es la distancia que recorre el bloque antes de detenerse?

b) ¿En qué tiempo se detiene?

12 Un automóvil cuyo peso tiene una magnitud de 17 640 N, desciende por una pendiente que forma un ángulo de 25° respecto a la horizontal, como se ve en la figura, a una velocidad cuya magnitud es de 10 m/s. En ese instante el conductor pisa el freno y detiene el automóvil a una distancia de 20 m. ¿Qué magnitud de fuerza media realizaron los frenos para detenerlo?



13 Determinar en watts y en caballos de fuerza la potencia que necesita un motor eléctrico para poder elevar una carga de 20×10^3 N a una altura de 30 m en un tiempo de 15 segundos.

14 Un motor cuya potencia es de 70 hp eleva una carga de 6×10^3 N a una altura de 60 m. ¿En qué tiempo la sube?

15 Calcular la magnitud de la velocidad con la que un motor de 40 hp eleva una carga de 15 000 N.

9 Impulso mecánico

La magnitud del impulso mecánico que recibe un cuerpo es igual al producto de la magnitud de la fuerza aplicada por el intervalo de tiempo en el cual ésta actúa.

Para que un cuerpo en reposo se ponga en movimiento es necesario aplicarle una fuerza, misma que se aplica durante un tiempo determinado.

Cuando se aplica una fuerza sobre un cuerpo en un cierto tiempo, se dice que éste ha recibido un impulso.

El impulso es una magnitud vectorial cuya dirección corresponde a la de la fuerza recibida.

Matemáticamente el impulso se expresa por:

$$\vec{I} = \vec{F}t$$

donde: $\vec{I}$ = impulso en N s
$\vec{F}$ = fuerza aplicada en newtons (N)
t = tiempo en que la fuerza actúa en segundos

10 Cantidad de movimiento o momento lineal

(s)

La cantidad de movimiento lineal de un cuerpo, o simplemente cantidad de movimiento, es igual al producto de su masa por la magnitud de su velocidad.

Como resultado del impulso que recibe un cuerpo éste cambia su velocidad, motivo por el cual se dice que ha experimentado una variación en su cantidad de movimiento.

La cantidad de movimiento es una magnitud vectorial cuya dirección corresponde a la de la velocidad.

Matemáticamente la cantidad de movimiento se expresa por:

$$\vec{C} = m\vec{v}$$

donde: $\vec{C}$ = cantidad de movimiento en kg m/s
m = masa del cuerpo en kilogramos (kg)
$\vec{v}$ = velocidad del cuerpo en m/s

11 Relación entre el impulso y la cantidad de movimiento

Como hemos observado, el impulso y la cantidad de movimiento se encuentran estrechamente ligados, ya que uno genera al otro. Esta relación se manifiesta matemáticamente a partir de la Segunda Ley de Newton, veamos:

Puesto que la expresión matemática de la Segunda Ley de Newton es:

$$F = ma \qquad (1)$$

y la magnitud de la aceleración de un cuerpo está dada por:

$$a = \frac{v_f - v_0}{t} \qquad (2)$$

sustituyendo 2 en 1 tenemos

$$F = m\frac{v_f - v_0}{t} \qquad (3)$$

Al pasar t al otro miembro nos queda:

$$Ft = m(v_f - v_0) \qquad (4)$$

que es igual a:

$$Ft = mv_f - mv_i \qquad (5)$$

La ecuación 5 señala que la magnitud del impulso (Ft) que recibe un cuerpo es igual al cambio en su cantidad de movimiento ($mv_f - mv_i$). Si el cuerpo parte del reposo:

$$mv_i = 0$$

Por lo que:

$$Ft = mv \qquad (6)$$

12 Choque elástico y choque inelástico

Un choque es el encuentro que se produce entre dos cuerpos cuando uno de ellos o los dos llevan una cierta velocidad. Así pues, durante un choque se produce la acción que un cuerpo en movimiento, debido a su masa y velocidad, ejerce sobre otro cuerpo al entrar en contacto con él, por lo cual se producen fuerzas impulsivas de un cuerpo sobre el otro. Cuando se produce un choque, todos los cuerpos sufren una ligera deformación por lo que liberan pequeñas cantidades de energía calorífica. De acuerdo con su elasticidad o capacidad de restitución, un cuerpo recobrará su forma original después de sufrir una deformación.

Los choques entre los cuerpos pueden ser elásticos o inelásticos, dependiendo de si se conserva o no la energía cinética al efectuarse el choque.

Un choque es completamente elástico cuando se conserva la energía cinética. Lo que significa que de manera ideal no se pierde ninguna energía en forma de calor, ya que no hay ninguna deformación durante el choque. Tal es el caso de los choques entre átomos y moléculas en un gas. Otro ejemplo que para fines prácticos se considera elástico es el que se realiza entre bolas de billar o entre dos esferas de vidrio o de acero.

Un choque es inelástico, cuando no se conserva la energía cinética, ya que la energía cinética final es menor que la inicial. Esto se debe a que durante el choque parte de la energía se transforma en calor u ocasiona una deformación en los cuerpos. En un choque completamente inelástico los cuerpos quedan unidos después del choque, por tanto, su velocidad final será la misma. Un ejemplo es el de una bala que se incrusta en un bloque de madera.

13 Ley de la conservación de la cantidad de movimiento o del momento lineal

La ley de la conservación de la cantidad de movimiento señala lo siguiente: cuando dos o más cuerpos chocan la cantidad de movimiento es igual antes y después del choque. Esto significa que si dos o más cuerpos chocan, el resultado de la suma vectorial correspondiente a las cantidades de movimiento de los cuerpos después del choque es igual a la suma de los vectores que corresponde a las cantidades de movimiento de los cuerpos antes de él.

Efectuemos el análisis del choque de frente de dos esferas de acero cuyas masas son m_1 y m_2, representando por $\vec{U}_1$ y $\vec{U}_2$ las velocidades que llevan antes del choque, y por $\vec{v}_1$ y $\vec{v}_2$ las velocidades que llevan después del mismo, como se ve en la figura 5.49.

Antes del choque, tanto la masa 1 como la masa 2 tienen una cantidad de movimiento igual al producto de su masa por su velocidad, de manera que la cantidad de movimiento total antes del choque es:

$$m_1\vec{U}_1 + m_2\vec{U}_2 \qquad (1)$$

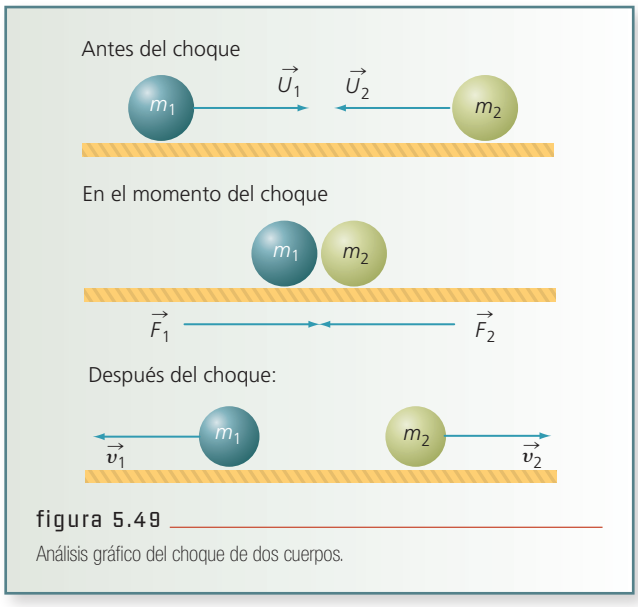


figura 5.49

Análisis gráfico del choque de dos cuerpos.

En el momento del choque la masa 2 recibe un impulso debido a la fuerza 1 cuya magnitud es:

$$\vec{F}_1 t = m_1 \vec{v}_1 - m_1 \vec{U}_1 \qquad (2)$$

La masa 1 también recibe un impulso causado por la fuerza 2 cuya magnitud es:

$$\vec{F}_2 t = m_2 \vec{v}_2 - m_2 \vec{U}_2 \qquad (3)$$

Al considerar positivo el impulso de la fuerza (por ser hacia la derecha) y negativo el de la fuerza 2 (por ser hacia la izquierda), tenemos que en el momento del choque:

$$\vec{F}_1 t = -\vec{F}_2 t \qquad (4)$$

Sustituyendo estas expresiones por el cambio en la cantidad de movimiento a que dan origen (ecuaciones 2 y 3) tenemos:

$$m_1 \vec{v}_1 - m_1 \vec{U}_1 = -(m_2 \vec{v}_2 - m_2 \vec{U}_2) \qquad (5)$$

Reagrupando términos:

$$m_1 \vec{U}_1 + m_2 \vec{U}_2 = (m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2) \qquad (6)$$

donde: $m_1 \vec{U}_1 + m_2 \vec{U}_2$ = cantidad de movimiento antes del choque

$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$ = cantidad de movimiento después del choque

La ecuación 6 nos señala claramente la ley de la conservación de la cantidad de movimiento, pues se observa que antes del choque y después de él la cantidad de movimiento es la misma.

Conservación de la cantidad de movimiento o del momento lineal en dos dimensiones

Ya hemos revisado la cantidad de movimiento o el momento lineal, en una dimensión, pero la ley de la conservación de la cantidad de movimiento o ley de la conservación del momento lineal es válida para cualquier sistema, siempre y cuando se encuentre aislado y cerrado, es decir, que no actúen fuerzas externas sobre el sistema. Así pues, no importa si las direcciones de las partículas del sistema antes y después de chocar unas con otras sea en una o dos dimensiones. Revise el ejemplo resuelto número 11 que se proporciona en la siguiente resolución de problemas.

Resolución de problemas de impulso y cantidad de movimiento

1 Un balón en reposo, cuya masa es de 0.45 kg es pateado por un jugador, imprimiéndole una velocidad cuya magnitud es de 10 m/s. Si el tiempo que lo pateó fue de 0.04 s, ¿cuál fue la magnitud de la fuerza ejercida sobre el balón?

Solución:

Datos

$m = 0.45$ kg

$v = 10$ m/s

$t = 0.04$ s

$F = ?$

Fórmula

$$Ft = mv \therefore F = \frac{mv}{t}$$

Sustitución y resultado

$$F = \frac{0.45 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}}{0.04 \text{ s}} = 112.5 \text{ kg m/s}^2 = 112.5 \text{ N}$$

2 Una pelota de 0.4 kg lleva una velocidad cuya magnitud es de 5 m/s y es golpeada por un jugador, por lo que sale en la misma dirección pero en sentido contrario con una velocidad cuya magnitud es de 10 m/s. La duración del golpe fue de 0.03 s. Calcular la magnitud de la fuerza ejercida sobre la pelota.

Solución:

Datos

$m = 0.4$ kg

$v_0 = 5$ m/s

$v_f = 10$ m/s

$t = 0.03$ s

$F = ?$

Fórmula

$$Ft = m(v_f - v_0) \qquad \therefore F = \frac{m(v_f - v_0)}{t}$$

Sustitución y resultado

$$F = \frac{0.4 \text{ kg } [10 \text{ m/s} - (-5 \text{ m/s})]}{0.03 \text{ s}}$$

El signo de la velocidad inicial es negativo por ir en sentido contrario.

$$F = \frac{0.4 \text{ kg} \times 15 \text{ m/s}}{0.03 \text{ s}} = 200 \text{ N}$$

3 Calcular la magnitud del impulso que debe darse a un automóvil de 1 800 kg de masa para que desarrolle una velocidad cuya magnitu es de 70 km/h.

Solución:

Datos

$I = Ft = ?$

$m = 1\,800$ kg

$v = 70$ km/h

Fórmula

$$I = Ft = mv$$

Transformación de unidades

$$70 = \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1\,000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} = 19.44 \text{ m/s}$$

Sustitución y resultado

$$Ft = 1\,800 \text{ kg} \times 19.44 \text{ m/s} = 34\,992 \text{ kg m/s}$$

4 Calcular el tiempo en que debe aplicarse una fuerza cuya magnitud es de 20 N para que un cuerpo de 3 kg varíe la magnitud de su velocidad de 4 m/s a 8 m/s.

Solución:

Datos	Fórmulas
$t = ?$	$Ft = m(v_f - v_0)$
$F = 20$ N	$\therefore t = \dfrac{m(v_f - v_0)}{F}$
$m = 3$ kg	
$v_0 = 4$ m/s	
$v_f = 8$ m/s	

Sustitución y resultado

$$t = \frac{3 \text{ kg } (8 \text{ m/s} - 4 \text{ m/s})}{20 \text{ kg m/s}^2} = \frac{3 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s}}{20 \text{ kg m/s}^2} = 0.6 \text{ s}$$

5 ¿Cuál es la magnitud de la cantidad de movimiento de un cuerpo cuyo peso tiene una magnitud de 147 N, si lleva una velocidad cuya magnitud es de 40 km/h?

Solución:

Datos	Fórmulas
$C = ?$	$C = mv$
$P = 147$ N	$P = mg \therefore m = \dfrac{P}{g}$
$v = 40$ km/h	

Transformación de unidades

$$40 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1\,000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} = 11.1 \text{ m/s}$$

Sustitución y resultado

$$C = \frac{P}{g} v = \frac{147 \text{ kg m/s}}{9.8 \text{ m/s}^2} \times 11.1 \text{ m/s} = 166.5 \text{ km m/s}$$

6 Un automóvil tiene una masa de 1 950 kg y lleva una velocidad cuya magnitud es de 20 m/s. Al frenar la disminuye a 10 m/s en un tiempo de 4 segundos. ¿Qué magnitud tiene la fuerza retardadora promedio?

Solución:

Datos	Fórmulas
$m = 1\,950$ kg	$Ft = m(v_f - v_0)$
$v_0 = 20$ m/s	$\therefore F = \dfrac{m(v_f - v_0)}{t}$
$v_f = 10$ m/s	
$t = 4$ s	
$F = ?$	

Sustitución y resultado

$$F = \frac{1\,950 \text{ kg } (10 \text{ m/s} - 20 \text{ m/s})}{4 \text{ s}} = -4\,875 \text{ N}$$

El signo de la fuerza es negativo, ya que actúa en contra del movimiento.

7 Una persona de 70 kg de masa corre a una velocidad cuya magnitud es de 7 m/s.

Calcular:

a) ¿Cuál es la magnitud de su cantidad de movimiento?

b) ¿Qué magnitud de velocidad debe llevar una persona de 60 kg para tener la misma magnitud de la cantidad de movimiento que la persona de 70 kg?

Solución:

Datos	Fórmulas
$m_1 = 70$ kg	a) $C = mv$
$m_2 = 60$ kg	
$v_1 = 7$ m/s	b) $v = \dfrac{C}{m}$
a) $C = ?$	
b) $v_2 = ?$	

Sustitución y resultado

a) $C = 70 \text{ kg} \times 7 \text{ m/s} = 490 \text{ kg m/s}$

b) $v_2 = \dfrac{C}{m_2} = \dfrac{490 \text{ kg m/s}}{60 \text{ kg}} = 8.16 \text{ m/s}$

8 Un proyectil de 2 kg es disparado por un cañón que tiene una masa de 350 kg. Si el proyectil sale con una velocidad cuya magnitud es de 450 m/s, ¿cuál es la magnitud de la velocidad de retroceso del cañón?

Solución:

Datos	Fórmula
$m_1 = 2$ kg	$m_1U_1 + m_2U_2 = m_1v_1 + m_2v_2$
$m_2 = 350$ kg	
$v_1 = 450$ m/s	
$v_2 = ?$	

Como el proyectil y el cañón están en reposo antes del disparo, la cantidad de movimiento inicial es cero, donde:

$$0 = m_1v_1 + m_2v_2$$

$$-m_1v_1 = m_2v_2$$

$$\therefore v_2 = \frac{m_1v_1}{m_2} = -\frac{2 \text{ kg} \times 450 \text{ m/s}}{350 \text{ kg}} = -2.57 \text{ m/s}$$

El signo menos indica que el cañón se mueve en sentido contrario al movimiento del proyectil.

9 Un cuerpo tiene una masa es de 0.2 kg y lleva una velocidad cuya magnitud es de 3 m/s al chocar de frente contra otro cuerpo de 0.1 kg de

masa y que va a una velocidad cuya magnitud es de 2 m/s. Considerando al choque completamente inelástico, ¿qué magnitud de velocidad llevarán los dos cuerpos después del choque al permanecer unidos?

Solución:

Datos **Fórmula**

$m_1 = 0.2$ kg $\quad m_1U_1 + m_2U_2 = m_1v_1 + m_2v_2$

$U_1 = 3$ m/s

$m_2 = 0.1$ kg

$U_2 = 2$ m/s

$v = ?$

Como van en sentido contrario y después del choque tienen la misma magnitud de velocidad: $v_1 = v_2 = v$. Por tanto:

$$m_1U_1 + (-m_2U_2) = (m_1 + m_2)\,v$$

Despejando v: $v = \dfrac{m_1U_1 - m_2U_2}{m_1 + m_2}$

$$= \frac{0.2\text{ kg} \times 3\text{ m/s} - 0.1\text{ kg} \times 2\text{ m/s}}{0.2\text{ kg} + 0.1\text{ kg}} = 1.33\text{ m/s}$$

10 Se dispara una bala de 0.015 kg en forma horizontal, incrustándose en un trozo de madera de 12 kg que está en reposo. La madera y la bala adquieren una velocidad cuya magnitud es de 0.6 m/s después del impacto. ¿Cuál es la magnitud de la velocidad inicial de la bala?

Solución:

Datos **Fórmula**

$m_1 = 0.015$ kg $\quad m_1U_1 + m_2U_2 = m_1v_1 + m_2v_2$

$m_2 = 12$ kg

$U_1 = ?$

$U_2 = 0$

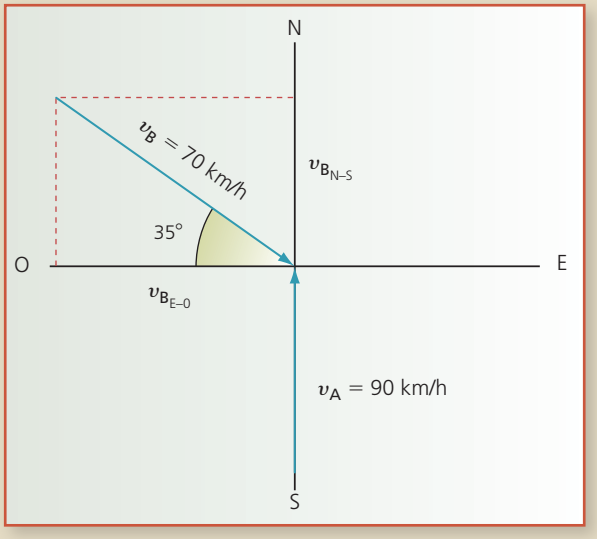
$v = 0.6$ m/s

Como el trozo de madera está en reposo, la única cantidad de movimiento inicial se debe a la bala y como después del impacto los dos cuerpos llevan la misma magnitud de la velocidad (v), la fórmula se reduce a:

$$m_1U_1 = (m_1 + m_2)v \therefore U_1 = \frac{(m_1 + m_2)v}{m_1}$$

$$U_1 = \frac{(0.015\text{ kg} + 12\text{ kg})\,0.6\text{ m/s}}{0.015\text{ kg}} = 480.6\text{ m/s}$$

11 Un automóvil A de 1800 kg que viaja a una velocidad de 90 km/h al norte, choca contra un automóvil B de 2000 kg que viaja a una velocidad de 70 km/h y lleva un ángulo de 35° respecto al este, como se ve en la figura. Si después del impacto ambos vehículos quedan unidos adquiriendo la misma velocidad, calcular la magnitud de ésta y la dirección que llevarán después del choque.



Solución:

Transformación de unidades

Automóvil A:

$$v = 90\frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1\,000\text{ m}}{1\text{ km}} \times \frac{1\text{ h}}{3\,600\text{ s}} = 25\text{ m/s}$$

Automóvil B:

$$v = 70\frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1\,000\text{ m}}{1\text{ km}} \times \frac{1\text{ h}}{3\,600\text{ s}} = 19.44\text{ m/s}$$

Cálculo de la magnitud de la cantidad de movimiento total de los dos automóviles, N−S y E−O.

a) Magnitud de las componentes N−S de la cantidad de movimiento (C) para los dos automóviles:

Automóvil A:

$$C_{A_{N-S}} = m_A\,v_A = 1\,800\text{ kg} \times 24\text{ m/s}$$
$$= 45\,000\text{ kg m/s}$$

Automóvil B:

$$C_{B_{N-S}} = m_B\,v_{B_{N-S}}$$
$$= -2000\text{ kg} \times 19.44\text{ m/s} \times \text{sen } 35°$$
$$= -22\,301.6\text{ kg m/s}$$

Magnitud de la cantidad de movimiento total N−S:

$$C_{N-S} = C_{A_{N-S}} + C_{B_{N-S}}$$
$$= 45\,000\text{ kg m/s} - 22\,301.6\text{ kg m/s}$$
$$= 22\,698.4\text{ kg m/s}$$

b) Magnitud de los componentes E−O de la cantidad de movimiento (C) para los dos automóviles:

Automóvil A:

$$C_{A_{E-O}} = 0$$

Automóvil B:

$$C_{B_{E-O}} = m_B \, v_{B_{E-O}}$$
$$= 2\,000 \text{ kg} \times 19.44 \text{ m/s} \times \cos 35^\circ$$
$$= 31\,850.5 \text{ kg m/s}$$

Magnitud de la cantidad de movimiento total E−O:

$$C_{E-O} = 31\,850.5 \text{ kg m/s}$$

Como se observa en la figura siguiente, hay una cantidad de movimiento total N−S de 22 698.4 kg m/s al norte y una cantidad de movimiento total E−O de 31 850.5 kg m/s al este.

Por tanto, la magnitud de la cantidad de movimiento resultante C_R de los dos automóviles es:

$$C_R = \sqrt{C_{N-S}^2 + C_{E-0}^2}$$
$$= \sqrt{(22\,698.4 \text{ kg m/s})^2 + (31\,850.5 \text{ kg m/s})^2}$$
$$= 39\,110.9 \text{ kg m/s}$$

Para conocer la magnitud de la velocidad que adquieren después del choque los dos automóviles (v_{AB}) tenemos:

$$C_R = m_T \, v_{AB}$$

$$\therefore v_{AB} = \frac{C_R}{m_T} = -\frac{39\,110.9 \text{ kg m/s}}{1\,800 \text{ kg} + 2\,000 \text{ kg}} = 10.29 \text{ m/s}$$

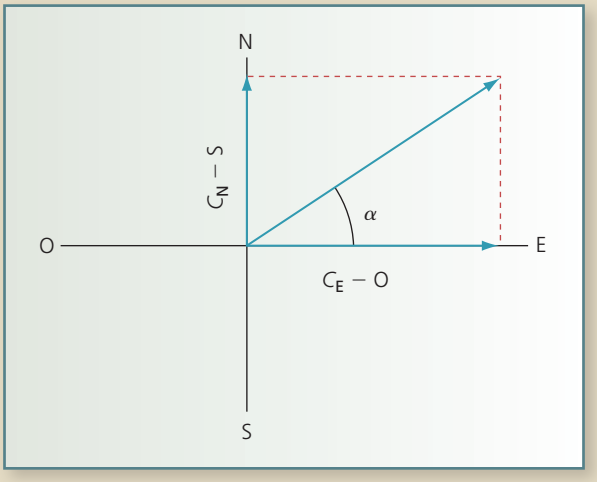
Cálculo del ángulo α que llevará la velocidad:

$$\alpha = \frac{C_{N-S}}{C_{E-0}}$$

$$\alpha = \frac{22\,698.4 \text{ kg m/s}}{31\,850 \text{ kg m/s}} = 0.7126$$

α = ángulo cuya tangente es 0.7126

$\alpha = 35.47^\circ = 35^\circ 28'$ respecto al este.



Ejercicios propuestos

1. Calcular la magnitud de la cantidad de movimiento que tiene un cuerpo, cuya masa es de 10 kg y lleva una velocidad cuya magnitud es de 5 m/s.
2. ¿Qué magnitud de impulso recibe un cuerpo al aplicarle una fuerza cuya magnitud es de 30 N durante 4 segundos?
3. ¿Qué magnitud de impulso debe dársele a un camión, cuya masa es 5 000 kg, para que adquiera una velocidad cuya magnitud es de 60 km/h?
4. Una pelota en reposo de 0.2 kg es pateada durante 0.03 s adquiriendo una velocidad cuya magnitud es de 7 m/s. ¿Qué magnitud de fuerza recibió?
5. Un jugador de béisbol lanza una pelota cuyo peso tiene una magnitud de 0.1 kg a una velocidad con una magnitud de 15 m/s, al ser bateada sale en la misma dirección, pero en sentido contrario a una velocidad cuya magnitud es de 20 m/s. Si la duración del golpe es de 0.03 s, ¿con qué magnitud de fuerza fue impulsada?
6. Determine el tiempo durante el cual debe aplicarse una fuerza cuya magnitud es de 50 N para que un cuerpo de 10 kg cambie la magnitud de su velocidad de 2 m/s a 5 m/s.
7. ¿Cuál es la magnitud de la cantidad de movimiento de un cuerpo cuyo peso de 98 N y su velocidad tiene una magnitud de 20 km/h?
8. Una camioneta con una masa de 3 500 kg lleva una velocidad con una magnitud de 22 m/s. Al frenar, la magnitud de la velocidad disminuye a 15 m/s en un tiempo de cinco segundos. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza promedio que disminuye la velocidad?

9. Un automóvil de 1900 kg de masa lleva una velocidad cuya magnitud es de 16 m/s.

   Calcular:

   a) ¿Cuál es su cantidad de movimiento?

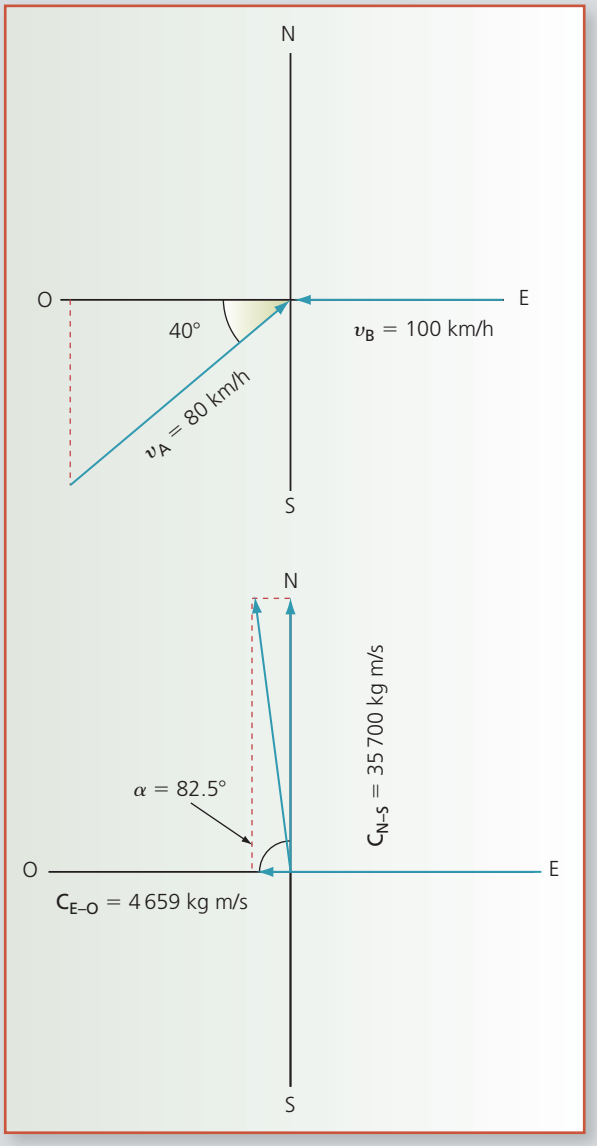
   b) ¿Qué magnitud de velocidad debe llevar un camión de 5000 kg para tener la misma magnitud de la cantidad de movimiento que el automóvil?

10. Un proyectil de 3 kg es disparado por un cañón cuya masa es de 290 kg. Si el proyectil sale con una velocidad cuya magnitud es de 400 m/s, ¿cuál es la magnitud de la velocidad de retroceso del cañón?

11. Un cuerpo de 3 kg lleva una velocidad cuya magnitud es de 5 m/s al chocar de frente con otro cuerpo de 4 kg que va a una velocidad cuya magnitud es de 2 m/s. Calcular el valor la magnitud de velocidad que llevarán ambos cuerpos después del choque, considerando que éste es completamente inelástico y, por tanto, se moverán unidos.

12. Se dispara una bala con una masa de 0.01 kg en forma horizontal incrustándose en un bloque de madera de 10 kg que está en reposo. La madera y la bala adquieren una velocidad cuya magnitud es de 0.5 m/s después del impacto. ¿Cuál es la magnitud de la velocidad inicial de la bala?

13. Una camioneta tiene una masa de 2500 kg y viaja a una velocidad cuya magnitud es de 80 km/h en dirección noreste con un ángulo de 40° respecto al este, como se ve en la figura, choca contra un automóvil de 1700 kg que viaja con una velocidad de 100 km/h al oeste. Después del impacto, ambos vehículos quedan unidos adquiriendo la misma velocidad. Calcular la magnitud de dicha velocidad y su dirección.



14 Ley de la conservación del momento angular

Para comprender la ley de la conservación de la cantidad de movimiento angular, también llamada del momento angular, recordaremos algunos conceptos ya estudiados y revisaremos algunos nuevos. Veamos.

Momento de una fuerza

Sabemos que el momento de una fuerza, que también recibe los nombres de momento estático, momento de torsión, o simplemente torca (torcer), se define como la capacidad que tiene una fuerza para hacer girar un cuerpo. También se puede interpretar como la intensidad con que la fuerza, al actuar sobre un cuerpo, tiende a comunicarle un movimiento de rotación.

La magnitud del momento de una fuerza, respecto a un eje de rotación considerado, se representa con la letra M o bien con la letra del alfabeto griego τ (tau) y se calcula multiplicando el valor de la fuerza aplicada (F) por el brazo de la palanca (r), de donde:

$$\tau = Fr$$

Ya hemos señalado que por convención, se considera que el momento de una fuerza es positivo cuando su tenden-

cia es hacer girar un cuerpo en sentido contrario al giro de las manecillas del reloj (figura 5.50) y es negativo cuando la tendencia de la fuerza aplicada es hacer girar al cuerpo en el sentido de las manecillas del reloj (figura 5.51).

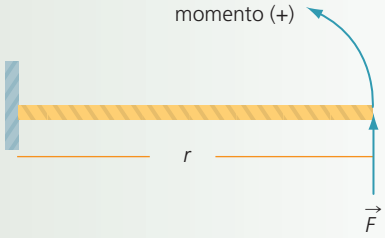


figura 5.50

Ejemplo de momento positivo de una fuerza.

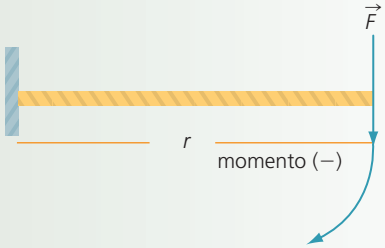


figura 5.51

Ejemplo de momento negativo de una fuerza.

Desplazamiento angular, velocidad angular, velocidad lineal, aceleración angular y aceleración lineal

Consideremos que una rueda gira con un ángulo tal que un punto del borde de la rueda se mueve sobre la circunferencia a una distancia igual al arco AB (figura 5.52). De esta manera, tendremos que el ángulo (θ) que gira la rueda, es decir, su desplazamiento angular (θ) se puede expresar en grados, revoluciones o radianes. El ángulo (θ) será de un radián si el arco AB tiene una longitud igual al radio OA. Por tanto, para un ángulo cuyo arco es s y cuyo radio es r, tendremos que:

$$\theta \text{ (radianes)} = \frac{s}{r}$$

La circunferencia de un círculo es $2(\pi)$ veces su radio ($2\pi r$), y 2 (π) radianes equivalen a 360°, de donde:

$$1 \text{ radián} = \frac{360°}{2\pi} = 57.3°$$

La magnitud de la velocidad angular (ω) representa el cociente entre la magnitud del desplazamiento angular (θ) de un cuerpo y el tiempo que tarda en realizarlo:

$$\omega = \frac{\theta}{t} \text{ en rad/s}$$

La magnitud de la velocidad angular también se puede determinar si sabemos el tiempo que tarda en dar una vuelta completa:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ en rad/s}$$

Como $T = \frac{1}{f}$, tenemos que: $\omega = 2\pi f$ en rad/s.

Cuando un cuerpo se encuentra girando, cada una de la partículas del mismo se mueve a lo largo de la circunferencia descrita por él, con una velocidad lineal cuya magnitud es de mayor a medida que aumenta el radio (r) de la circunferencia. Esta velocidad lineal también recibe el nombre de tangencial, porque la dirección del movimiento siempre es tangente a la circunferencia recorrida por la partícula y representa la velocidad que llevaría ésta si saliera disparada tangencialmente, como se muestra en la figura 5.53.

Para calcular la magnitud de la velocidad tangencial o lineal se usa la expresión:

$$v_L = \frac{2\pi r}{T} \qquad (1)$$

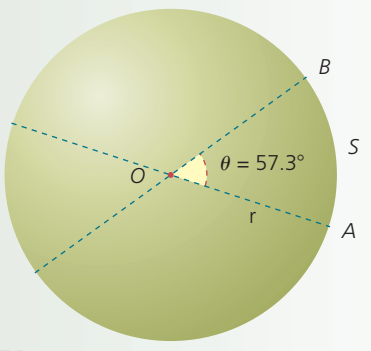


figura 5.52

El desplazamiento angular (θ) es de un radián (57.3º) cuando el arco (s) tiene una longitud igual al radio (r).

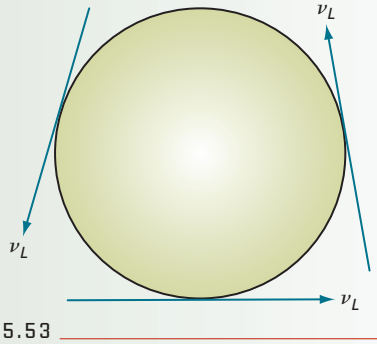


figura 5.53

La velocidad tangencial o lineal (v_l) representa la velocidad que llevaría un cuerpo si saliera disparado en forma tangencial a la circunferencia que describe.

Como la magnitud de la velocidad angular $(\omega) = \frac{2\pi}{T}$, la magnitud de la velocidad angular y la lineal de un punto de un cuerpo que gira se relaciona con la ecuación:

$$v_L = \omega r \therefore$$

$$\omega = \frac{v_L}{r} \tag{2}$$

Cuando durante el movimiento de un cuerpo que gira, su velocidad angular no permanece constante sino que varía, decimos que experimenta una aceleración angular (α). Por tanto, la magnitud de la aceleración angular de un cuerpo que gira es:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{t} = \frac{\omega_f - \omega_0}{t} \tag{3}$$

Un cuerpo que gira tiene aceleración lineal (a_L) cuando durante su movimiento circular cambia su velocidad lineal ($v_{L_f} - v_{L_O}$), por tanto, la magnitud de la aceleración lineal es:

$$a_L = \frac{v_{L_f} - v_{L_0}}{t} \tag{4}$$

De la ecuación 2 tenemos que:

$$v_L = \omega\, r, \text{ por lo que}$$

$$a_L = \frac{\omega_f r - \omega_0 r}{t} = \left(\frac{\omega_f - \omega_0}{t}\right) r$$

De la ecuación 3 sabemos que:

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_0}{t}, \text{ por lo que}$$

$$a_L = \alpha r \tag{5}$$

De la ecuación 5, se aprecia que la magnitud de la aceleración angular (α) se relaciona con la magnitud de la aceleración lineal (a_L) por medio de la expresión:

$$\alpha = \frac{a_L}{r} \tag{6}$$

Inercia rotacional o momento de inercia

Ya hemos señalado que cuando un cuerpo gira, trata de continuar así y uno sin girar trata de continuar sin hacerlo. Igualmente mencionamos que la propiedad de los cuerpos de oponerse a cambios en su estado de movimiento de rotación recibe el nombre de inercia rotacional, también llamada momento de inercia (véase figura 5.44 en la sección 7 de esta unidad) y cuya magnitud se representa por la letra I.

Por tanto, la magnitud de un momento de rotación o momento de fuerza (τ) no equilibrado que actúa sobre un cuerpo, le produce una cierta magnitud de aceleración angular (α) que se expresa por la siguiente ecuación:

$$\tau = I\alpha \tag{7}$$

Como ya señalamos, I representa la magnitud del momento de inercia rotacional en torno al eje de rotación.

Veamos con mayor detalle de qué depende la magnitud del momento de inercia o inercia rotacional de un cuerpo.

Sabemos que un cuerpo rígido está formado por multitud de partículas; apliquemos la segunda ley de Newton a una sola partícula que gira. Consideremos la magnitud de una fuerza resultante F que actúa sobre una partícula de masa (m) en una dirección perpendicular al radio (r) de una circunferencia, como se muestra en la figura 5.44. La magnitud de la fuerza que produce una aceleración lineal (a_L) es igual a:

$$F = ma_L \tag{8}$$

Si multiplicamos por r cada miembro de la igualdad, tendremos:

$$Fr = mra_L \tag{9}$$

Ya vimos en la ecuación 6 que la magnitud de la aceleración angular se expresa por:

$$\alpha = \frac{a_L}{r}, \text{ de donde:}$$

$$a_L = \alpha r \tag{10}$$

De donde la ecuación 9 la podemos escribir como:

$$Fr = mr\alpha r = mr^2\alpha \tag{11}$$

El producto Fr representa la magnitud del momento de rotación o momento de una fuerza (τ) que produce una aceleración angular (α) (figura 5.54). El producto mr^2 corresponde a la magnitud del momento de inercia rotacional (I) de la partícula en torno al eje que pasa por el punto O, de tal manera que:

$$\tau = mr^2\,\alpha, \text{ es decir:}$$

$$\tau = I\alpha \tag{12}$$

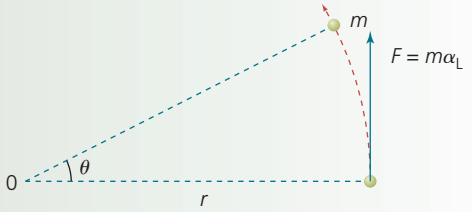


figura 5.54

La fuerza resultante F le produce a una particula de masa m una aceleración lineal $a_L = F/m$. La magnitud del momento de la fuerza o momento de rotación es igual a $\tau = Fr$ y produce una aceleración angular α cuya magnitud es igual a τ/mr^2, es decir, $\alpha = \tau/I$.

En la figura 5.55 se observan dos partículas de masa m_1 y m_2; se ubica una en cada extremo de una varilla de masa despreciable que puede girar alrededor de un eje que

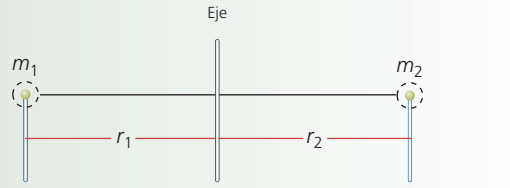


figura 5.55

La magnitud de la inercia de rotación del sistema alrededor del eje está dado por: $I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2$.

pasa por el centro de gravedad del sistema y que es perpendicular a la línea que une las partículas. La magnitud del momento de inercia total del sistema en torno al eje estará dado por:

$$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 \qquad (13)$$

Para un cuerpo cuyo tamaño sea considerable, se puede establecer una expresión similar a la de la ecuación 13, pero contendría muchos términos, en los cuales r_1, r_2, r_3,...,r_n, serían las distancias de las masas respectivas al eje de rotación. De tal manera que el momento de inercia de un cuerpo corresponde a la suma de todos los momentos de inercia de las partículas que lo componen. Así, por ejemplo, el cilindro B de la figura 5.44, de masa (m) y radio (r), puede ser considerado como compuesto de muchas partículas de masas Δm, cada una de ellas a una distancia r del centro del cilindro. La magnitud del momento de inercia del cilindro alrededor de un eje que pase por el centro corresponderá a la suma (Σ) de las magnitudes de los momentos de inercia de las partículas, es decir:

$I = \Sigma\ (\Delta m)\ r^2 = r^2 \Sigma\ (\Delta m)$, por lo que:

$$I = m r^2$$

Las unidades de I en el Sistema Internacional son kg m^2.

Las magnitudes de los momentos de inercia de cuerpos rígidos de forma regular, es decir, de alta simetría, se calculan fácilmente en cualquier caso en que el eje de rotación se localice en un eje de simetría.

En la figura 5.56 se muestra la expresión matemática que se utiliza para calcular la magnitud del momento de inercia de un anillo cilíndrico (a), que como se observa, es igual a la de un cilindro hueco de paredes delgadas (b), ($I = mr^2$); la de una esfera sólida (c) que gira como la Tierra alrededor de su propio eje, es decir, un eje que pasa por su centro $\left(I = \frac{2}{5} mr^2\right)$; la de una varilla delgada (d), de longitud (ℓ) que gira en torno a un eje perpendicular a la varilla y que pasa por su centro $\left(I = \frac{1}{12} m\ell^2\right)$, la expresión para un disco o para un cilindro sólido (e), $\left(I = \frac{1}{2} mr^2\right)$; así como de una esfera hueca de paredes delgadas (f) $\left(I = \frac{2}{3} mr^2\right)$.

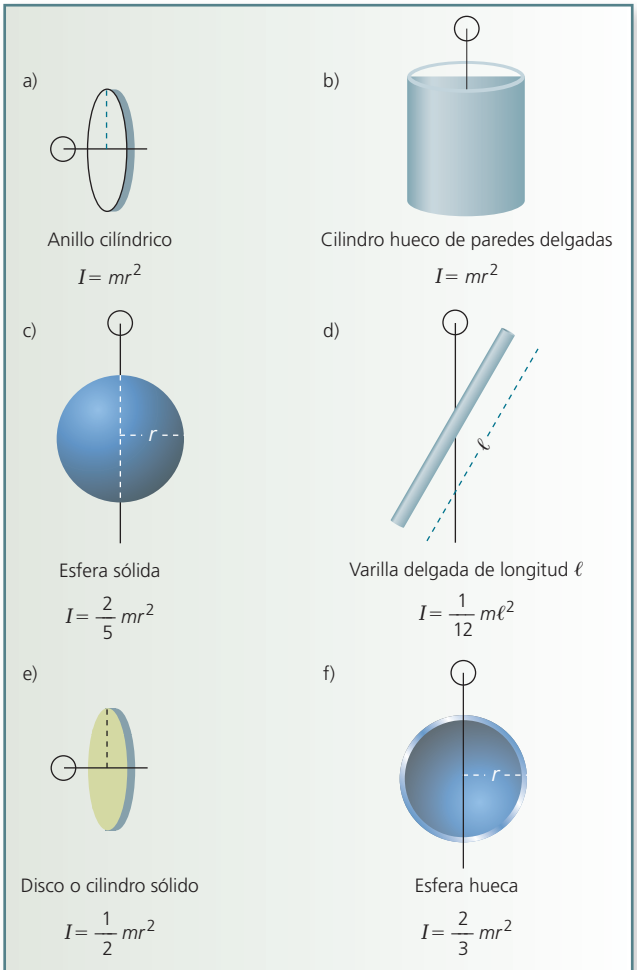


figura 5.56

Expresiones matemáticas para calcular las magnitudes de los momentos de inercia para algunos cuerpos de forma regular respecto a su eje de rotación.

En términos generales podemos señalar que el momento de inercia, o inercia rotacional de un cuerpo, mide su resistencia a variar su estado de movimiento de rotación. Se diferencia de la inercia en el momento lineal en que, en ésta, su resistencia a variar su estado de movimiento depende únicamente de su masa, mientras que la magnitud del momento de inercia de un cuerpo depende, además de su masa, de la manera en que está distribuida en torno al eje de rotación (figura 5.44).

Cantidad de movimiento angular y ley de la conservación de la cantidad de movimiento angular o del momento angular

Cuando una partícula se encuentra girando (figura 5.54) en determinado instante, la partícula tiene una velocidad lineal $\vec{v}_L$ y, por tanto, una cantidad de movimiento lineal cuya magnitud se determina multiplicando su masa por la

magnitud de su velocidad lineal (mv_L). La magnitud del momento de su cantidad de movimiento lineal se define como (mv_L)r. Como $v_L = \omega r$, siendo ω la velocidad angular de la partícula y r la distancia que hay de la partícula al eje de rotación tendremos:

$$(mv_L)r = (m\omega r)r = (mr^2)\omega$$

como $mr^2 = I$, tenemos:

$$I\omega = \text{cantidad de movimiento angular} = L$$

Por definición, **la magnitud de la cantidad de movimiento angular, o simplemente magnitud del momento angular (L) de un cuerpo en rotación, es el producto de la magnitud de su momento de inercia (I) por la magnitud de su velocidad angular (ω).**

$$L = I\omega$$

Las unidades de L en el Sistema Internacional son kg m^2/s. Así como la magnitud de la fuerza resultante es igual a la rapidez de cambio de la cantidad del movimiento lineal o momento lineal $\left(F = \frac{mv}{t}\right)$, la magnitud del momento de rotación o magnitud del momento de una fuerza (τ) es igual a la rapidez de cambio de la cantidad de movimiento angular, o sea, igual a la rapidez de cambio del momento angular:

$$\tau = \frac{\Delta L}{\Delta t}$$

La ley de la conservación del momento angular señala que el momento angular total permanece constante, si no actúa sobre el sistema un momento de rotación externo no equilibrado. También se enuncia así: cuando la suma de los momentos de rotación ($\Sigma\tau$) externos que actúan sobre un sistema de cuerpos es igual a cero, el momento angular permanece constante.

Un ejemplo práctico de conservación del momento angular es la Tierra, misma que durante millones de años ha girado con una magnitud de velocidad angular prácticamente constante. Cuando la inercia rotacional o momento de inercia (I) de un cuerpo en rotación cambia como consecuencia de una redistribución de su masa, debe cambiar su rapidez de rotación para que se conserve su momento angular. Veamos los siguientes ejemplos:

a) Cuando una persona se sienta en un banco giratorio con baja fricción y se le pone en rotación, la persona podrá regular su rapidez de rotación levantando o bajando los brazos (figura 5.57). Cuando los extiende y levanta a una posición horizontal, la magnitud de su momento de inercia (I) aumenta y disminuye la magnitud de su velocidad de rotación, es decir, la magnitud de su velocidad angular ω. Cuando baja los brazos, aumenta la magnitud de su velocidad de rotación y disminuye la magnitud de su momento de inercia, de donde $L = I\omega$ = constante.

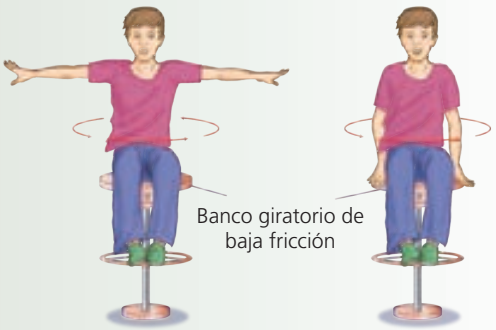


figura 5.57

En a) se observa una persona girando con los brazos extendidos, por lo que la magnitud de su momento de inercia (I) es mayor y menor la magnitud de su velocidad de rotación (ω). En b) baja los brazos, con lo cual disminuye la magnitud de su momento de inercia y en consecuencia aumenta su magnitud de velocidad de rotación. Por tanto, la ley de la conservación del momento angular se cumple, ya que la magnitud del momento angular (L) es la misma en a) que en b), de donde: $L = I\omega$ = constante.

b) Cuando se amarra una piedra al extremo de una cuerda que pasa por un tubo hueco y se pone a girar la piedra en un círculo, se observa que si se jala repentinamente la cuerda por el tubo, de tal manera que se reduzca el radio del círculo en que gira la piedra, al acercarse la piedra al eje de rotación disminuye la magnitud de su inercia rotacional o magnitud del momento de inercia (I), pero aumenta la magnitud de su velocidad de rotación o la magnitud de su velocidad angular (ω). Consecuentemente, se conserva constante su momento angular (L).

Energía cinética rotacional

La energía cinética rotacional de un cuerpo tiene un valor igual al trabajo realizado por un momento de rotación resultante que acelera al cuerpo en su movimiento giratorio hasta que adquiere su velocidad final. Se calcula con la expresión:

$$\text{ECR} = \frac{1}{2}I\omega^2$$

donde: ECR = energía cinética rotacional en joules (J)

I = magnitud del momento de inercia o inercia rotacional en kg m^2

ω = magnitud de la velocidad angular en rad/s

Giroscopio

Un giroscopio es todo cuerpo en rotación (como es el caso de la Tierra) que tiene dos propiedades fundamentales:

1. Inercia giroscópica o rigidez en el espacio, es decir, tiene inercia rotacional.

2. Precesión giroscópica, que consiste en la inclinación del eje en un ángulo recto (90°) siempre que se presente una fuerza que tienda a cambiar el plano de rotación.

Los giroscopios artificiales son cuerpos esféricos o en forma de discos montados en un soporte cardánico, de manera tal que giren libremente en cualquier dirección. Un soporte cardánico se fundamenta en el principio de la llamada suspensión Cardán, que se utiliza especialmente en los compases o brújulas de navegar de los barcos y submarinos. Consiste en tres aros: un aro interior que soporta la columna de la brújula y se articula en dos puntos opuestos en el aro central, el cual está articulado a su vez en el aro exterior, y éste se encuentra articulado en la caja de instrumentos. Como el eje de la articulación de cada aro es perpendicular al del aro siguiente, la brújula se mantiene horizontal independientemente de los movimientos que experimenta el soporte exterior, es decir, la nave o embarcación.

En la figura 5.58 se observa una rueda maciza que se encuentra montada en una suspensión Cardán, de tal modo que puede girar de manera independiente en torno a los tres ejes: *AB*, *CD* y al eje vertical V. Si consideramos que el extremo *B* del eje apunta hacia el norte y que la rueda gira de izquierda a derecha, como se muestra en la misma figura, es decir, en el sentido de las manecillas del reloj, alrededor del eje de rotación *AB*; si ahora se hace girar el sistema de tal forma que el extremo B apunte hacia el este (oriente), se observará que la mitad superior de la rueda que originalmente se movía hacia el este, seguirá moviéndose hacia el este, mientras la mitad inferior lo hará hacia el oeste (poniente) y la rueda se inclinará alrededor del eje *CD* de tal manera que el extremo *B* quedará más abajo. Por tanto, cualquier intento de hacer girar el sistema alrededor del eje V, hará que el sistema gire en torno al eje *CD*, es decir, una inclinación del eje en un ángulo recto, presentándose el efecto o propiedad fundamental llamada precesión giroscópica, ya descrita. En caso de que ningún momento resultante actúe sobre el giroscopio, su cantidad de movimiento angular permanecerá sin cambiar, por lo que seguirá girando con su eje de rotación fijo o rígido en el espacio.

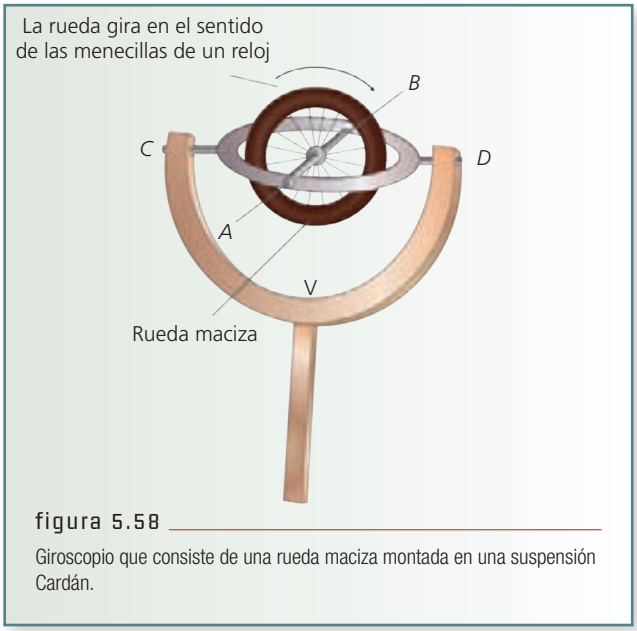


figura 5.58

Giroscopio que consiste de una rueda maciza montada en una suspensión Cardán.

En las embarcaciones oceánicas y en la aeronáutica se usan brújulas giroscópicas. En ellas la rueda giroscópica se mantiene en rotación por medio de un chorro de aire. Un anillo que va fijo a la suspensión del giroscopio produce un momento de rotación que tiende a hacer que el giroscopio oriente su eje en una dirección norte-sur, independientemente de las vueltas que dé la nave. Los giroscopios sirven también para dirigir aviones automáticamente. Veamos: si un avión vuela hacia el norte y el giroscopio gira en el sentido de las manecillas de un reloj en un eje que es paralelo al movimiento; en el caso de que el avión se desviara de su ruta, por ejemplo, hacia la derecha de la misma, el extremo delantero del eje del giroscopio se inclinará hacia abajo y cerrará un circuito eléctrico que accionará las palancas necesarias para que el avión vuelva a su ruta.

Resolución de problemas de momento de inercia y momento angular

1. Un anillo cilíndrico uniforme, como el de la figura 5.56(a), tiene una masa de 0.6 kg y un radio de 0.5 m en torno de un eje perpendicular al plano formado por el anillo y que pasa por su centro.

Calcular:

La magnitud del momento de inercia o inercia rotacional del anillo.

Solución:

Para calcular la magnitud del momento de inercia del anillo utilizamos la expresión matemática correspondiente que se muestra en la figura 5.56(a). Por tanto:

$$I = mr^2 = 0.6 \text{ kg } (0.5 \text{ m})^2 = 0.15 \text{ kg m}^2$$

2. Una varilla delgada, como la de la figura 5.56(d), tiene una longitud de 0.8 m y una masa de 4 kg. La varilla gira a una velocidad cuya magnitud es de 13 rad/s en torno a un eje perpendicular a la varilla y que pasa por su centro.

Calcular:

a) La magnitud de su momento de inercia.

b) La magnitud de su momento angular o cantidad de movimiento angular.

Solución:

Datos **Fórmulas**

$\ell = 0.8$ m $\quad I = \frac{1}{12} m\ell^2$

$m = 4$ kg

$\omega = 13$ rad/s $\quad L = I\omega$

a) $I = ?$

b) $L = ?$

a) Para calcular la magnitud del momento de inercia de la varilla se utiliza la expresión matemática correspondiente que se localiza en la figura 5.56(d).

$$I = \frac{1}{12} m\ell^2 = \frac{1}{12} 4 \text{ kg } (0.8 \text{ m})^2$$
$$= 0.213 \text{ kg m}^2$$

b) La magnitud del momento angular es:

$$L = I\omega = 0.213 \text{ kg m}^2 \times 13 \text{ rad/s}$$
$$= 2.769 \text{ kg m}^2/\text{s}$$

3 Se tiene una esfera sólida como la de la figura 5.56(c) cuya masa es de 7 kg y que gira alrededor de su propio eje, es decir, un eje que pasa por su centro. El radio de la esfera es de 0.14 metros.

Calcular:

a) La magnitud de su momento de inercia.

b) La magnitud de su momento angular si gira a una velocidad angular cuya magnitud es de 60 rad/s.

Datos **Fórmulas**

$m = 7$ kg $\quad I = \frac{2}{5} mr^2$

$r = 0.14$ m

$\omega = 60$ rad/s $\quad L = I\omega$

a) $I = ?$

b) $L = ?$

Solución:

a) Para calcular la magnitud del momento de la inercia de la esfera sólida, se usa la expresión matemática correspondiente, de acuerdo con la figura 5.56(c):

$$I = \frac{2}{5} mr^2 = \frac{2}{5} 7 \text{ kg } (0.14 \text{ m})^2$$
$$= 0.055 \text{ kg m}^2$$

b) La magnitud del momento angular es:

$$L = I\omega = 0.55 \text{ kg m}^2 = 60 \text{ rad/s} = 3.3 \text{ kg m}^2/\text{s}$$

4 La masa de un volante delgado es de 55 kg y tiene un radio de 40 cm. Gira con una frecuencia de 25 revoluciones/s en torno de un eje perpendicular al plano formado por el volante y que pasa por su centro.

Calcular:

a) La magnitud de su inercia rotacional del volante.

b) La magnitud de su velocidad angular.

c) La magnitud de su momento angular.

d) Su energía cinética rotacional.

Solución:

Datos **Fórmulas**

$m = 55$ kg a) $I = mr^2$

$r = 40$ cm $= 0.4$ m b) $\omega = 2\pi f$

$f = 25$ rev/s c) $L = I\omega$

a) $I = ?$ d) $\text{ECR} = \frac{1}{2} I\omega^2$

b) $\omega = ?$

c) $L = ?$

d) ECR = ?

a) Para calcular la magnitud de la inercia rotacional o momento de la inercia del volante, consultamos la expresión matemática que corresponde a un anillo cilíndrico de acuerdo con la figura 5.56(a):

$$I = mr^2 = 55 \text{ kg } (0.4 \text{ m})^2 = 8.8 \text{ kg m}^2$$

b) La magnitud de su velocidad angular será:

$$\omega = 2\pi f = 2 \times 3.14 \times 25 \text{ rev/s}$$
$$= 157 \text{ rad/s}$$

c) La magnitud de su momento angular es igual a:

$$L = I\omega = 8.8 \text{ kg m}^2 \times 157 \text{ rad/s}$$
$$= 1\,381.6 \text{ kg m}^2/\text{s}$$

d) Su energía cinética rotacional es:

$$\text{ECR} = \frac{1}{2} I\omega^2 = \frac{1}{2} 8.8 \text{ kg m}^2 (157 \text{ rad/s})^2$$
$$= 108\,455.6 \text{ kg m}^2/\text{s}^2 = 108\,455.6 \text{ J}$$

Ejercicios propuestos

1. Una varilla delgada como la de la figura 5.56 (d) tiene una masa de 5 kg y una longitud de 0.7 m. La varilla gira a una velocidad angular cuya magnitud es de 23 rad/s en torno a un eje perpendicular a la varilla y que pasa por su centro.

   Calcular:

   a) La magnitud de su momento de inercia o inercia rotacional.

   b) La magnitud de su momento angular o cantidad de movimiento angular.

2. Un cilindro hueco de paredes delgadas de una centrífuga, similar al de la figura 5.56(a), tiene una masa de 1.5 kg y un radio de 0.15 m. El cilindro gira a una velocidad cuya magnitud es de 25 rad/s en torno de un eje perpendicular al plano formado por el cilindro y que pasa por su centro.

   Calcular:

   a) La magnitud de su momento de inercia.

   b) La magnitud de su momento angular.

3. Se tiene una esfera hueca como la de la figura 5.56, que se usa para fines promocionales. Su masa es de 60 kg y tiene un radio de 1.5 m. Gira a una velocidad angular cuya magnitud es de 0.3 rad/s alrededor de su propio eje, es decir, un eje que pasa por su centro.

   Calcular:

   a) La magnitu de su momento de inercia.

   b) La magnitu de su momento angular.

4. La masa de un disco sólido como el de la figura 5.56(e), usado como esmerilador para afilar cuchillos, es de 1.5 kg y tiene un radio de 0.1 m. Gira con una frecuencia de 30 revoluciones/s en torno de un eje perpendicular formado por el disco y que pasa por su centro.

   Calcular:

   a) La magnitud de la inercia rotacional o momento de inercia del disco.

   b) La magnitud de su velocidad angular.

   c) La magnitud de su momento angular.

   d) Su energía cinética rotacional.

15 Máquinas simples y su eficiencia

El hombre siempre ha buscado cómo realizar un trabajo de manera más cómoda y que le posibilite ejercer una fuerza mayor a la que podría aplicar sólo con sus músculos. Para ello, ha construido desde herramientas sencillas llamadas máquinas simples hasta máquinas complejas, cuyo funcionamiento parte del principio en el cual se basan las máquinas simples.

Una máquina simple es un dispositivo que se usa para cambiar la magnitud y/o la dirección en que se aplica una fuerza. Su característica principal es que transmiten la fuerza de modo directo, tal es el caso de la palanca, el plano inclinado, la polea y el torno. El tornillo y la cuña a veces se consideran máquinas simples, pero en realidad son aplicaciones del plano inclinado. En las máquinas complejas la transmisión se efectúa mediante mecanismos combinados en un sistema formado por un número mayor o menor de máquinas simples. Es importante señalar que una máquina simple o una compleja no realiza un trabajo menor, sólo lo hace más fácil. Sin embargo, la mayoría proporciona una ventaja mecánica, misma que se presenta cuando el peso levantado (fuerza de salida) es mayor que la fuerza aplicada (fuerza de entrada); en este caso, se dice que la máquina es un multiplicador de fuerzas. Una máquina simple o compleja no tiene fuente de energía propia; por ello, es necesario suministrarle un **trabajo, llamado de entrada**, para que pueda modificar, por medio de un **trabajo llamado de salida**, la posición, estado de movimiento o forma de los cuerpos, acuñar monedas o estampar sellos con un troquel fabricado con un bloque de acero grabado, prensar algodón, laminar materiales, entre otras cosas.

Cuantificación de la ventaja mecánica

La ventaja mecánica (V_m) de una máquina simple se calcula al dividir la magnitud del peso o carga levantada que recibe el nombre de fuerza de salida (F_s), entre la magnitud de la fuerza aplicada para levantar dicho peso, llamada fuerza de entrada (F_e), su modelo matemático es:

$$V_m = \frac{F_s}{F_e}$$

En virtud de la importancia que tienen las máquinas simples por su aplicación en nuestra vida cotidiana, revisemos cada una de ellas.

Palanca

Una palanca, como la mostrada en la figura 5.59, consiste normalmente en una barra o una varilla rígida, de madera o metal, que se hace girar sobre un punto fijo denominado fulcro o punto de apoyo. Cuando se requiere levantar un cuerpo pesado, se le coloca en el extremo más corto para reducir su brazo de palanca, mientras que la fuerza aplicada se colocará a la mayor distancia posible del punto de apoyo o fulcro, de tal manera que su brazo de palanca sea el mayor y la fuerza necesaria que se debe aplicar para levantar el cuerpo sea de la menor magnitud posible. Revise el ejemplo que se presenta en resolución de problemas.

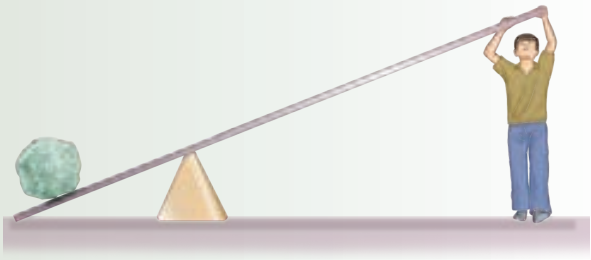


figura 5.59

La palanca consiste en una barra o una varilla rígida que se hace girar sobre un punto de apoyo o fulcro.

Resolución de un problema de la palanca

1 Se requiere levantar una roca cuyo peso tiene una magnitud de 100 kg_f (F_S) por medio de una palanca como se ve en la figura 5.60; el brazo de palanca de la roca (d_2) es de 0.5 m.

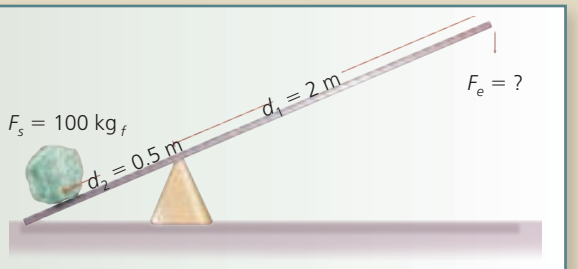


figura 5.60

Uso de la palanca para levantar una roca.

Calcular:

a) La magnitud de la fuerza que se debe aplicar para levantarla si el brazo de palanca de esta fuerza es de 2 m.

b) El valor de la ventaja mecánica.

Solución:

Para que se pueda subir la roca con la palanca, de acuerdo con la segunda condición de equilibrio (véase Estática en la unidad 5 de este libro), tenemos que para que un cuerpo esté en equilibrio de rotación, la suma de los momentos o torcas de las fuerzas que actúan sobre él respecto a cualquier punto debe ser igual a cero. De donde, la magnitud del momento de la fuerza de entrada ($F_e d_1$) es igual a la magnitud del momento de la fuerza de salida ($F_S d_2$), por tanto:

$$F_e d_1 = F_2 d_2$$

La fuerza F_e que se debe aplicar tiene una magnitud de:

$$F_e = \frac{F_2 d_2}{d_1} = \frac{100\ \text{kg}_f \times 0.5\ \text{m}}{2\ \text{m}}$$

$$F_e = 25\ \text{kg}_f$$

Como sólo se requiere aplicar una fuerza cuya magnitud es de 25 kg_f para levantar la roca (F_e), cuyo peso tiene una magnitud de 100 kg_f (F_S), tenemos que la ventaja mecánica es igual a:

$$V_m = \frac{F_s}{F_e}$$

$$V_m = \frac{100\ \text{kg}_f}{25\ \text{kg}_f} = 4$$

Como se puede observar, la palanca es un multiplicador de fuerzas.

Resulta importante señalar que la ventaja mecánica calculada al dividir la magnitud de fuerza de salida entre la magnitud de la fuerza de entrada nos da un valor de una ventaja mecánica teórica. Esto se debe a que todas las máquinas experimentan algún tipo de rozamiento al realizar un trabajo, por lo que la ventaja real de una máquina siempre será menor que la ventaja teórica. Sin embargo, para fines prácticos podemos considerar aceptable el valor de la ventaja mecánica teórica de una máquina.

Existen tres tipos de palancas dependiendo del lugar donde se localice el fulcro o punto de apoyo, la fuerza aplicada y la carga o resistencia. En las llamadas de primer género, el punto de apoyo se localiza entre la fuerza aplicada y la carga o resistencia, tal es el caso de utilizar

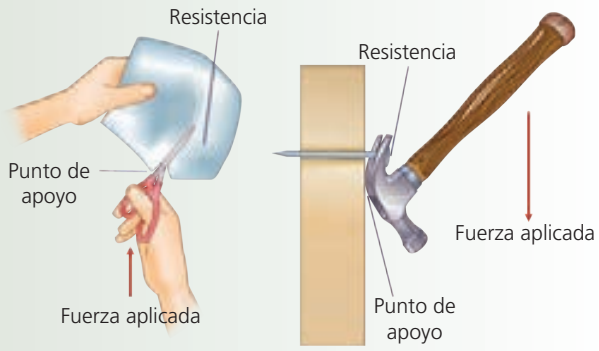


figura 5.61

Tijeras y sacaclavos, palancas de primer género.

un sacaclavos o unas tijeras (figura 5.61); en éstas se combinan dos palancas.

En las palancas de segundo género, la resistencia se localiza entre el punto de apoyo y la fuerza aplicada, tal es el caso de un destapador de refrescos, una carretilla o un cascanueces (figura 5.62).

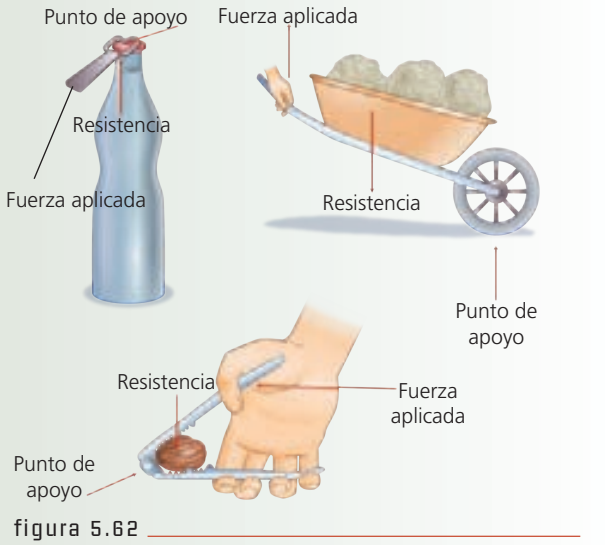


figura 5.62

El destapador de refrescos, la carretilla y el cascanueces son palancas de segundo género.

En las palancas de tercer género, es la fuerza aplicada la que se encuentra localizada entre el punto de apoyo y la resistencia, por ejemplo, una pinza para sujetar pan o hielo y la pala (figura 5.63).

Plano inclinado

Un plano inclinado consta simplemente de una rampa, es decir, una superficie plana con un ángulo mucho menor de 90° respecto al suelo o eje horizontal (figura 5.64).

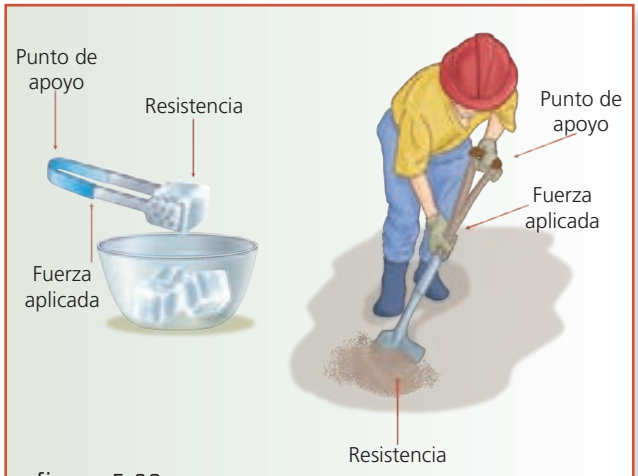


figura 5.63

La pinza para hielo y la pala son palancas de tercer género.

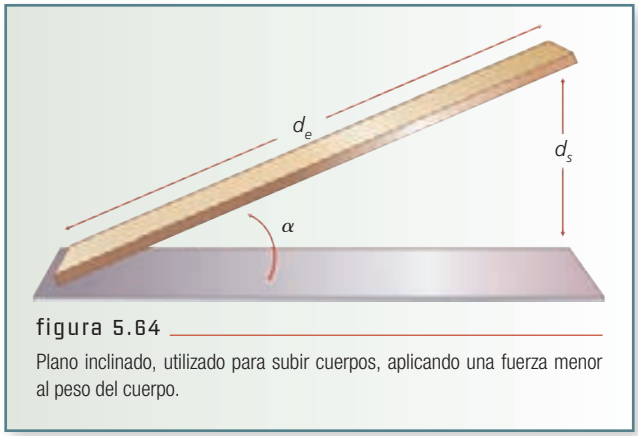


figura 5.64

Plano inclinado, utilizado para subir cuerpos, aplicando una fuerza menor al peso del cuerpo.

El plano inclinado se utiliza cuando es necesario subir cajas, muebles, refrigeradores, animales, barriles u otros cuerpos a un camión de carga o a cierta altura de una casa o construcción, pues siempre será más fácil subir un cuerpo a través de un plano inclinado en lugar de levantarlo de modo vertical, ya que la magnitud de la fuerza aplicada será menor, pero recorrerá una mayor distancia. Por tanto, el producto de la magnitud de la fuerza aplicada (F_e) para subir un cuerpo por la distancia recorrida (d_e) será igual al producto de la magnitud del peso levantado (F_S) por la altura a la cual se levantó (d_S). En otras palabras:

Trabajo realizado por la fuerza aplicada (F_e) a un cuerpo a lo largo (d_e) del plano inclinado, igual al trabajo que se requeriría efectuar para subir al cuerpo de determinado peso (F_S) a la altura (d_S) del plano. De donde:

$$F_e d_e = F_S d_S$$

Por tanto, no se realiza un trabajo menor al subir el cuerpo por un plano inclinado, pero sí se hace más fácil al aplicar una fuerza cuya magnitud es menor no

obstante que se necesita recorrer una distancia mayor, o sea la longitud de la rampa.

Revise el siguiente ejemplo:

Se requiere subir un barril cuyo peso tiene una magnitud de 60 kg_f a la plataforma de un camión cuya altura es de 1 m; para ello, se emplea una rampa cuya longitud es de 5 m. ¿Qué magnitud de fuerza necesita aplicar la persona que lo suba? Observe la figura 5.65. ¿Cuál es su ventaja mecánica?

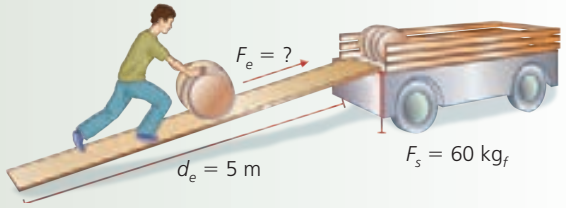


figura 5.65

Barril subido a la plataforma de un camión por medio de un plano inclinado.

Solución:

$$F_e d_e = F_S d_S$$

$$\therefore F_e = \frac{F_s d_s}{d_e}$$

$$V_m = \frac{F_s}{F_e}$$

Sustitución y resultados:

$$F_e = \frac{60 \text{ kg}_f \times 1 \text{ m}}{5 \text{ m}} = 12 \text{ kg}_f$$

$$V_m = \frac{60 \text{ kg}_f}{12 \text{ kg}_f} = 5$$

Como se puede observar, el plano inclinado es un multiplicador de fuerzas, pues la persona que sube el barril por la rampa sólo requerirá ejercer una fuerza cuya magnitud es de 12 kg_f en lugar de los 60 kg_f que debería aplicar si subiera el barril en forma vertical.

El plano inclinado tiene varias aplicaciones, por ejemplo, en una escalera de una casa o edificio; la escalera es un plano inclinado al cual se le construyen escalones, de tal manera que se puede ascender con facilidad a determinada altura.

La cuña (figura 5.66) es otra aplicación del plano inclinado, consta de dos planos inclinados terminados en punta. Se utiliza para separar superficies en dos, tal es el caso de un hacha, un cincel, un cuchillo o un abrelatas.

El tornillo es otra aplicación del plano inclinado, toda vez que es una pieza cilíndrica o cónica que tiene enrollado a su alrededor un plano inclinado en forma de espiral. A la espiral se le llama rosca o cuerda de tornillo, y a la distancia que existe entre dos ranuras o dos vueltas

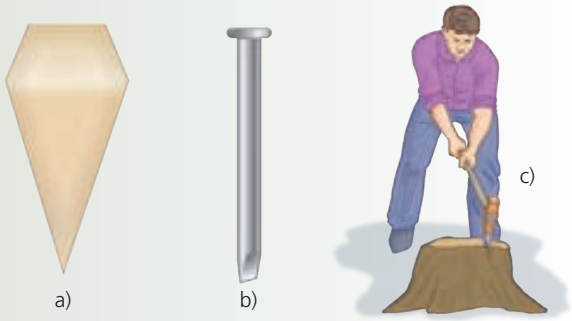


figura 5.66

a) Cuña constituida por dos planos inclinados. Se utiliza para separar superficies. b) Cuña de un cincel. c) Hacha utilizada para separar superficies.

sucesivas de la espiral se le conoce como paso del tornillo. Cuando se hace girar el tornillo transforma el movimiento de rotación en movimiento de traslación, de tal manera que se introduce en una superficie o en dos si se les desea unir. El tornillo también se utiliza para cerrar herméticamente frascos o botellas con sus respectivas tapas y en los que ambos cuerpos tienen rosca o cuerda en forma de tornillo. Otra aplicación es el denominado tornillo de banco que sirve para sujetar firmemente piezas de metal, plástico o madera que se estén trabajando. En los gatos utilizados para levantar grandes pesos a poca altura, como es el caso de levantar un automóvil para cambiar una llanta, también se utiliza el tornillo, en este caso, el tornillo permite mover grandes pesos con la aplicación de fuerzas cuyas magnitudes son relativamente pequeñas (figura 5.67).



figura 5.67

El tornillo, un frasco y su tapa con rosca, y el gato usado para levantar grandes pesos a poca altura, son aplicaciones del plano inclinado.

Ruedas y poleas

La rueda es un cuerpo de forma circular que gira sobre un eje que pasa por su centro. Las ruedas más antiguas

que se conocen se construyeron hace unos 3 500 años a.C. en la antigua Mesopotamia y estaban constituidas por un solo disco sólido de madera fijado a un eje redondo. Alrededor del año 2 000 a.C. se eliminaron secciones del disco para reducir su peso por medio de rayos (figura 5.68).



figura 5.68

La invención de la rueda significó un gran avance de la civilización.

La invención de la rueda significó un gran avance de la civilización y en la actualidad tiene múltiples usos en vehículos, sistemas de transporte, máquinas, molinos, motores, torno, poleas, entre otros.

Poleas

Una polea es una máquina simple y está constituida por un disco acanalado que gira alrededor de un eje fijo por medio de una cuerda que pasa por el canal del disco.

Polea fija

Una polea fija, como la que se muestra en la figura 5.69, no ofrece ninguna ventaja mecánica toda vez que la fuerza aplicada es igual a la magnitud del peso levantado; sin embargo, nos facilita el trabajo, ya que es más fácil subir el peso jalando hacia abajo la cuerda que si lo tuviéramos que cargar para elevarlo a cierta altura.

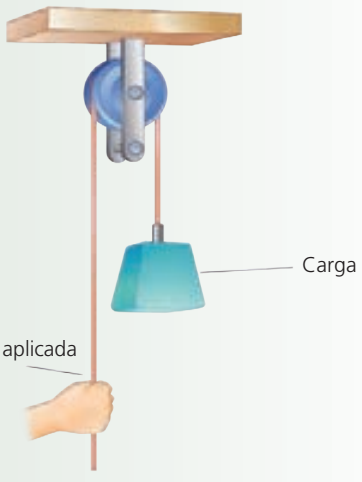


figura 5.69

Polea fija. La fuerza aplicada es igual a la carga. $F = C$.

Polea móvil

Con una polea móvil, como la que se ilustra en la figura 5.70, sí se obtiene una ventaja mecánica, ya que la magnitud de la fuerza aplicada es igual a la mitad de la magnitud del peso levantado, toda vez que el peso es soportado por ambos segmentos de la cuerda. La polea fija sólo nos sirve para cambiar el sentido de la fuerza aplicada para que en lugar de aplicar la fuerza hacia arriba jalemos la cuerda hacia abajo. Podemos reducir aún más la magnitud de la fuerza aplicada para levantar una carga cualquiera si formamos un sistema con varias poleas fijas llamado polipasto o cuadernal (figura 5.71). La

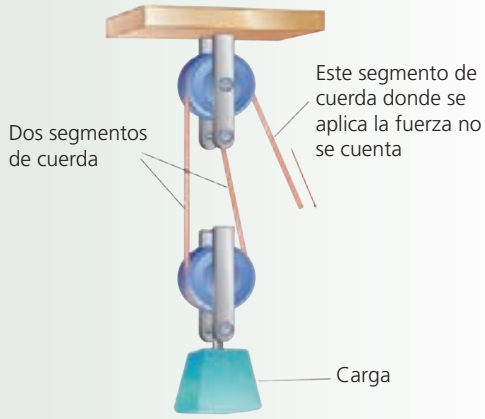


figura 5.70

Polea móvil. La magnitud de la fuerza aplicada es igual a la mitad de la magnitud de la carga: $F = \frac{C}{2}$.

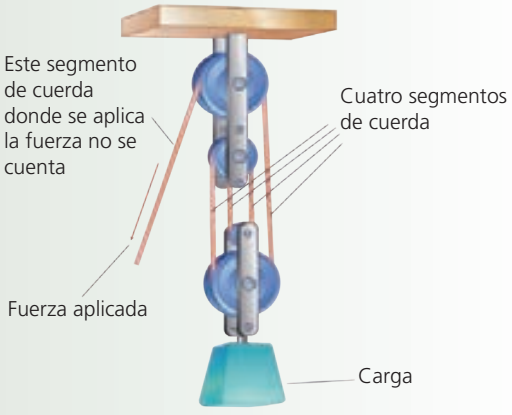


figura 5.71

Polipasto. La magnitud de la fuerza aplicada es igual a la cuarta parte de la magnitud de la carga: $F = \frac{C}{4}$.

magnitud de la fuerza aplicada será igual a dividir la magnitud de la carga levantada entre el número de segmentos de cuerda que sostienen la carga que se quiere mover, excepto el segmento de cuerda sobre el que se aplica la fuerza. Es importante considerar que la fricción que se produce entre la cuerda y las poleas reduce la ventaja mecánica real, por lo que en general se utiliza un máximo de cuatro poleas.

Combinaciones comunes de las máquinas simples

Ya señalamos, al principio de esta sección, que las máquinas simples se pueden combinar para construir máquinas complejas, cuyo resultado es ofrecernos mayor ventaja mecánica y hacer más fácil el trabajo.

Veamos algunos ejemplos:

- **La bicicleta.** En esta máquina intervienen ruedas, ejes, palancas, poleas y tornillos.
- **Escalera eléctrica.** Aquí intervienen ruedas, ejes, plano inclinado y poleas.
- **Máquina de coser.** Utiliza ruedas, ejes, poleas, palanca y la cuña.

Eficiencia de las máquinas simples

La eficiencia (ε) de una máquina mecánica, ya sea simple o compleja, se determina mediante la relación entre el trabajo útil obtenido por la máquina, denominado trabajo de salida (W_S), y el trabajo realizado sobre la misma para producirlo, conocido como trabajo de entrada (W_e).

$$\varepsilon = \frac{W_s}{W_e}$$

Si se multiplica por cien, se tendrá la eficiencia expresada en porcentaje:

$$\varepsilon = \frac{W_s}{W_e} \times 100$$

Para comprender la expresión anterior, veamos las figuras 5.72, 5.73 y 5.74.

Como se observa en la figura 5.72, para levantar la roca se realiza un trabajo de entrada (W_e), cuyo valor será igual al producto de la magnitud de la fuerza de entrada (F_e) aplicada a uno de los brazos de la máquina simple (palanca) por la distancia de entrada (d_e), cuyo valor corresponde a la longitud del arco recorrido por el brazo de palanca, es decir: $W_e = F_e\, d_e$

El trabajo de entrada aplicado es devuelto por la máquina en forma de trabajo de salida (W_S), el valor de dicho trabajo de salida será igual al producto de la magnitud de la fuerza de salida (F_S), cuya magnitud es igual al peso de

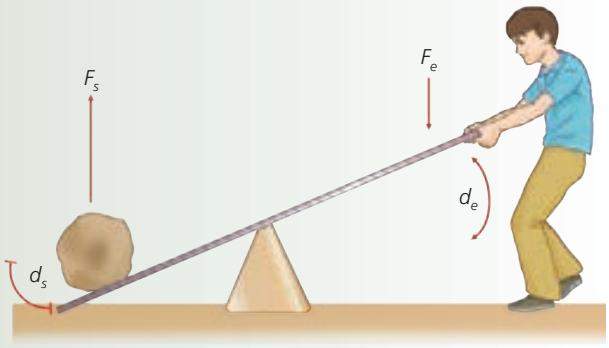


figura 5.72

Mediante una palanca, ejemplo de máquina simple, se levantará una roca al aplicar un trabajo mecánico llamado de entrada ($W_e = F_e d_e$).

la roca, por la distancia de salida (d_S) cuyo valor corresponde a la longitud del arco recorrido por el brazo de palanca de la roca (figura 5.73).

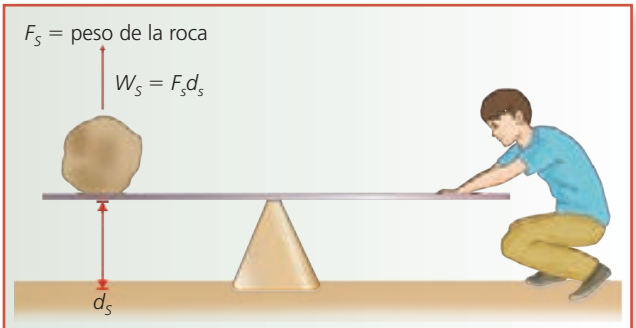


figura 5.73

La roca se levanta gracias al trabajo de salida (W_S) obtenido con la máquina simple.

Si la fuerza de fricción entre la barra de la palanca y el punto de apoyo es despreciable, el trabajo de entrada y el de salida tendrán el mismo valor, es decir, $W_e = W_S$, de donde: $F_e d_e = F_s d_s$, entonces la eficiencia de la máquina será de 100%, considerándose por este hecho una máquina ideal. En general, la eficiencia real de las máquinas es menor al 100%, pues debido a las fuerzas de fricción el trabajo de entrada es mayor que el trabajo de salida.

Eficiencia del plano inclinado

La eficiencia del plano inclinado se determina al conocer el trabajo de entrada y el de salida mediante la relación ya mencionada, es decir:

$$\varepsilon = \frac{W_S}{W_e} = \frac{F_S d_S}{F_e d_e}$$

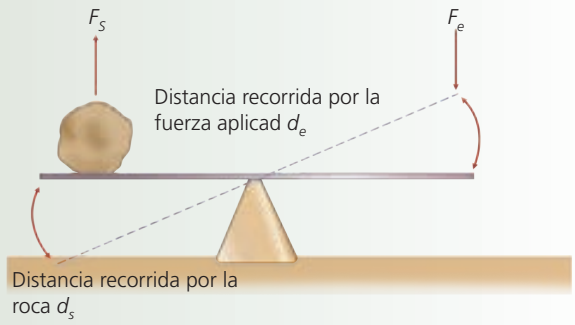


figura 5.74

Para subir la roca, con la máquina simple se obtuvo un trabajo de salida (W_S) que equivale a $W_S = F_S d_S$. El trabajo de entrada aplicado a la máquina es igual a $W_e = F_e d_e$.

Expresada la eficiencia en porcentaje, tenemos:

$$\varepsilon = \frac{W_s}{W_e} \times 100$$

Experimentalmente se pueden efectuar mediciones y cálculos en un caso real. Para conocer el trabajo de entrada (W_e), se mide con el dinamómetro la magnitud de la fuerza aplicada para subir con velocidad constante el bloque (F_e), así como la distancia recorrida por la fuerza, igual a la longitud del plano inclinado (d_e), es decir, $W_e = F_e d_e$ (figura 5.75). El trabajo de salida (W_S) se obtiene al multiplicar la magnitud de la fuerza de salida necesaria para subir el bloque (F_S), y cuya magnitud será igual a la magnitud de su peso, por la distancia de salida (d_S), equivalente a la altura a la cual se levanta el bloque, es decir, $W_S = F_S d_S$. ¿Cómo considera que será el trabajo de salida comparado con el trabajo de entrada?

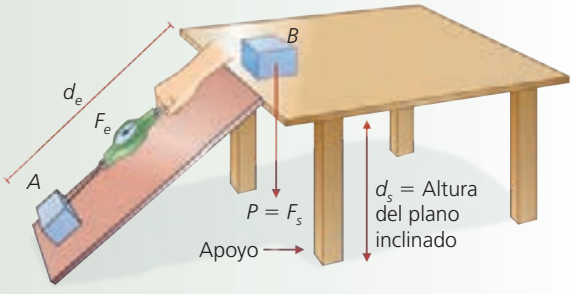


figura 5.75

Para trasladar el bloque de peso P del punto A al B, se debe aplicar un trabajo de entrada igual a: $W_e = F_e d_e$ por la máquina simple.

El trabajo de entrada es mayor que el trabajo de salida debido a las fuerzas de fricción entre el bloque y la superficie plana del plano inclinado.

Eficiencia de una polea fija y de una móvil

La eficiencia de una polea también se determina por medio del cociente obtenido al dividir el trabajo de salida entre el trabajo de entrada:

$$\varepsilon = \frac{W_S}{W_e} = \frac{F_S d_S}{F_e d_e}$$

Expresada la eficiencia en porcentaje, tenemos:

$$\varepsilon = \frac{W_s}{W_e} \times 100$$

Para conocer el trabajo de entrada (W_e) en una polea fija (figura 5.76), leeremos la magnitud de la fuerza de entrada (F_e) en el dinamómetro y que será igual a la magnitud de la fuerza que se debe aplicar para levantar un cuerpo de peso (P) a una velocidad constante. Para determinar la distancia de entrada (d_e), mediremos con una regla la magnitud del desplazamiento del dinamómetro (figura 5.76) que será igual a la distancia recorrida por la fuerza entrada (F_e). Por tanto, $W_e = F_e d_e$.

Para calcular el trabajo de salida (W_S) debemos conocer la magnitud fuerza de salida (F_S) necesaria para levantar el cuerpo y que es igual a su peso ($F_S = P$). La distancia de salida (d_S) la determinaremos al medir con una regla la altura a la cual deseamos subir el cuerpo (figura 5.76). Por tanto, $W_S = F_S d_S$.

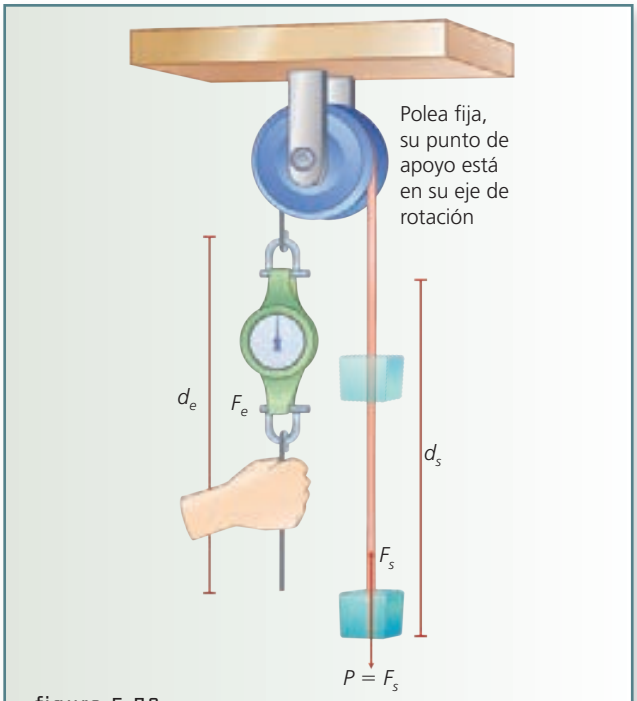


figura 5.76

Determinación del trabajo de entrada ($W_e = F_e d_e$) y del trabajo de salida ($W_S = F_S d_S$) en una polea fija.

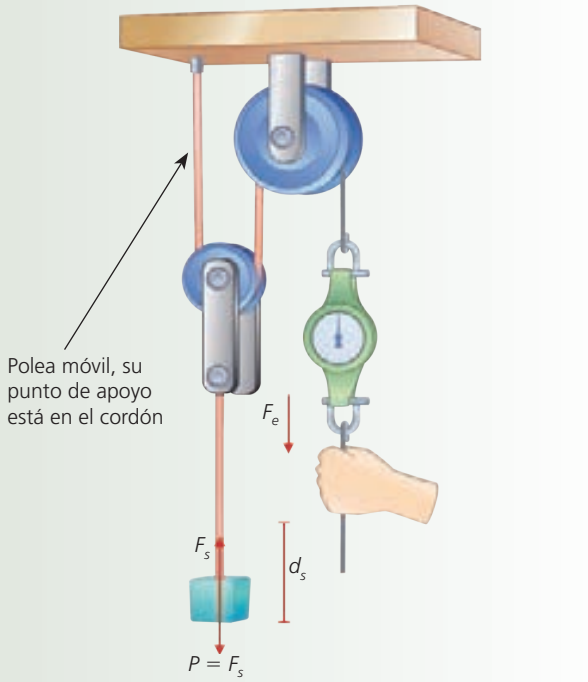


figura 5.77

Determinación de la eficiencia en una polea móvil, expresada en porcentaje: $\varepsilon = \frac{W_s}{W_e} \times 100$.

Para una polea móvil, como la de la figura 5.77, su eficiencia la determinaremos de igual manera que hicimos en la polea fija.

En una polea móvil ideal, es decir, sin rozamiento y masa despreciable, cuya cuerda o cordón usado sea flexible, no se alargue y su masa se pueda despreciar, la magnitud de la fuerza de salida es igual al doble de la magnitud de la fuerza de entrada. Ejemplo: Para levantar un peso de 10 kg_f con una polea móvil ideal se necesita aplicar una fuerza cuya magnitud es de 5 kg_f. Pero si el peso de 10 kg_f se eleva a una altura de 1 m (distancia de salida), la distancia de entrada recorrida por la fuerza de entrada, deberá ser el doble de la distancia de salida, es decir, 2 m, de tal manera que se cumpla la siguiente igualdad: trabajo de salida = trabajo de entrada ($W_S = W_e$), por lo que: $F_S d_S = F_e d_e$, es decir, 10 $kg_f \times 1$ m = 5 $kg_f \times 2$ m.

Como puede apreciar, una polea móvil es un multiplicador de fuerza, ya que la magnitud de la fuerza de salida es mayor que la magnitud de la fuerza de entrada.

Como ya mencionamos, un polipasto o cuadernal como el de la figura 5.71, es un sistema formado con varias poleas, tanto fijas como móviles. Un polipasto es un multiplicador de fuerza, toda vez que la magnitud de la fuerza de salida es mayor que la magnitud de la fuerza de entrada, pero para obtener el beneficio de una mayor magnitud de fuerza de salida debemos invertir en una mayor distancia de entrada. En conclusión: cualquier máquina simple que multiplique la magnitud de la fuerza obtenida, lo hará a expensas de una mayor distancia de entrada.

Concepto de máquina mecánica

Una máquina mecánica es un sistema por medio del cual se aprovechan fuerzas, llamadas motrices, capaces de mover cargas o vencer fuerzas de resistencia. Por tanto, una máquina sirve para transformar un trabajo en otro y cuya transformación siempre provoca una pérdida de energía; esta pérdida es menor cuando la eficiencia de la máquina es mayor.

Las máquinas pueden dividirse en dos tipos: la primera incluye a las que se les suministra energía para producir trabajo al levantar cargas, acuñar monedas o estampar sellos con un troquel fabricado con un bloque de acero grabado, prensar papel o algodón, laminar materiales, etc., pueden ser simples o complejas. La segunda está constituida por las que suministran la energía requerida por las anteriores y comúnmente se les denomina motores.

Resolución de problemas de máquinas simples

1 Se requiere levantar una roca de 200 kg_f por medio de una palanca como la representada en la figura 5.60. El brazo de palanca de la roca es de 0.4 m y la fuerza que se aplica para levantarla tiene una magnitud de 40 kg_f. Calcular el valor del brazo de palanca que tiene la fuerza que debe aplicarse para levantar la roca, así como el valor de la ventaja mecánica.

Solución:

Datos

$F_S = 200\ kg_f$

Fórmulas

$F_e d_e = F_S d_S$

$d_S = 0.4$ m

$F_e = 40\ kg_f$

$d_e = ?$

$V_m = ?$

$V_m = \frac{F_S}{F_e}$

Sustitución y resultado:

$$d_e = \frac{F_S d_S}{F_e} = \frac{200\ kg_f \times 0.4\ m}{40\ kg_f} = 2\ m$$

$$V_m = \frac{F_S}{F_e} = \frac{200\ kg_f}{40\ kg_f} = 5$$

2 Determinar la longitud que debe tener una rampa de un plano inclinado como el de la figura 5.65, si se requiere subir un tambo que contiene aceite con un peso cuya magnitud es de 120 kg_f a la plataforma de un camión cuya altura es de 1.5 m y la magnitud de la fuerza que se aplica para subirlo es de 30 kg_f. Calcular también su ventaja mecánica.

Solución:

Datos

$d_e = ?$

$F_e = 30\ kg_f$

$F_S = 120\ kg_f$

$d_S = 1.5\ m$

Fórmulas

$F_e d_e = F_s d_s$

$V_m = \frac{F_S}{F_e}$

Sustitución y resultado:

$$d_e = \frac{F_S d_S}{F_e} = \frac{120\ kg_f \times 1.5\ m}{30\ kg_f} = 6\ m$$

$$V_m = \frac{120\ kg_f}{30\ kg_f} = 4$$

3 Se levanta una carga de 50 kg_f por medio de una polea móvil como la representada en la figura 5.70. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza que se requiere aplicar para levantar dicha carga? ¿Cuál es su ventaja mecánica?

Solución:

Datos

$C = 50\ kg_f$

$F = ?$

Fórmulas

$F = \frac{C}{2}$

$V_m = \frac{F_S}{F_e}$

Sustitución y resultado:

$$F = \frac{50\ kg_f}{2} = 25\ kg_f$$

$$V_m = \frac{50\ kg_f}{25\ kg_f} = 2$$

4 Determinar la eficiencia de una palanca si con un trabajo de entrada de 300 J se obtiene un trabajo de salida de 290 J.

Datos

$W_e = 300\ J$

$W_s = 290\ J$

$\varepsilon = ?$

Fórmula

$\varepsilon = \frac{W_S}{W_e} \times 100$

Sustitución y resultado:

$$\varepsilon = \frac{290\ J}{300\ J} \times 100 = 96.66\%$$

5 Determinar la eficiencia de un plano inclinado si con un trabajo de entrada de 190 J se obtiene un trabajo de salida de 160 J.

Datos

$W_e = 190\ J$

$W_s = 160\ J$

$\varepsilon = ?$

Fórmula

$\varepsilon = \frac{W_S}{W_e} \times 100$

Sustitución y resultados:

$$\varepsilon = \frac{160\ J}{190\ J} \times 100 = 84.21\%$$

Ejercicios propuestos

1 Determinar la magnitud del peso de un cuerpo que se levanta por medio de una palanca como la representada en la figura 5.60. El brazo de palanca donde se localiza el peso del cuerpo es de 0.35 m, la fuerza que se aplica para levantarla tiene una magnitud de 20 kg_f y el brazo de palanca de esta fuerza es de 3 m. Calcular también su ventaja mecánica.

2 La longitud de la rampa de un plano inclinado mide 4 m y por ella se sube un cuerpo cuyo peso tiene una magnitud de 70 kg_f, si se aplica una fuerza con una magnitud de 25 kg_f para subirlo, calcular:

a) La altura del plano inclinado.

b) El valor de la ventaja mecánica.

3 Se levanta una carga de 30 kg_f por medio de una polea fija. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza que se requiere aplicar para levantar dicha carga?

4 Se levanta una carga de 200 kg_f por medio de un polipasto como el mostrado en la siguiente figura. Calcular:



a) La magnitud de la fuerza que se requiere aplicar para levantar dicha carga.

b) El valor de la ventaja mecánica.

5 Calcular la eficiencia de una palanca si con un trabajo de entrada de 75 J se obtiene un trabajo de salida de 70 J.

6 Un plano inclinado tiene una eficiencia de 85%. Calcular qué trabajo de salida se obtiene con él, si el trabajo de entrada es de 435 J.

Actividad experimental 11

Segunda ley de Newton

Objetivo

Comprobar experimentalmente los efectos de la fuerza y la masa sobre la aceleración de los cuerpos.

Consideraciones teóricas

Un cambio en la velocidad de un cuerpo efectuado en la unidad de tiempo recibe el nombre de **aceleración**. Así, el efecto de una fuerza desequilibrada sobre un cuerpo produce una aceleración. Cuanto mayor sea la magnitud de la fuerza aplicada mayor será la aceleración; por tanto, podemos decir que la magnitud de la aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza aplicada. La relación $\frac{F}{a}$ es un valor constante para cada cuerpo en particular y recibe el nombre de **masa inercial**, ya que es una medida cuantitativa de la inercia. Cuando una fuerza constante se aplica a un cuerpo se observa que la aceleración experimentada por dicho cuerpo es inversamente proporcional a su masa.

Material empleado

Un carro con espacio para colocarle masas, una balanza, pesas de diferente tamaño, una polea con su soporte, un platillo hecho de cartón, una regla graduada, un cronómetro, arena fina o granulada e hilo cáñamo.

Desarrollo de la actividad experimental

Primera parte: masa constante

1. Determine en kilogramos la masa del carro, utilizando la balanza.
2. Construya un dispositivo como el mostrado en la figura 5.78. El platillo de cartón unido a uno de los extremos del hilo que pasa por la polea debe ser del tamaño y resistencia apropiados para poderle colocar distintas pesas de magnitud conocida.
3. Cuando el platillo está vacío, el carro está en reposo, es decir, no se mueve, toda vez que la magnitud de la fuerza de fricción estática que hay entre sus ruedas y la superficie de la mesa es mayor a la magnitud de la fuerza que, debido a su peso, ejerce sobre el carro el platillo. Agregue poco a

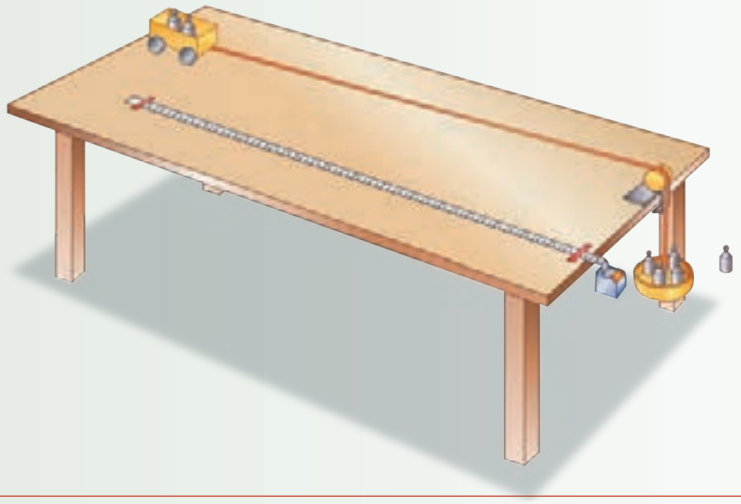


figura 5.78

Dispositivo para analizar los cambios en la velocidad de un cuerpo en función de la fuerza que recibe y del valor de su masa.

poco arena al platillo hasta que al empujar levemente el carro, éste se desplace sobre la mesa a velocidad constante. El peso de la arena será el contrapeso de las fuerzas de rozamiento.

4. Una persona detendrá con una mano el carro y otra colocará en el platillo una pesa de 20 g_f, igual a 0.02 kg_f que equivale aproximadamente a 0.2 N. Esta pesa representará la fuerza neta o resultante que recibe el carro. Mida con la regla graduada la distancia en metros que recorre el carro desde su posición inicial (antes de iniciar su movimiento) a su posición final (antes de chocar contra la pinza que sujeta a la polea). Ahora soltarán el carro y medirán con el cronómetro el tiempo que tarda en recorrer dicha distancia. Anote las magnitudes de la fuerza neta aplicada en newtons, la distancia recorrida en metros y el tiempo en segundos empleado en recorrerla.

5. Determine en m/s la magnitud del cambio en la velocidad del carro. Recuerde: $\Delta v = v_f - v_0$. Como la velocidad inicial (v_0) es igual a cero ya que parte del reposo: $\Delta v = v_f - 0 = v_f$. El cambio de la velocidad del carro y corresponde a su velocidad final, cuya magnitud determinaremos a partir de la ecuación matemática utilizada para calcular la distancia recorrida por un móvil que experimenta una aceleración constante. Veamos:

   $d = \frac{v_0 + v_f}{2} t$, como la $v_0 = 0$, la expresión se reduce a:

   $d = \frac{v_f}{2} t$, al despejar la magnitud de la velocidad final tenemos:

   $$v_f = \frac{2d}{t} = \Delta v$$

6. Determine ahora en m/s² la magnitud de la aceleración que experimenta el carro. Recuerde: $a = \frac{\Delta v}{t}$, donde t es el tiempo en el cual se efectuó el recorrido y, por tanto, es el mismo tiempo en que se realizó el cambio de la velocidad.

   Nota: repita sus mediciones tres veces mínimo para obtener resultados confiables, al obtener el valor promedio o media aritmética de las mediciones.

7. Repita los pasos 4, 5 y 6, pero ahora agregue una pesa más de 20 g_f, de tal manera que la magnitud de la fuerza neta que reciba el carro sea de 40 g_f, es decir, 0.04 kg ≈ 0.4 N. Calcule en m/s el cambio en la magnitud de la velocidad del carro (Δv), y la magnitud de su aceleración en m/s².

8. Ahora agregue otra pesa o las pesas necesarias al platillo, para que la fuerza neta aplicada al carro sea de una magnitud de 60 g_f aproximadamente igual a 0.6 N. Repita lo ya realizado y determine el cambio en la magnitud de la velocidad y aceleración que experimenta el carro.

9. Compare cómo varió la magnitud de la aceleración del carro al duplicar la magnitud de la fuerza neta y cómo varió la magnitud de la aceleración al triplicar la magnitud de la fuerza neta.

10. Para cada uno de los experimentos realizados divida la magnitud en newtons (N) de la fuerza neta aplicada al carro (0.2, 0.4 y 0.6 N) entre la magnitud de la aceleración en m/s² que experimenta para cada caso, es decir: F_{neta}/a.

Cuestionario

1. ¿Existe una relación de proporcionalidad directa entre la magnitud de la fuerza neta aplicada al carro y la magnitud de la aceleración que adquiere cuando su masa permanece constante? Justifique su respuesta.
2. Al comparar entre sí los tres resultados obtenidos al dividir las magnitudes de la F_{neta} entre la respectiva magnitud de la aceleración, ¿se obtuvieron resultados iguales? Al comparar este resultado con la masa en kg del carro previamente determinada con la balanza, ¿son aproximadamente iguales? Sí o no y por qué.
3. ¿Afecta considerablemente en los resultados redondear la equivalencia de 1 kg_f = 9.8 N a 1 kg_f = 10 N? ¿Por qué?
4. ¿Puede afirmar con base en sus resultados que cuando se divide la magnitud de la fuerza neta que recibe un cuerpo entre la magnitud de la aceleración que experimenta, el resultado del cociente corresponde a la masa del cuerpo? Justifique su respuesta.

Segunda parte: fuerza constante

1. Coloque en el platillo las pesas que sean necesarias para que el carro se mueva al colocarle distintas masas. La fuerza neta o resultante permanecerá constante. Registre su magnitud en N.

2. Coloque sobre el carro una masa de 20 g (0.02 kg) que, sumada a la masa del carro, le dará la masa total del carro. Ya conoce la distancia en metros que recorre el carro, sólo determine el tiempo en segundos que tarda el carro en recorrer esa distancia y registre su valor. Determine en m/s² la magnitud del cambio en la velocidad del carro (Δv). Calcule ahora la magnitud de la aceleración en m/s² que experimenta el carro ($a = \Delta v/t$).

3. Repita el paso anterior manteniendo constante la magnitud de la fuerza neta que recibe el carro,

pero aumentando 20 g (0.02 kg) la masa del carro. Después incremente otros 0.02 kg la masa del carro. Registre para cada caso los resultados obtenidos y determine su cambio en la magnitud de su velocidad y su aceleración. Compare cómo varía la magnitud de la aceleración del carro al duplicar su masa y luego triplicarla, permaneciendo constante la fuerza neta o resultante aplicada al carro.

Cuestionario

1. ¿Existe una relación de proporcionalidad inversa entre la magnitud de la aceleración que experimenta el carro y su masa cuando la magnitud de la fuerza neta aplicada permanece constante? Justifique su respuesta.
2. Con base en los resultados obtenidos en la primera y segunda parte de la actividad experimental, escriba un enunciado que relacione la magnitud de la aceleración que experimenta el cuerpo en función de la magnitud de la fuerza que recibe y de la masa que posee.

Actividad experimental 12

Equilibrio de fuerzas paralelas

Objetivo

Experimentar con el momento de una fuerza y explicar las condiciones de equilibrio de las fuerzas paralelas.

Consideraciones teóricas

Las fuerzas paralelas son aquellas que actúan sobre un cuerpo rígido con sus líneas de acción en forma paralela, como se ve en la figura 5.79.

La resultante de dos o más fuerzas paralelas tiene una magnitud igual a la suma de ellas con su línea de acción también paralela a las fuerzas. Cuando dos fuerzas paralelas de la misma magnitud, pero de sentido contrario, actúan sobre un cuerpo, se produce el llamado par de fuerzas en el que su resultante es igual a cero y su punto de aplicación está en el centro de la línea que une a los puntos de aplicación de las fuerzas componentes.

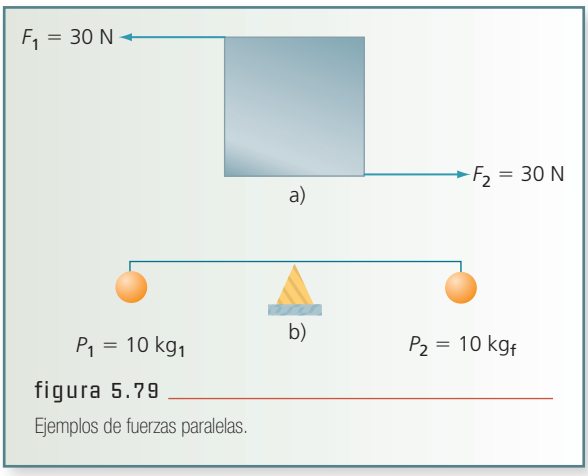


figura 5.79
Ejemplos de fuerzas paralelas.

No obstante que la resultante es cero, un par de fuerzas produce siempre un movimiento de rotación, tal como sucede con el volante de un automóvil o como la figura 5.79 (a).

El momento de una fuerza, también llamado torca (torcer), se define como la capacidad que tiene una fuerza para hacer girar un cuerpo. La magnitud del momento de una fuerza (M) se calcula multiplicando la magnitud de la fuerza aplicada (F) por el brazo de palanca (r), donde $M = Fr$. El momento de una fuerza es una magnitud vectorial cuya dirección es perpendicular al plano en que se realiza la rotación del cuerpo y su sentido depende de cómo se realice ésta.

Cualquier movimiento, por complejo que sea, puede ser reducido para su estudio en dos tipos de movimiento: de traslación y de rotación. **Primera condición de equilibrio**: para que un cuerpo esté en equilibrio de traslación la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre él debe ser cero. Donde: $\vec{R} = 0$, es decir, $\Sigma \vec{F}_x = 0$ y $\Sigma \vec{F}_y = 0$.

La segunda condición de equilibrio señala: para que un cuerpo esté en equilibrio de rotación la suma de los momentos o torcas de las fuerzas que actúan sobre él respecto a cualquier punto debe ser igual a cero. Donde: $\Sigma M = 0$.

Por convención se considera que el momento de una fuerza es positivo cuando su tendencia es hacer girar a un cuerpo en sentido contrario al giro de las manecillas del reloj, y es negativo cuando la tendencia de la fuerza aplicada es hacer girar al cuerpo en sentido de las manecillas del reloj (figura 5.80).

Grupo Editorial Patria

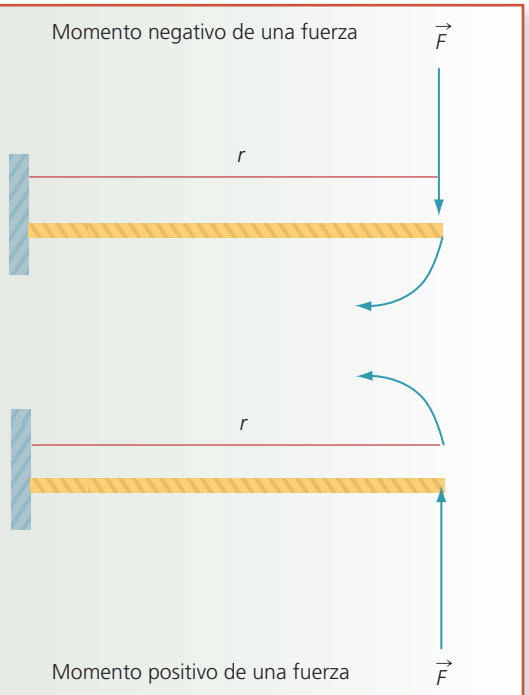


figura 5.80

Momento positivo y negativo de una fuerza.

Material empleado

Una balanza aritmética, un marco de pesas e hilo.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Monte un dispositivo como el mostrado en la figura 5.81. Verifique que la regla graduada de la balanza aritmética en ausencia de cuerpos suspendidos se encuentre balanceada al mantener una posición horizontal.
2. Cuelgue una pesa cuya magnitud sea de 50 g en el brazo derecho a una distancia r_1, de 30 cm del punto de equilibrio. La pesa provocará que la regla gire en el mismo sentido que las manecillas del reloj. Equilibre dicha fuerza con una pesa cuya magnitud sea de 100 g, la cual deberá ser colocada a la izquierda del punto de equilibrio de la regla. Anote su brazo de palanca r_2 en el cuadro 5.1.

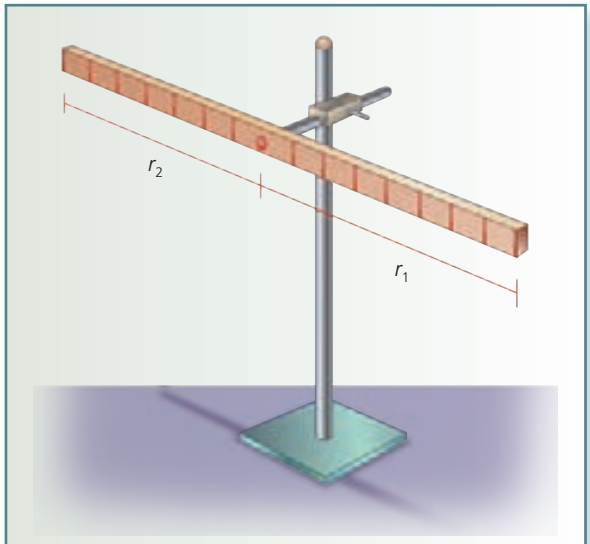


figura 5.81

Balanza aritmética.

3. Retire las pesas anteriores y ahora coloque una pesa con una magnitud de 200 g del lado izquierdo a una distancia r_2 de 10 cm del punto de equilibrio. La pesa provocará que la regla gire en sentido contrario a las manecillas del reloj. Equilibre dicha fuerza con una pesa de una magnitud de 50 g que deberá ser colocada a la derecha del punto de equilibrio de la regla. Anote su brazo de palanca r_1 en el cuadro 5.1.
4. Retire las pesas anteriores y coloque ahora una pesa con una magnitud de 20 g del lado derecho a una distancia r_2 de 30 cm del punto de equilibrio. Equilibre dicha magnitud de fuerza colocando una pesa con una magnitud de 30 g a la izquierda del punto de equilibrio de la regla. Anote su brazo de palanca r_2 en el cuadro 5.1.

cuadro 5.1 Equilibrio de rotación (experimental)

F_1 (gf)	r_1 (cm)	$F_1 r_1$ (gf cm)	F_2 (gf)	r_2 (cm)	$F_2 r_2$ (gf cm)	$\frac{F_1 r_1}{F_2 r_2}$

Cuestionario

1. Puesto que la balanza aritmética se encontraba en equilibrio de traslación, ¿cómo se puede explicar que la resultante de las fuerzas que actuaban sobre ellas era cero?
2. Al dividir $\frac{F_1 r_1}{F_2 r_2}$ para cada caso, ¿qué valor obtuvo y qué le representa ese valor obtenido?
3. Demuestre que al haber un equilibrio de rotación en cada uno de los casos, la suma de las magnitudes de los momentos es igual a cero.

Resumen

1. La *dinámica* estudia las causas que originan el reposo o el movimiento de los cuerpos. La estática analiza las situaciones que permiten el equilibrio de los cuerpos. Queda comprendida dentro del estudio de la dinámica.

2. Siempre que interviene una fuerza existe como mínimo una interacción de dos cuerpos. Las fuerzas de contacto se producen cuando existe un contacto físico entre el cuerpo que ejerce la fuerza y el que la recibe. Cuando dos cuerpos interaccionan sin que exista contacto entre ellos, se presentan las llamadas fuerzas de acción a distancia. El efecto que una fuerza produce sobre un cuerpo depende de su magnitud, así como de su dirección y sentido, por tal motivo la fuerza es una magnitud vectorial. La unidad de fuerza en el Sistema Internacional es el newton (N).

   De manera práctica aún se usa el kilogramo fuerza (kg_f), 1 kg_f = 9.8 N.

3. En términos generales, las fuerzas pueden clasificarse según su origen y características en: *fuerzas gravitacionales*, cuya causa está en función de la masa de los cuerpos y de la distancia que hay entre ellos; mientras mayor masa tenga un cuerpo mayor será la fuerza gravitacional con que atraerá a los demás cuerpos; es la más débil de todas las fuerzas fundamentales. *Fuerzas electromagnéticas*, su origen se debe a las cargas eléctricas, las cuales, cuando se encuentran en reposo, ejercen entre ellas fuerzas electrostáticas, y cuando están en movimiento producen fuerzas electromagnéticas. *Fuerzas nucleares*, se supone que son ocasionadas por medio de mesones entre las partículas del núcleo y son las que mantienen unidas a las partículas que constituyen el núcleo atómico. *Fuerzas débiles*, se caracterizan por provocar inestabilidad en determinados núcleos atómicos. Fueron detectadas en sustancias radiactivas naturales y posteriormente, los cientificos comprobaron que son determinantes en casi todas las reacciones de decaimiento radiactivo.

4. *Primera Ley de Newton o Ley de la Inercia*: todo cuerpo se mantiene en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme, si la resultante de las fuerzas que actúan sobre él es cero.

5. La tendencia que presenta un cuerpo en reposo a permanecer inmóvil, o la de un cuerpo en movimiento a tratar de no detenerse, recibe el nombre de *inercia*. Toda la materia tiene inercia, y una medida cuantitativa de ella nos lleva al concepto de masa, misma que podemos definir así: la masa de un cuerpo es una medida de su inercia.

6. *Segunda Ley de Newton o Ley de la Proporcionalidad entre Fuerzas* y *Aceleraciones:* toda fuerza resultante aplicada a un cuerpo le produce una aceleración en la misma dirección en que actúa. La magnitud de dicha aceleración es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza aplicada e inversamente proporcional a la masa del cuerpo.

$$a = \frac{F}{m} \therefore F = ma$$

como $m = \frac{P}{g}$ tenemos: $F = \frac{P}{g}a$

7. *La Tercera Ley de Newton o Ley de las Interacciones*, se enuncia en los siguientes términos: Cuando un cuerpo *A* ejerce una fuerza sobre un cuerpo *B*, éste reacciona sobre *A* ejerciendo una fuerza de la misma intensidad y dirección, pero con diferente sentido.

8. El hombre ha observado desde tiempos muy remotos a los astros y al Universo en general, tratando de explicarse el porqué de su origen, su constitución, sus movimientos y su evolución. Hiparco, astrónomo griego (125 años a.C.), logró hacer una lista con más de mil estrellas. Sin embargo, afirmaba que la Tierra era plana y ocupaba el centro del Universo. Claudio Ptolomeo, geógrafo y astrónomo griego (siglo II d.C.), suponía que la Tierra era inmóvil y plana y que alrededor de ella giraban los planetas describiendo trayectorias circulares. Nicolás Copérnico, astrónomo polaco (1473-1543), propuso que la Tierra era redonda y giraba sobre su propio eje cada 24 horas además de dar una vuelta alrededor del Sol cada 365 días. Lo revolucionario de sus ideas provocó que la Iglesia Católica prohibiera la publicación de su obra sobre las revoluciones de las esferas celestes. Tycho Brahe, astrónomo danés (1546-1601), logró descubrir algunas leyes sobre el movimiento de la Luna, además calculó la posición de 777 estrellas y obtuvo interesantes datos sobre los cometas. Cuando se vio obligado a marcharse a Praga debido a la muerte de su protector Federico II, rey de Dinamarca, tuvo en aquel lugar como discípulo a Johannes Kepler.

9. Johannes Kepler, astrónomo alemán (1571-1650), aprovechó todas las enseñanzas que le proporcionó Copérnico, mismas que aunadas a su gran interés por encontrar cómo se movían los planetas alrededor del Sol después de muchos años de estudio descubrió que los planetas no describen trayectorias circulares, sino elípticas (ovaladas). Sus grandes estudios le permitieron formular las tres siguientes leyes sobre el movimiento de los planetas, las cuales actualmente sirven de base a la

astronomía. *Primera ley de Kepler:* todos los planetas se mueven alrededor del Sol siguiendo órbitas elípticas en las cuales el Sol ocupa uno de los focos. *Segunda Ley de Kepler:* el radio vector que enlaza al Sol con un planeta recorre áreas iguales en tiempos iguales. *Tercera Ley de Kepler:* los cuadrados de los periodos de revolución sideral de los planetas son proporcionales a los cubos de sus distancias medias al Sol. Galileo Galilei, astrónomo y físico italiano (1564-1642), construyó un telescopio con el cual pudo observar estrellas que hasta entonces nadie conocía. Al estudiar la Luna encontró que tenía montes y otras irregularidades sobre su superficie. Observó las manchas del Sol y debido al movimiento de ellas demostró que el Sol giraba alrededor de su eje en un periodo de 27 días. Los descubrimientos hechos por Galileo apoyaban las teorías de Copérnico, por tal motivo la Iglesia de Roma lo obligó a renunciar a sus ideas. lsaac Newton, físico y matemático inglés, nació en 1643, año en que murió Galileo Galilei. Después de estudiar las teorías de Kepler sobre el movimiento de los planetas decidió investigar la causa que originaba el que éstos pudieran girar alrededor de órbitas bien definidas. El primero en describir la forma en que actúa la gravedad fue Newton, quien encontró que todos los cuerpos ejercen entre sí una fuerza de atracción a la que llamó fuerza gravitacional. En 1687 Newton publicó su Ley de la Gravitación Universal que dice: dos cuerpos cualesquiera se atraen con una fuerza cuya magnitud es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. Matemáticamente la ley se expresa como:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{d_2}$$

10. El peso de un cuerpo depende de la fuerza de gravedad, por ello la magnitud del peso de un cuerpo será mayor si es atraído por una fuerza de mayor magnitud o viceversa.

11. La magnitud del peso de un cuerpo en la Tierra será mayor si se encuentra sobre el nivel del mar, que si está a cierta altura sobre él. Lo anterior se debe a que la distancia entre el cuerpo y el centro de gravedad de la Tierra es menor al nivel del mar.

12. Cuando se coloca un cuerpo cualquiera sobre una superficie horizontal, su peso ejerce una *acción vertical* hacia abajo sobre dicha superficie; como *reacción* la superficie ejerce una fuerza igual en magnitud al peso del bloque, en la misma dirección, pero con sentido contrario. Dicha fuerza recibe el nombre de *fuerza de reacción normal* (N), porque es perpendicular al plano o superficie horizontal. Cuando un cuerpo es colocado en una rampa o plano inclinado que forma cierto ángulo respecto al plano horizontal, el peso del cuerpo experimenta una descomposición vectorial en dos direcciones perpendiculares entre sí, una es normal o perpendicular al plano y la otra es paralela al mismo. Debido a la descomposición vectorial que sufre el peso de un cuerpo en un plano inclinado, resulta más fácil subir un barril a un camión rodándolo por una rampa que levantarlo verticalmente.

13. Todo cuerpo, por el hecho de ser materia, tiene un campo gravitatorio que se manifiesta por la fuerza de atracción ejercida entre dos cuerpos cualesquiera. El campo gravitacional de un cuerpo es la zona en la cual ejerce su influencia sobre otros cuerpos. A medida que aumenta la distancia, la intensidad del campo gravitatorio de un cuerpo disminuye. La magnitud de la fuerza que ejerce el campo gravitacional terrestre sobre la unidad de masa en un determinado punto representará la magnitud de la intensidad del campo gravitacional en dicho punto. En general, para puntos localizados cerca de la superficie de la Tierra se considera una intensidad del campo gravitacional con una magnitud igual a 9.8 N/kg. Para conocer la magnitud del peso de un cuerpo cualquiera sólo debemos multiplicar la masa (m) del cuerpo por la magnitud de la intensidad del campo gravitacional (g): $P = mg$.

14. Hablar del cosmos es referirse al Universo como un todo. A pesar de su gran tamaño, la *Vía Láctea* es sólo uno de los muchos sistemas de estrellas llamadas galaxias que conforman el Universo.

15. George Gamow propuso en 1948 que el Universo se creó en una gran explosión o *Big Bang* y que los diversos elementos que actualmente existen se produjeron durante los primeros minutos de haber ocurrido la gran explosión.

16. El Sistema Solar está formado por una estrella llamada Sol y ocho planetas. La temperatura en la superficie del Sol es de unos 4 800 °C. Su masa es de 2×10^{30} kg, 333 432 veces más grande que la Tierra y su diámetro es de 1 390 000 km, equivalente a 109 veces más que el diámetro terrestre. Los cometas son astros luminosos que están compuestos básicamente de polvo y gases helados. La palabra cometa significa en griego cabellos largos.

17. La Luna es el cuerpo celeste (astro) más cercano a la Tierra. Gira alrededor de ella a una velocidad cuya magnitud es de unos 3 664 km/h. Tarda 27 días con 7.716 horas en dar una vuelta alrededor de la Tierra (traslación) y es exactamente el mismo tiempo que tarda en girar sobre su propio eje (rotación). Por ello, siempre vemos desde la Tierra su misma cara. El diáme-

tro de la Luna mide 3476 km y el de la Tierra 12742.9 km. La masa de la Luna es aproximadamente de 7.25×10^{22} kg y la de la Tierra es de 5.9×10^{24} kg. La fuerza de gravedad de la Luna ejerce su efecto sobre la Tierra provocando las mareas. La Luna carece de luminosidad propia y su luz se debe a que su superficie refleja la del Sol. La Luna carece de atmósfera, pues su fuerza de gravedad es incapaz de retener a las moléculas gaseosas.

18. Uno de los sueños más ambiciosos del hombre era poner los pies sobre la superficie lunar, lo cual logró el 20 de julio de 1969 a través del proyecto *Apolo*, puesto en marcha por Estados Unidos de América en 1962.

19. La *estática*, como parte de la dinámica, se encarga de estudiar todos aquellos casos en que los cuerpos sometidos a la acción de varias fuerzas no se mueven, toda vez que las fuerzas se equilibran entre sí. También estudia aquellos casos en que la resultante de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en movimiento es nula y el cuerpo sigue desplazándose con movimiento rectilíneo uniforme.

20. Un *cuerpo rígido* es aquel cuya deformación provocada por una fuerza es mínima al compararla con su tamaño.

21. Las fuerzas pueden clasificarse en *coplanares*, si se encuentran en el mismo plano, es decir, en dos ejes; y *no coplanares*, si están en diferente plano, o sea, en tres ejes.

22. El *principio de transmisibilidad* del punto de aplicación de las fuerzas dice: el efecto externo de una fuerza no se modifica cuando se traslada en su misma dirección, es decir, sobre su propia línea de acción.

23. Un *sistema de fuerzas colineales* se forma cuando sobre un cuerpo actúan dos o más fuerzas con la misma línea de acción, es decir, en la misma dirección.

24. Las *fuerzas concurrente*s son aquellas cuyas direcciones o líneas de acción pasan por un mismo punto. También se les suele llamar angulares y concurrentes, ya que forman un ángulo entre ellas. Para sumar dos fuerzas concurrentes en forma gráfica se usa el método del paralelogramo y para sumar más de dos fuerzas concurrentes se usa el método del polígono.

25. Las *fuerzas son paralelas* cuando al actuar dos o más fuerzas sobre un cuerpo su línea de acción se encuentra en forma paralela. Un caso de fuerzas paralelas se presenta en el llamado par de fuerzas, el cual se caracteriza porque sobre un mismo cuerpo actúan dos fuerzas paralelas de la misma magnitud, pero de sentido contrario y su efecto es producir un movimiento de rotación, tal como sucede con el volante de un automóvil.

26. El *momento de una fuerza*, también llamado torca, se define como la capacidad que tiene una fuerza para hacer girar un cuerpo. La magnitud del momento de una fuerza se calcula multiplicando la magnitud de la fuerza por su brazo de palanca. El momento de una fuerza es positivo cuando su tendencia es hacer girar a un cuerpo en sentido contrario al giro de las manecillas del reloj, y negativo cuando la tendencia de la fuerza aplicada es hacer girar al cuerpo en el sentido de las manecillas del reloj. El momento de una fuerza es una magnitud vectorial cuya dirección es perpendicular al plano en que se realiza la rotación del cuerpo y su sentido dependerá de cómo se realice ésta.

27. El *centro de gravedad* de un cuerpo es el punto donde se considera concentrado todo su peso. Con base en su centro de gravedad, un cuerpo puede tener un equilibrio estable, inestable o indiferente.

28. *Primera condición de equilibrio*: para que un cuerpo esté en equilibrio de traslación, la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre él debe ser cero:

$$R = 0, \text{ o sea } \Sigma F_x = 0 \text{ y } \Sigma F_y = 0.$$

29. *Segunda condición de equilibrio*: para que un cuerpo esté en equilibrio de rotación, la suma de las magnitudes de los momentos o torcas de las fuerzas que actúan sobre él respecto a cualquier punto debe ser igual a cero.

$$\Sigma M = 0$$

30. Para resolver problemas de equilibrio de los cuerpos es recomendable hacer un *diagrama de cuerpo libre*. Éste consiste en aislar al cuerpo dibujando sobre él únicamente las fuerzas externas que soporta y que son ocasionadas por tener contacto con otros cuerpos o por atracción gravitacional.

31. Cuando se desea desplazar un cuerpo que está en contacto con otro se presenta una fuerza llamada fricción que se opone a su deslizamiento. La fuerza de fricción sobre un cuerpo es opuesta a su movimiento, o movimiento eminente, respecto de la superficie. La *fricción* es una fuerza tangencial, paralela a las superficies que están en contacto. Existen dos tipos de fuerzas de fricción: *estática,* es la reacción que presenta un cuerpo en reposo oponiéndose a su deslizamiento sobre otra superficie, y *dinámica*, su magnitud es igual a la fuerza que se requiere aplicar para que un cuerpo se deslice a velocidad constante sobre otro. Generalmente, la fricción se expresa en coeficientes:

a) *Coeficiente de fricción estático*, es la relación entre la fuerza máxima de fricción estática y la normal: $\mu_e = \frac{Fme}{N}$. **b)** *Coeficiente de fricción dinámico*, es la relación entre la fuerza de fricción dinámica y la fuerza normal que tiende a mantener unidas dos superficies: $\mu_d = \frac{F_d}{N}$. La fricción presenta varias ventajas como sostener cualquier objeto con las manos, escribir, frenar un vehículo y desintegrar un meteorito al rozar con la atmósfera terrestre. Sin embargo, presenta desventajas como desgaste en la ropa, zapatos, neumáticos, piezas metálicas, pisos y pérdida de energía cuando ésta se transforma en calor no aprovechable debido a la fricción. Para reducir la fricción se usan aceites, lubricantes, cojinetes de bolas o baleros, así como superficies lisas en lugar de rugosas.

32. Desde el punto de vista de la Física, sólo se realiza *trabajo* cuando una fuerza mueve un cuerpo en su misma dirección. Su valor se calcula multiplicando la magnitud de la componente de la fuerza, que está en la misma dirección en que se efectúa el movimiento del cuerpo, por la magnitud del desplazamiento que éste realiza: $T = Fd \cos \theta$. El mayor trabajo que una fuerza puede producir se obtiene cuando la dirección en que se aplica la fuerza es la misma a la del desplazamiento: $\theta = 0^\circ \therefore T = Fd$. Algunas consideraciones importantes sobre trabajo mecánico son las siguientes: **a)** Si dos personas del mismo peso cargan por separado un bulto de cemento de 50 kg hasta una misma altura, digamos 40 m, pero una de ellas utiliza una escalera de 160 m de longitud y otra emplea una escalera de 200 m, el trabajo mecánico realizado por las dos personas es el mismo, pues desde el punto de vista físico lo único importante es la magnitud de la fuerza que se efectuará verticalmente hacia arriba y la altura a la que se eleva el bulto. **b)** Cuando una persona levanta un cuerpo, digamos una maleta, realiza trabajo al subirla desde el suelo hasta la altura a la que la mantiene suspendida. Pero si después camina, por ejemplo 10 m, sobre el suelo, desde el punto de vista físico no realiza trabajo mecánico, pues el peso de la maleta está dirigido verticalmente hacia abajo, la fuerza para sostenerla actúa verticalmente hacia arriba y como el desplazamiento es horizontal, no existe componente de la fuerza en la dirección del desplazamiento.

33. En términos generales, la *energía* se considera como una propiedad que caracteriza la interacción de los componentes de un sistema físico que tiene la capacidad de realizar un trabajo. Existen varios tipos de energía: calorífica, eléctrica, química, hidráulica, eólica, radiante, nuclear y mecánica.

34. La energía mecánica se divide en: *energía potencial* y *cinética.* Todo cuerpo tiene energía potencial cuando debido a su posición o estado en el que se encuentre, es capaz de realizar un trabajo. Todo cuerpo que es levantado a cualquier altura tiene energía potencial gravitacional, de modo que a mayor altura, mayor energía: $EPG = mgh$. Por el estado en que se encuentran un resorte comprimido o estirado, una liga tensa o los muelles de espiral (como la cuerda enrollada de un reloj), tienen la capacidad de realizar trabajo, es decir, de desplazar algún cuerpo por la acción de una fuerza. Debido a ello, tienen energía potencial elástica.

35. Todo cuerpo en movimiento tiene energía cinética. Ésta puede ser traslacional, cuando todas las partes de un cuerpo siguen una dirección constante, por ejemplo, un avión en vuelo o un bloque deslizándose por un plano inclinado; o bien, energía cinética rotacional, que presentan los cuerpos al girar alrededor de su propio eje. Por ejemplo, una canica al rodar por una pendiente o el suelo, un yoyo o la rueda de la fortuna, entre otros. La energía traslacional de un cuerpo se calcula con la expresión: $ECT = \frac{1}{2}mv^2$.

36. La *ley de la conservación de la energía* señala que: la energía existente en el Universo es una cantidad constante pues no se crea ni se destruye, únicamente se transforma. La propiedad de los cuerpos de oponerse a cambios en su estado de movimiento de rotación recibe el nombre de inercia rotacional.

37. La *potencia mecánica* se define como la rapidez con que se realiza un trabajo: $P = \frac{T}{t}$. Se mide en watts (W) en el SI, pero también se usa el caballo de fuerza (hp) y el caballo de vapor (cv). Las equivalencias entre estas unidades son: 1 hp = 746 W; 1 cv = 736 W. La potencia mecánica se calcula también con la ecuación: $P = Fv$.

38. La magnitud del *impulso* que recibe un cuerpo es igual al producto de la magnitud de la fuerza aplicada por el intervalo de tiempo en que ésta actúa. El impulso es una magnitud vectorial, cuya dirección corresponde a la de la fuerza recibida su magnitud se determina con la expresión matemática: $I = Ft$. La magnitud de la cantidad de movimiento o ímpetu de un cuerpo es igual al producto de su masa por su velocidad. La cantidad de movimiento o ímpetu es una magnitud vectorial cuya dirección corresponde a la de la velocidad y su magnitud se determina con la expresión matemática: $C = mv$. El impulso y la cantidad de movimiento se encuentran estrechamente ligadas, ya que uno genera al otro. Por lo que: $Ft = mv_f - mv_i$ y si la velocidad inicial del cuerpo es cero: $Ft = mv$.

39. Los choques entre los cuerpos pueden ser: *elásticos,* si se conserva la energía cinética después del choque, tal es el caso del choque entre átomos y moléculas de un gas o el que se realiza entre dos esferas de vidrio o de acero, o *inelásticos,* cuando no se conserva la energía cinética debido a que durante el choque parte de la energía se transforma en calor. En un choque completamente inelástico los cuerpos quedan unidos después del choque, por tanto, su velocidad final será la misma. Un ejemplo es el de una bala que se incrusta en un bloque de madera.

40. La *Ley de la Conservación de la Cantidad de Movimiento* establece que: cuando dos o más cuerpos chocan la cantidad de movimiento es igual antes y después del choque, por lo que:

$$m_1U_1 + m_2U_2 = m_1v_1 + m_2v^2$$

41. La *inercia rotacional* o *momento de inercia* es la propiedad de los cuerpos de oponerse a cambios en su estado de movimiento de rotación.

42. La magnitud de la *cantidad de movimiento angular,* o simplemente *momento angular* de un cuerpo en rotación, es igual al producto de la magnitud de su momento de inercia por la magnitud de su velocidad angular ($L = I\omega$).

43. La *ley de la conservación del momento angular* señala que el momento angular total permanece constante si no actúa sobre el sistema un momento de rotación externo no equilibrado.

44. La *energía cinética rotacional* de un cuerpo es igual al trabajo realizado por un momento de rotación resultante que acelera al cuerpo en su movimiento giratorio hasta que adquiere su velocidad final.

45. Un *giroscopio* es todo cuerpo en rotación, por ejemplo, la Tierra. Tiene dos propiedades fundamentales: a) *Inercia giroscópica*, es decir, inercia rotacional; b) *Precisión giroscópica*, que consiste en la inclinación del eje en un ángulo recto (90°) siempre que se presente una fuerza que tienda a cambiar el plano de rotación.

46. Las *máquinas simples* son aquellas que transmiten la fuerza directamente, como la palanca, el plano inclinado, la polea y el torno.

47. Una máquina simple o compleja no realiza un menor trabajo, sólo lo hace más fácil.

48. Una máquina simple o compleja no tiene fuente de energía propia, por ello es necesario suministrarle trabajo, para que lo pueda dar.

49. Una máquina proporciona una ventaja mecánica cuando el peso o carga levantada es de una magnitud mayor a la magnitud de la fuerza aplicada para levantarlo.

Autoevaluación

Escriba en su cuaderno las respuestas a las siguientes preguntas. Si se le presentan dudas al responder vuelva a leer la sección correspondiente del libro, la cual viene señalada al final de cada pregunta para su fácil localización.

1. Explique las partes en que se divide la mecánica y escriba el campo de estudio de cada una de esas partes. *(Introducción de la unidad 5)*
2. Por medio de un ejemplo de su vida cotidiana, explique cómo interpreta una fuerza. *(Sección 1)*
3. Defina por medio de un ejemplo del entorno qué se entiende por resultante y equilibrante de un sistema de fuerzas. *(Sección 1)*
4. Explique cómo se clasifican las fuerzas según sea su origen. *(Sección 1)*
5. Utilice un ejemplo de su vida cotidiana para que describa la Primera Ley de Newton y la ilustre con un dibujo. *(Sección 2)*
6. Explique el concepto de masa inercial. *(Sección 2)*
7. Utilice un ejemplo de su vida cotidiana para que describa la Segunda Ley de Newton y la ilustre con un dibujo. *(Sección 2)*
8. Explique el significado de newton, como unidad de fuerza del SI. *(Sección 2)*
9. ¿Por qué decimos que el peso es una magnitud vectorial? *(Sección 2)*
10. ¿Cómo se calcula la magnitud del peso de un cuerpo del cual se conoce su masa? *(Sección 2)*
11. Utilice un ejemplo de su vida cotidiana para que describa la Tercera Ley de Newton y la ilustre con un dibujo. *(Sección 2)*
12. Explique en qué consistieron las teorías de Hiparco, Ptolomeo y Copérnico, acerca del movimiento de los astros. *(Sección 3)*
13. Enuncie las tres leyes de Kepler sobre el movimiento de los planetas. *(Sección 3)*
14. Escriba cuáles son para usted las contribuciones más importantes que realizó Galileo Galilei en el estudio del Universo. *(Sección 3)*

15. Explique a qué se le llama fuerza gravitacional. *(Sección 3)*
16. Enuncie la Ley de la Gravitación Universal y escriba su expresión matemática. *(Sección 3)*
17. Explique con un ejemplo de su entorno cómo varía la magnitud de la fuerza de atracción gravitacional entre dos cuerpos al aumentar la distancia entre ellos al doble y al triple. *(Sección 3)*
18. ¿Qué se entiende por el Cosmos y qué es la Vía Láctea? *(Sección 3)*
19. Explique la teoría del Big Bang o de la gran explosión. *(Sección 3)*
20. Describa el Sistema Solar y diga a cuánto equivale en kilómetros la unidad astronómica. *(Sección 3)*
21. Describa las pricipales características del Sol. *(Sección 3)*
22. ¿Qué es un cometa y qué significa su nombre en griego? *(Sección 3)*
23. Explique por qué es mayor la magnitud del peso de un astronauta cuando se encuentra en la Tierra que cuando está en la Luna. *(Sección 3)*
24. Explique cómo es la fuerza de reacción normal de un cuerpo colocado sobre una superficie horizontal. *(Sección 3)*
25. Describa mediante un dibujo cómo se efectúa la descomposición vectorial del peso de un cuerpo que se halla sobre un plano inclinado. *(Sección 3)*
26. ¿Por qué es más fácil subir un barril a un camión rodándolo por una rampa que levantarlo verticalmente? *(Sección 3)*
27. Explique el concepto de campo gravitacional de los cuerpos. *(Sección 3)*
28. ¿Cómo se define la intensidad del campo gravitacional en un punto? *(Sección 3)*
29. ¿Cuál es la magnitud de la intensidad del campo gravitacional para puntos que se encuentran cercanos a la superficie de la Tierra? *(Sección 3)*
30. ¿Cómo se determina la magnitud del peso de un cuerpo cualquiera si se conoce su masa? *(Sección 3)*
31. Escriba cuatro características físicas de la Luna. *(Sección 3)*
32. Describa el proceso de lunación por medio de las fases de la Luna. *(Sección 3)*
33. Explique por qué no hay atmósfera en la Luna y escriba qué desventajas presenta esta carencia para un posible desarrollo de vida humana en este satélite natural. *(Sección 3)*
34. Explique cuál es la diferencia entre la astronáutica y la navegación aérea. *(Sección 3)*
35. Describa brevemente en qué consistió el proyecto *Apolo*, el cual posibilitó al hombre llegar a la Luna. *(Sección 3)*
36. Escriba cuando menos dos conocimientos relevantes que el hombre haya adquirido como consecuencia de los estudios hechos en los diferentes viajes a la Luna. *(Sección 3)*
37. ¿Qué consideraciones deben hacerse para el lanzamiento de una nave hacia el espacio cósmico y para su retorno a la Tierra? Señale cuando menos cuatro de ellas. *(Sección 3)*
38. Explique el origen de la palabra estática y cuál es su campo de estudio. *(Sección 4)*
39. Explique cómo se define un cuerpo rígido y cite dos ejemplos. *(Sección 4)*
40. Dibuje ejemplos de fuerzas coplanares y de no coplanares, observables en su entorno. *(Sección 4)*
41. Explique por medio de un dibujo el principio de transmisibilidad de las fuerzas. *(Sección 4)*
42. Representar un ejemplo práctico, mediante un dibujo, con un sistema de fuerzas colineales. *(Sección 4)*
43. Explique qué es un sistema de fuerzas concurrentes y dibuje ejemplos de ellas. *(Sección 4)*
44. Dibuje un ejemplo de fuerzas paralelas y explique cómo se encuentra su resultante, así como el lugar donde debe estar aplicada. *(Sección 4)*
45. Explique por medio de un dibujo qué es un par de fuerzas. *(Sección 4)*
46. Explique por medio de un dibujo qué es el momento de una fuerza y cuándo se considera positivo o negativo. *(Sección 4)*
47. ¿Por qué el momento de una fuerza es una magnitud vectorial? *(Sección 4)*
48. Explique qué se entiende por centro de gravedad, centroide y centro de masa. *(Sección 4)*
49. Explique qué sucede con la estabilidad de un cuerpo si: **a)** disminuye la superficie de sustentación, **b)** la altura a la que se encuentra su centro de gravedad disminuye. *(Sección 4)*
50. Explique las dos condiciones de equilibrio necesarias para que un cuerpo esté en reposo. *(Sección 4)*
51. ¿Cuáles son los pasos a seguir para hacer un diagrama de cuerpo libre? *(Sección 4)*
52. ¿Cómo se define la fricción y cuántos tipos de ella existen? Describa cada tipo. *(Sección 5)*

53. Si la fuerza de fricción dinámica al mover un cuerpo a velocidad constante tiene una magnitud de 800 N, ¿cómo cree que será la magnitud de la fuerza máxima estática? Mayor o menor y por qué. *(Sección 5)*

54. ¿Cómo se define el coeficiente de fricción estático y el coeficiente de fricción dinámico? *(Sección 5)*

55. Escriba cuando menos tres ventajas y tres desventajas de la fricción. *(Sección 5)*

56. Utilice un ejemplo de su entorno y explique cómo se reduce la fuerza de fricción. *(Sección 5)*

57. ¿Cuál es la definición de trabajo desde el punto de vista de la Física? *(Sección 6)*

58. ¿Qué ángulo debe formar la fuerza que se aplica a un cuerpo respecto a su desplazamiento para que produzca el mayor trabajo posible? *(Sección 6)*

59. Explique por qué es igual el trabajo mecánico que realizan dos personas cuya magnitud de peso es igual, cuando cargan, por separado, un bulto de cemento de 50 kg hasta una misma altura, no obstante que una de ellas suba por una escalera cuya longitud puede ser el doble que la usada por la otra persona. *(Sección 6)*

60. ¿Por qué no realiza trabajo mecánico un caballo que camina llevando una carga sobre su lomo? *(Sección 6)*

61. Defina qué se entiende por energía y escriba cuántos tipos de ella conoce. *(Sección 7)*

62. Explique con ejemplos de su entorno, qué se entiende por energía potencial gravitacional, su expresión matemática y unidades. Diga también qué es energía potencial elástica y dé ejemplos. *(Sección 7)*

63. Describa con ejemplos de su vida cotidiana, a la energía cinética traslacional, su expresión matemática y unidades. Señale también en qué casos un cuerpo tiene energía cinética rotacional. *(Sección 7)*

64. Utilice un ejemplo de su entorno para explicar qué se entiende por inercia rotacional. *(Sección 7)*

65. ¿Cómo puede explicar con un ejemplo cotidiano la conservación de la energía y cuándo decimos que se degrada? *(Sección 7)*

66. Explique cómo cambia la energía potencial y la energía cinética cuando un cuerpo se lanza verticalmente hacia arriba hasta que regresa a su punto de partida. *(Sección 7)*

67. Defina el concepto de potencia mecánica, citando fórmula y unidades tanto del SI como prácticas. *(Sección 8)*

68. Defina los conceptos de impulso mecánico y cantidad de movimiento. Escriba para ambas cuál es su fórmula y unidades. *(Secciones 9 y 10)*

69. Explique qué sucede con la magnitud de la cantidad de movimiento de un cuerpo cuando la magnitud del impulso mecánico que recibe: **a)** aumenta, **b)** disminuye. *(Sección 11)*

70. Explique la diferencia entre choque elástico y choque inelástico. Ponga un ejemplo de cada uno. *(Sección 12)*

71. Enuncie la Ley de la Conservación de la Cantidad de Movimiento y escriba su expresión matemática. *(Sección 13)*

72. Explique los siguientes conceptos: **a)** inercia rotacional o momento de inercia; **b)** cantidad de movimiento angular o momento angular; **c)** ley de la conservación del momento angular; **d)** energía cinética rotacional. *(Sección 14)*

73. ¿Qué es un giroscopio y qué usos prácticos se le dan? *(Sección 14)*

74. Explique por medio de un dibujo qué es una máquina simple y cómo se determina su ventaja mecánica. *(Sección 15)*

75. Explique las características de las siguientes máquinas simples: palanca, plano inclinado y polea. *(Sección 15)*

Coevaluación

Instrucciones: Consolide su aprendizaje, para ello lea y conteste en una hoja las siguientes preguntas. Luego, intercambie con un(a) compañero(a) sus respuestas. Coméntenlas, pónganse de acuerdo y den respuestas comunes. Discútanlas con las demás parejas y enriquezcan sus conocimientos con las aportaciones de todos.

1. Un radio transmisor tiene un peso de 60 N en la Tierra y de 10 N en la Luna. ¿Tiene el radio una menor inercia en la Luna? Sí o no ¿Por qué?

2. ¿Cómo varía el peso de un muchacho cuando asciende por un elevador y cómo varía cuando desciende? ¿Por qué? ¿Sería posible registrar su peso por medio de una báscula, si al estar parado sobre ella, ambos cayeran libremente? Sí o no ¿Por qué?

3. Se aplica una fuerza sobre un objeto cuya masa es de 40 kg y le produce una aceleración cuya magnitud es de 0.7 m/s al desplazarse horizontalmente sobre una superficie terrestre con fricción despreciable. Si el objeto se transporta a la Luna y se le aplica la misma fuerza para desplazarlo horizontalmente sobre una superficie también

con fricción despreciable, ¿cuál será la magnitud de su aceleración? ¿Por qué?

4. Una niña cuyo peso es de 200 N se sube a dos básculas de baño, poniendo un pie en cada una.
   a) ¿Qué peso registrará cada báscula si se apoya por igual en cada báscula?
   b) ¿Qué peso registrará una báscula si la otra marca ¼ del peso de la niña?
   c) Si ahora se para en un solo pie en una báscula, ¿cuánto marcará esta báscula y cuánto marcará la otra?

5. Una bala es disparada por un rifle a gran velocidad, ¿posee alguna fuerza la bala mientras se desplaza por el espacio? Justifique su respuesta.

6. Si a cada acción corresponde una reacción de la misma magnitud pero en sentido contrario, ¿cómo es posible explicar que un caballo pueda jalar una carreta?

7. Cuando una pelota cae, la Tierra ejerce una fuerza de cierta magnitud sobre la pelota. ¿Cómo es la magnitud de la fuerza con la cual la pelota atrae a la Tierra, igual, menor, mayor o nula? ¿Por qué?

8. Cuál es la fuerza neta o resultante que actúa sobre una maceta de 180 N cuando:
   a) Encuentra una resistencia del aire de 80 N.
   b) Encuentra una resistencia del aire de 180 N.
   c) Cae libremente.

9. Un sillón se localiza a 15 m sobre el suelo.
   a) ¿Posee energía?
   b) ¿Posee trabajo mecánico? Justifique sus respuestas.

10. Un automóvil duplica la magnitud de su velocidad.
    a) ¿Cómo varía su momento lineal?
    b) ¿Posee impulso mecánico y éste varía?

    Justifique sus respuestas.

11. Si dos automóviles se colisionan de frente, el daño será mayor para los ocupantes si:
    a) Los dos automóviles quedan unidos.
    b) Los dos automóviles rebotan después del impacto.

    Justifique su respuesta.

Glosario

Campo gravitacional de un cuerpo

Es la zona en la cual un cuerpo ejerce su influencia sobre otros cuerpos.

Cantidad de movimiento o momento lineal de un cuerpo

Su magnitud es igual al producto de la masa del cuerpo por la magnitud de su velocidad.

Centro de gravedad

Punto donde se concentra el peso de un cuerpo.

Cinemática

Estudia el movimiento de los cuerpos sin atender a las causas que los producen.

Degradación de la energía

Cuando la energía se transforma en calor y ya no es posible recuperarla para transformarla en otro tipo de energía.

Dinámica

Estudia las causas de reposo o movimiento de los cuerpos.

Dinamómetro

Aparato para medir las magnitudes de las fuerzas.

Eficiencia de una máquina mecánica simple o compleja

Se determina mediante la relación entre el trabajo útil obtenido por la máquina, denominado trabajo de salida (W_S), y el trabajo realizado sobre la misma para producirlo, conocido como trabajo de entrada (W_e). Por tanto:

$$\varepsilon = \frac{W_S}{W_e} \times 100$$

Energía

Se define como la propiedad que caracteriza la interacción de los componentes de un sistema físico que tiene la capacidad de realizar un trabajo. Se mide en joules.

Energía calorífica

Se produce por la combustión de carbón, madera, petróleo, gas natural y otros combustibles.

Energía cinética

Es la que tiene cualquier cuerpo que se encuentre en movimiento.

Energía eléctrica

Se obtiene principalmente por medio de generadores eléctricos, pilas secas, acumuladores y pilas solares. Se utiliza para producir corrientes eléctricas en un material conductor.

Energía eólica

Es la producida por el movimiento del aire.

Energía hidráulica

Se aprovecha cuando la corriente de agua mueve un molino o la caída de agua de una presa mueve una turbina.

Energía mecánica

Es la que tienen los cuerpos cuando por su velocidad o posición son capaces de producir un trabajo.

Energía nuclear

Es originada por la energía que mantiene unidas a las partículas en el núcleo de los átomos.

Energía potencial

Es la que tiene todo cuerpo cuando en función de su posición o estado es capaz de realizar un trabajo.

Energía química

Se produce cuando las sustancias reaccionan entre sí alterando su constitución íntima.

Energía radiante

Es la energía producida por ondas electromagnéticas que se propagan en el vacío a una velocidad cuya magnitud es aproximadamente de 300 mil km/s.

Equilibrante

Es el vector capaz de cancelar la resultante de un sistema de vectores. Por tanto, tiene la misma dirección y magnitud que la fuerza neta o resultante pero con sentido contrario.

Estática

Estudia aquellos casos en que los cuerpos sometidos a la acción de varias fuerzas no se mueven, ya que se equilibran entre sí. También considera los casos en que la resultante de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en movimiento es nula y el cuerpo sigue desplazándose con movimiento rectilíneo uniforme.

Fuerza

Se manifiesta siempre que existe cuando menos una interacción de dos cuerpos.

Fuerza a distancia

Cuando los cuerpos interactúan sin estar en contacto.

Fuerza de contacto

Cuando el cuerpo que ejerce la fuerza se toca con el que la recibe.

Fuerza de fricción dinámica

Tiene una magnitud igual a la fuerza que se requiere aplicar para que un cuerpo se deslice a velocidad constante sobre otro.

Fuerza de fricción estática

Es la reacción que presenta un cuerpo en reposo oponiéndose a su deslizamiento sobre otra superficie.

Fuerza de fricción o de rozamiento

Es una fuerza tangencial paralela a las superficies que están en contacto y que se opone al deslizamiento de un cuerpo al estar en contacto con otro. La fuerza de rozamiento sobre un cuerpo, siempre es opuesta a su movimiento, o movimiento eminente, respecto de la superficie.

Fuerza neta

Es la fuerza resultante que actúa sobre un cuerpo cuando varias fuerzas actúan sobre dicho cuerpo. Puede ser igual o diferente de cero.

Fuerzas débiles

Se caracterizan por provocar inestabilidad en determinados núcleos atómicos. Fueron detectadas en sustancias radiactivas naturales.

Fuerzas electromagnéticas

Su origen se debe a las cargas eléctricas.

Fuerzas gravitacionales

Su causa está en función de la masa de los cuerpos.

Fuerzas nucleares

Se supone que son engendradas por intermedio de mesones entre las partículas del núcleo.

Giroscopio

Es todo cuerpo en rotación (como es el caso de la Tierra) y tiene dos propiedades fundamentales: inercia giroscópica y precesión giroscópica.

Impulso mecánico

Es el que recibe un cuerpo y cuya magnitud es igual al producto de la magnitud de la fuerza aplicada por el intervalo de tiempo en el cual ésta actúa.

Inercia rotacional

Propiedad de los cuerpos de oponerse a cambios en su estado de movimiento de rotación.

Intensidad del campo gravitacional en un punto cualquiera

Su magnitud es igual a la fuerza por unidad de masa que actúa sobre un cuerpo colocado en ese punto.

Ley de gravitación universal

Dos cuerpos cualesquiera se atraen con una fuerza cuya magnitud es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.

Ley de la conservación de la cantidad de movimiento angular o del momento angular

El momento angular total permanece constante si no actúa sobre el sistema un momento de rotación externo no equilibrado.

Ley de la conservación de la cantidad de movimiento o del momento lineal

Cuando dos o más cuerpos chocan la cantidad de movimiento es igual antes y después del choque.

Ley de la conservación de la energía

La energía que existe en el Universo es una cantidad constante que no se crea ni se destruye, únicamente se transforma.

Masa

Representa la cantidad de materia contenida en un cuerpo.

Máquina simple

Dispositivo que se usa para cambiar la magnitud y/o la dirección en que se aplica una fuerza. Su característica principal es que transmiten la fuerza de modo directo, tal es el caso de la palanca, el plano inclinado, la polea y el torno.

Momento angular o cantidad de movimiento angular de un cuerpo en rotación

Su magnitud es igual al producto de la magnitud de su momento de inercia por la magnitud de su velocidad angular.

Momento de inercia o inercia rotacional de un cuerpo

Mide su resistencia a variar su estado de movimiento de rotación.

Momento de una fuerza o momento de torsión

Es la capacidad que tiene una fuerza para hacer girar un cuerpo.

Par de fuerzas

Se produce cuando dos fuerzas paralelas de la misma magnitud, pero de sentido contrario, actúan sobre un cuerpo.

Peso

Representa la acción de la fuerza gravitacional sobre la masa de un cuerpo.

Primera condición de equilibrio

Para que un cuerpo esté en equilibrio de traslación, la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre él debe ser cero.

Primera Ley de Kepler

Todos los planetas se mueven alrededor del Sol siguiendo órbitas elípticas, en las cuales el Sol ocupa uno de los focos.

Primera Ley de Newton

Todo cuerpo se mantiene en su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme si la resultante de las fuerzas que actúan sobre él es cero.

Segunda condición de equilibrio

Para que un cuerpo esté en equilibrio de rotación, la suma de los momentos o torcas de las fuerzas que actúan sobre él respecto a cualquier punto debe ser igual a cero.

Segunda Ley de Kepler

El radio vector que enlaza al Sol con un planeta recorre áreas iguales en tiempos iguales.

Segunda Ley de Newton

Toda fuerza resultante aplicada a un cuerpo le produce una aceleración en la misma dirección en que actúa. La magnitud de dicha aceleración es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza aplicada a un cuerpo y que le produce una aceleración en la misma dirección en que actúa. La magnitud de dicha aceleración es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza aplicada e inversamente proporcional a la masa del cuerpo.

$$a = \frac{F}{m} \therefore F = ma$$

Sol

Estrella alrededor de la cual gravitan la Tierra y los demás astros del sistema solar.

Tercera ley de Kepler

Los cuadrados de los periodos de revolución sideral de los planetas son proporcionales a los cubos de las distancias medias al Sol:

$$\frac{t^2}{d^3} = k$$

Tercera Ley de Newton

Cuando un cuerpo A ejerce una fuerza sobre un cuerpo B, éste reacciona sobre A ejerciendo una fuerza de la misma intensidad y dirección, pero en sentido contrario.

Trabajo mecánico

Es una magnitud escalar producida sólo cuando una fuerza mueve un cuerpo en la misma dirección en que se aplica.

Ventaja mecánica de una máquina simple

Se presenta cuando el peso levantado (fuerza de salida) es mayor que la fuerza aplicada (fuerza de entrada). Su valor se determina al dividir la magnitud de la fuerza de salida entre la magnitud de la fuerza de entrada.

UNIDAD 6

CONTENIDO

- Estructura de la materia
- Estados de agregación
- Propiedades generales o extensivas de la materia
- Propiedades características o intensivas de la materia
- Actividad experimental 13: *Propiedades características o intensivas de la materia*
- Resumen
- Autoevaluación
- Coevaluación
- Glosario

Observemos todo nuestro entorno; si estamos en un parque veremos árboles, plantas, pájaros, pasto, resbaladillas, columpios, etc.; y si estamos en una biblioteca veremos libros, sillas, mesas, personas, puertas, pisos, paredes, ventanas, lámparas, entre otras cosas.

Todo lo que nos rodea está formado por materia, pero, ¿qué es la materia? Pretender dar una respuesta satisfactoria a esta pregunta aún no es posible, pues de la materia únicamente se conoce su estructura.

Por tanto, decir que la materia es todo lo que ocupa un lugar en el espacio e impresiona nuestros sentidos es una definición imprecisa, porque no todo lo existente en el espacio es registrado por nuestros sentidos y, aún más, existen muchas dudas acerca de diferentes tipos de energía en los cuales se desconoce si están constituidas por materia o no.

Pero entonces, ¿qué es la materia? Podemos decir, **la materia es todo cuanto existe en el Universo y se halla constituido por partículas elementales, mismas que generalmente se encuentran agrupadas en átomos y en moléculas.** El concepto de materia ha evolucionado enormemente a partir de las teorías modernas y de los progresos de la física experimental. La materia es indestructible y puede ser transformada en energía. De la misma manera se puede crear materia a partir de energía radiante.

Cuando hablamos de masa nos referimos a la cantidad de materia contenida en un cuerpo. **La masa y la energía son dos aspectos de una misma realidad** y dan como resultado fenómenos como el de la emisión de radiaciones de las estrellas o las materializaciones de los rayos gamma, entre otros. Estos fenómenos prueban cómo los cuerpos pueden radiar ondas electromagnéticas perdiendo una parte correspondiente de su masa y cómo las ondas de alta frecuencia pueden desaparecer dando lugar a la formación de partículas materiales. Dichas transformaciones obedecen a la misma ley propuesta por Albert Einstein, de la equivalencia de la masa m y de la energía E que se representa por la fórmula $\boldsymbol{E = mc^2}$, donde c es la velocidad de propagación de la luz en el vacío y cuya magnitud es aproximadamente igual a 300 000 km/s.



Materia y sus propiedades

1 Estructura de la materia

Observe los objetos que le rodean, todos tienen determinada forma, color, masa y volumen. Pueden ser duros, rígidos, elásticos, lisos, ásperos, brillantes o mate.

Todo lo que nos rodea está formado por materia, pero ¿qué es la materia? Tales, filósofo, astrónomo y geómetra, nacido en Mileto (Asia Menor), el año 640 a. C., llegó a la conclusión de que el agua es necesaria para todas las cosas vivientes.

El filósofo griego Empédocles, nacido unos 500 años a. C., ideó una teoría que iba a dominar el pensamiento occidental hasta el siglo XVIII. De acuerdo con este sabio, la materia no estaba compuesta de una sola sustancia sino de cuatro "elementos": aire, agua, tierra y fuego (figura 6.1).



figura 6.1

Empédocles propuso la teoría de los cuatro "elementos" al considerar que la materia estaba construida por: aire, agua, tierra y fuego.

El griego Leucipo (460-370 a. C.) y su discípulo Demócrito, fueron los primeros en considerar que si un cuerpo se dividiera cada vez en trozos más pequeños, llegaría un momento en que se tendría una partícula tan pequeña que ya no sería posible dividirla más. A dicha partícula la denominaron átomo, palabra que en griego significa: sin división.

Isaac Newton, el ilustre físico, astrónomo, matemático y filósofo inglés (1642-1727), y Robert Boyle, físico y químico irlandés (1627-1691), publicaron artículos donde expresaron su creencia en la naturaleza atómica de los elementos. Sus trabajos no fueron comprobados, fueron simples explicaciones de lo conocido sin trascender a lo desconocido. Fue un químico y físico inglés, **John Dalton** (1766-1844), quien postuló una hipótesis lógica acerca de la existencia de los átomos.

Ley de la conservación de la materia, teoría atómica de Dalton y leyes de las proporciones definidas y múltiples

En los primeros años del siglo XIX, **Dalton** sabía de ciertas observaciones experimentales. Antoine Lavoisier, químico francés (1743-1794), uno de los creadores de la química moderna, había advertido que si se efectuaba un cambio en un espacio cerrado, la masa de los materiales presentes antes del cambio es igual a la masa de los materiales presentes después del cambio. Encontró que en todos los cambios químicos realizados, la masa permanecía constante. Postuló la Ley de la Conservación de la Materia, que dice: La materia no puede crearse ni destruirse. Este enunciado significa que, en reacciones químicas ordinarias, la materia puede experimentar cambios pero no se crea ni se destruye. Ahora se sabe que la materia puede ser transformada en energía y viceversa, por tanto, la suma de ambas es una cantidad constante en el Universo.

El trabajo de otro químico francés, **Joseph Proust** (1754-1826), también llamó la atención de Dalton. Proust observó que las sustancias específicas siempre contienen la misma proporción en la masa de sus elementos. Por ejemplo, la sal de mesa está constituida por sodio y cloro. La relación entre las masas de sodio y cloro de cualquier muestra de sal pura siempre es igual. No importa la procedencia de la muestra, cómo se obtuvo o qué tan grande es, la relación entre las masas de sodio y cloro siempre es la misma. Este principio se conoce como **Ley de las Proporciones Definidas o Ley de Proust** (figura 6.2).

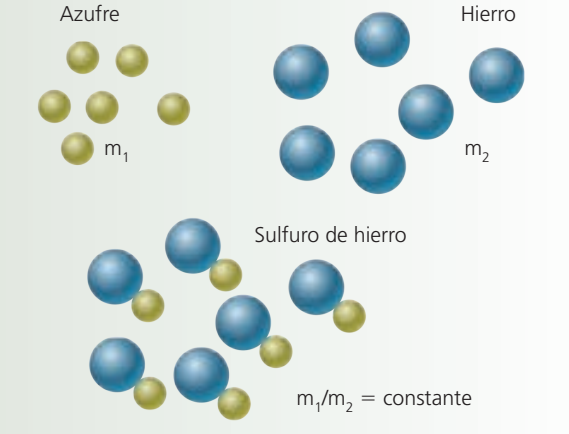


figura 6.2

Cuando dos elementos químicos se combinan entre sí, lo hacen siempre en la misma proporción.

En 1803, Dalton hizo su más importante contribución a la ciencia al proponer la teoría de que la materia está compuesta por átomos de diferentes masas, que se combinan en proporciones sencillas para formar compuestos. Los postulados de la Teoría Átomica de Dalton son:

a) Toda materia está formada por partículas diminutas llamadas átomos. Éstos son indivisibles.

b) Todos los átomos de un mismo elemento tienen idéntico peso y son iguales entre sí.

c) Los átomos de diferentes elementos tienen distinto peso.

d) Los cambios químicos en la materia se producen debido a combinaciones entre sus átomos.

Los estudios realizados por Dalton, aunados a los de Lavoisier, quien determinó la composición del aire, así como el papel del oxígeno en la respiración y la combustión de la materia, contribuyeron a establecer el carácter corpuscular de la materia. Por lo que se considera que todo cuerpo está constituido por pequeñísimas partículas que reciben el nombre de átomos.

Un átomo es la unidad más pequeña posible de un elemento químico. Los átomos se encuentran constituidos por partículas elementales: los electrones, protones y neutrones. Los electrones y los protones tienen una propiedad llamada carga eléctrica (figura 6.3).

Una molécula es la partícula más pequeña de una sustancia que mantiene las propiedades químicas específicas de la misma. Si una molécula se divide en partes aún más pequeñas, éstas serán de una naturaleza distinta de la sustancia original.

John Dalton estableció una ley que supuso sería cierta si su teoría era correcta. Esta ley no fue resultado de datos obtenidos experimentalmente y recibe el nombre de Ley de las Proporciones Múltiples, en ella sostiene que si dos elementos se combinan para formar una sustancia compuesta, la relación entre las masas de un elemento que se combinan con una masa constante de otro elemento puede expresarse en números enteros y pequeños.

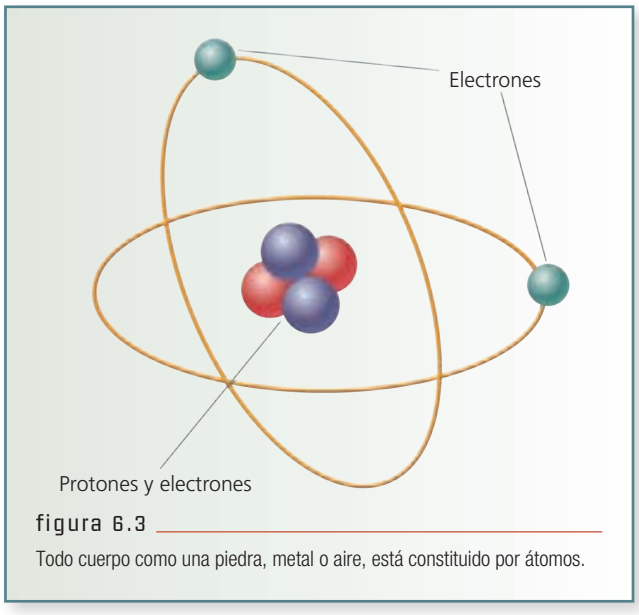


figura 6.3

Todo cuerpo como una piedra, metal o aire, está constituido por átomos.

Al mismo tiempo que Dalton postuló su teoría atómica, J.L. Gay Lussac, físico y químico francés (1778-1850), hizo una interesante observación respecto a las reacciones de los gases. Advirtió que, en condiciones de temperatura y presiones constantes, los volúmenes de los gases reaccionantes y sus productos gaseosos guardaban una relación de números enteros y pequeños.

Pocos años después, Amadeo Avogadro, físico italiano (1776-1856), explicó la observación de Gay Lussac con base en la teoría atómica de Dalton. La hipótesis de Avogadro establece que, en las mismas condiciones de temperatura y presión, iguales volúmenes gaseosos contienen igual número de moléculas. Como los átomos de estas moléculas siempre permanecen enteros al efectuarse la reacción, sus cambios podían representarse en proporciones simples de números enteros.

Conceptos de cuerpo, sustancia, elemento y compuesto

Cuerpo

Es todo aquello que ocupa un lugar en el espacio, por ejemplo, una mesa, un coche, la Luna, el Sol, la Tierra, una naranja, un clip, el agua de un río o lo que ingerimos cuando tenemos sed, el hidrógeno, el agua evaporada contenida en las nubes, el oxígeno del aire que respiramos, en fin, todo lo que observemos a nuestro alrededor es un cuerpo (figura 6.4).

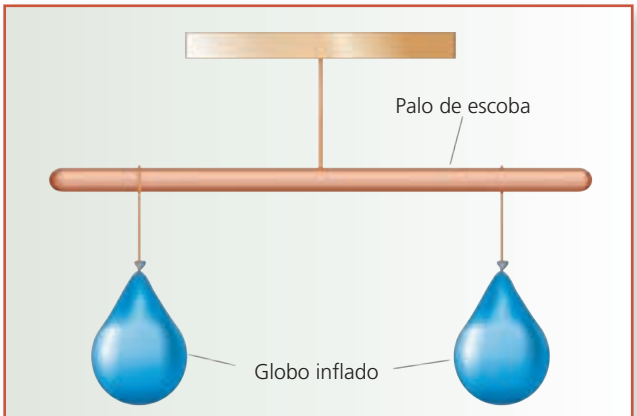


figura 6.4

El viento es aire en movimiento. El aire es un cuerpo y por tanto tiene peso. Si se rompe cualquier globo se produce un desequilibrio.

Sustancia

Es cualquier tipo de materia que presenta características que la distinguen de otras. Por ejemplo, como sustancia



figura 6.5

El plástico, agua, vidrio y el dióxido de carbono son algunos ejemplos de sustancias.

el agua es diferente del alcohol, del vidrio, del oxígeno, del hidrógeno, del hierro, y de cualquier otra sustancia (figura 6.5).

Elemento

Es una muestra homogénea de la materia, compuesta de átomos idénticos. Por tanto, todos los átomos de un elemento determinado deben tener el mismo número atómico. Los elementos se presentan en diferentes estados de agregación molecular. Hasta el momento se han descubierto 109, metales y no metales. Algunos ejemplos son el oro, el mercurio, el oxígeno, el hierro, la plata y el azufre.

Compuesto

Es una muestra homogénea de materia constituida por dos o más átomos diferentes en determinada proporción. Algunos ejemplos son: el agua, el azúcar, la sal o el dióxido de carbono (figura 6.6).

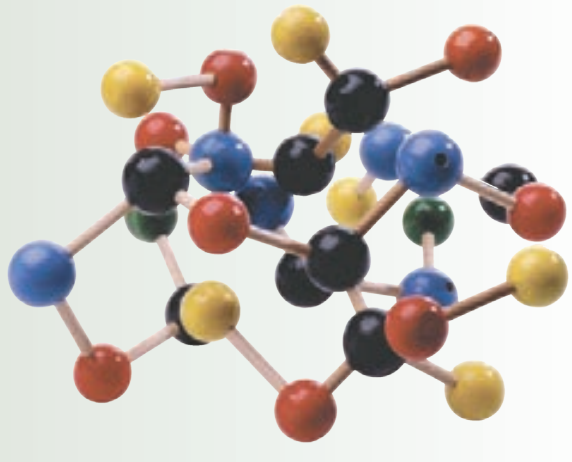


figura 6.6

Los átomos que intervienen en la formación de una molécula de una sustancia es una característica o propiedad química de dicha sustancia.

Mendeleiev y la tabla periódica

Una de las tareas a las que con más interés se dedicaron los químicos del siglo XIX fue a la búsqueda de nuevos elementos químicos y al estudio detallado de sus propiedades. De los nueve elementos químicos conocidos por los antiguos se había pasado a 55 en el año 1830 y no se tenía idea de cuántos más podía haber.

Ante tal cantidad de sustancias elementales y la gran diversidad de propiedades de las mismas, los químicos se encontraban desconcertados: **se hacía necesaria una clasificación**. Fueron varios los científicos que trabajaron en este campo, pero puede decirse que la aportación definitiva la realizó el químico ruso Dimitri Ivanovich Mendeleiev (1834-1907).

Mendeleiev ordenó todos los elementos químicos conocidos en su época en una tabla, denominada tabla periódica, de características muy parecidas a la que utilizamos actualmente.

Dimensiones moleculares y atómicas

Imagine que tiene un vaso con agua y que trata de dividir la cantidad de agua en mitades, aún más allá del límite de visibilidad. Por supuesto, hay un límite en este proceso y, finalmente, quedará una pequeñísima porción de agua. Esta última partícula es la molécula de agua que, al dividirla otra vez, dejaría de ser agua. Una molécula es extraordinariamente pequeña y, de hecho, en el vaso con el agua que imaginariamente hemos estado dividiendo, habría unas 1×10^{26} moléculas, es decir, 100 cuatrillones de moléculas. Una molécula se puede dividir en partes más pequeñas. Sin embargo, cuando se divide, ya no continúa siendo la misma sustancia. Una molécula de agua puede dividirse en tres porciones más pequeñas, pero éstas ya no tienen las propiedades químicas ni físicas del agua. Estas porciones submoleculares se llaman átomos. Un átomo es tan pequeño que en una sola gota hay más de mil trillones de átomos (figura 6.7).



figura 6.7

En una gota de agua existen más de mil trillones de átomos.

Masas moleculares, número de Avogadro y concepto de mol

Los símbolos y fórmulas químicas como Fe (hierro) y NaCl (cloruro de sodio) son signos convencionales para representar a los elementos y compuestos químicos. El símbolo de un elemento también representa a un átomo del elemento (figura 6.8); asimismo, la fórmula de un compuesto indica una molécula de dicho compuesto. Las masas de los átomos se comparan con base en la escala de masas atómicas, la cual tienen como patrón la unidad de masa atómica (uma). La masa atómica del hidrógeno en unidades de masa atómica es 1 y la del oxígeno 16. Por tanto, la masa total de una molécula de agua (H_2O) es 1 + 1 + 16 = 18 uma. Si se suman las masas atómicas de todos los átomos de una molécula, la resultante es la masa de la molécula, esto es, masa molecular.

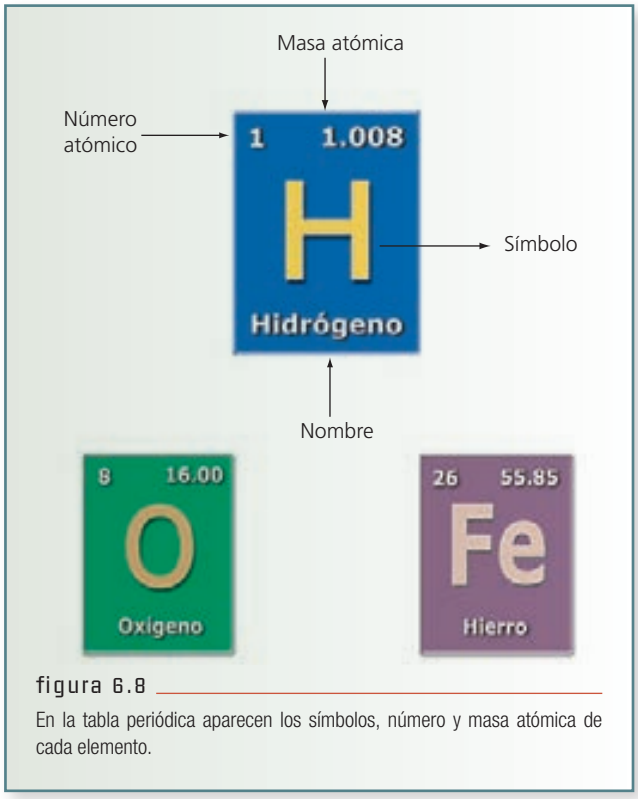


figura 6.8

En la tabla periódica aparecen los símbolos, número y masa atómica de cada elemento.

Para calcular una masa molecular, se suman las masas atómicas de los átomos involucrados en la fórmula. Veamos:

Determinar la masa molecular del sulfato de sodio (Na_2SO_4). Datos: masa atómica del sodio: 23; masa atómica del azufre: 32; masa atómica del oxígeno: 16.

Como en la fórmula hay dos átomos de sodio (Na), uno de azufre (S) y cuatro de oxígeno (O), tenemos:

2 átomos de Na: $2 \times 23 = 46$ uma

1 átomo de S: $1 \times 32 = 32$ uma

4 átomos de O: $4 \times 16 = 64$ uma

Por tanto, la masa molecular del Na_2SO_4 es igual a:

$$(46 + 32 + 64) \text{ uma} = 142 \text{ uma}.$$

Existe un inconveniente al utilizar las masas moleculares de las sustancias, dadas en unidades de masa atómica (uma), como 1 uma tiene un valor de 1.67×10^{-24} g, la masa de una sola molécula de una sustancia es tan pequeña que es imposible medirla en un laboratorio. Por ello, se requiere una unidad más práctica como lo es el gramo. De aquí que resulta útil seleccionar un número de átomos que sea válido para todos los elementos, que tenga una masa en gramos equivalente a la masa de un átomo en unidades de masa atómica (uma).

Experimentalmente, los químicos han encontrado que 6.02×10^{23} átomos de un elemento cualesquiera tienen una masa en gramos, equivalente a la masa de un átomo de dicho elemento en uma. Por ejemplo, un átomo de hidrógeno tiene una masa de 1.01 uma, y 6.02×10^{23} átomos de hidrógeno tienen una masa de 1.01 gramos; 6.02×10^{23} átomos de oxígeno tienen una masa de 16 g; 6.02×10^{23} átomos de sodio tienen una masa de 23 g, etc. Al número 6.02×10^{23} se le denomina número de Avogadro, en honor al físico italiano **Amadeo Avogadro** (1776-1856).

La masa atómica en gramos de un elemento, dividida entre la masa real en gramos de uno de sus átomos, es una relación constante que es igual al número de Avogadro. Por ejemplo, para el hidrógeno tenemos:

$$\frac{\text{masa atómica en gramos del H}}{\text{masa real en gramos de un átomo de H}}$$

$$= \frac{1.01 \text{ g}}{1.67 \times 10^{-24} \text{ g}} = 6.02 \times 10^{23}$$

La masa atómica en gramos contiene 6.02×10^{23} átomos. Como las moléculas están formadas por la combinación de átomos, tenemos que:

a) La masa molecular en gramos es la suma de las masas atómicas en gramos que la componen.

b) La masa molecular en gramos contiene el número de Avogadro: 6.02×10^{23} moléculas por masa molecular en gramos.

c) La masa en gramos de una molécula se halla al dividir la masa molecular en gramos sobre el número de Avogadro.

La masa molecular en gramos de cualquier especie química se llama gramo mol o simplemente *mol*. Por tanto: Un *mol* de cualquier especie química, ya sea atómica, iónica o molecular, contiene 6.02×10^{23} partículas individuales. Por ejemplo, un mol de agua (18 gramos) contiene 6.02×10^{23} moléculas de agua.

El *mol* es una unidad o patrón de medida aceptado por el Sistema Internacional para medir la cantidad de sustancia.

2 Estados de agregación

La materia se presenta en cuatro estados físicos: sólido, líquido, gaseoso y plasma. De acuerdo con la teoría cinética molecular, la materia se encuentra formada por pequeñas partículas llamadas moléculas y éstas se encuentran animadas de movimiento, el cual cambia constantemente de dirección y velocidad. Debido a este movimiento las moléculas presentan energía cinética que tiende a separarlas, pero también tienen una energía potencial que tiende a mantenerlas juntas. Por tanto, el estado físico de una sustancia puede ser (figura 6.9):

a) Sólido si la energía cinética de sus moléculas es menor que la energía potencial (cohesión) que existe entre ellas.

b) Líquido si las energías cinética y potencial de sus moléculas son aproximadamente iguales.

c) Gaseoso si la energía cinética de las moléculas es mayor que su energía potencial. (Por sus características especiales mencionaremos aparte el estado de agregación llamado plasma.)

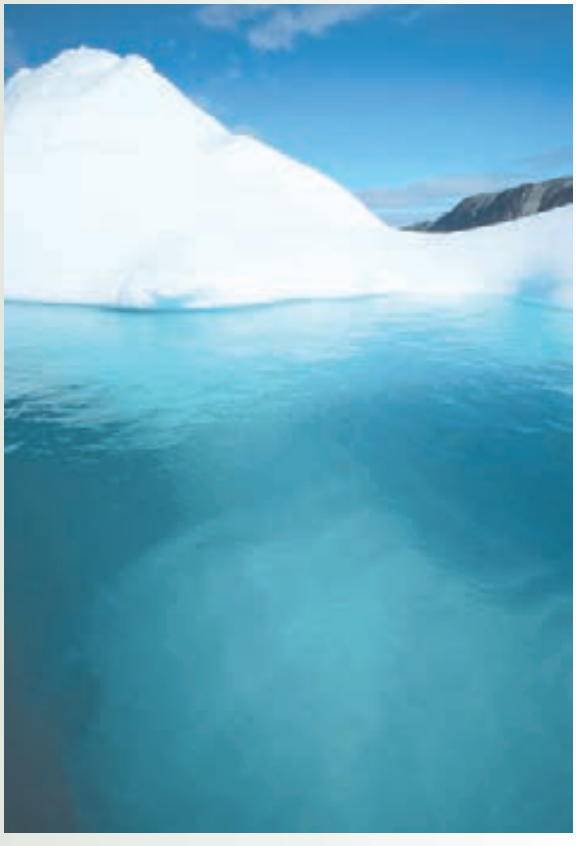


figura 6.9

El agua en sus tres estados físicos: líquido, sólido y gaseoso.

En el estado sólido cada molécula está confinada en un espacio pequeño entre moléculas cercanas, por lo cual vibran sin cambiar prácticamente de lugar debido a su alta fuerza de cohesión. Sin embargo, si al sólido se le suministra calor las moléculas lo absorben y lo transforman en energía cinética, que al aumentar disminuye la magnitud de la fuerza de cohesión y el sólido cambia del estado sólido al líquido. Si el líquido se calienta aún más, las moléculas aumentan su energía cinética nulificando la fuerza de cohesión y se producirá un nuevo cambio del estado líquido al gaseoso, estado en el cual las moléculas se mueven libremente con una gran magnitud de velocidad de un lado a otro, chocan entre sí y con las paredes del recipiente que las contiene, y dan como resultado la denominada presión del gas.

El plasma, denominado cuarto estado de la materia, se produce al aumentar la temperatura a más de 5000 °C. En estas condiciones las moléculas se rompen, los átomos chocan en forma violenta y pierden sus electrones, lo cual da origen a un gas extraordinariamente ionizado, mezcla de iones y electrones.

Este estado sólo se presenta en las estrellas como el Sol o en la explosión de bombas termonucleares, así como en los relámpagos (figura 6.10), ya que en su trayectoria el 20% de las moléculas de aire se ionizan. En la actualidad el hombre investiga la producción de plasmas, pero su principal problema es de aún no haber hallado ningún material natural o artificial resistente a tan altas temperaturas.



figura 6.10

En la trayectoria de los relámpagos el 20% de las moléculas del aire se ionizan y, por tanto, se produce plasma.

Movimiento browniano y difusión

Cuando a una sustancia se le suministra calor, se altera su energía cinética y potencial como consecuencia del

movimiento y las posiciones guardadas por las moléculas. Con ello se modificará la energía interna de la sustancia, pues ésta es resultado de la energía cinética y potencial de las moléculas.

La teoría cinético-molecular tiene una firme sustentación en dos fenómenos muy importantes: uno es el denominado movimiento browniano, descubierto en 1827 por el científico escocés Robert Brown (1773-1858). El otro fenómeno es el de difusión, ambos los analizaremos a continuación.

El movimiento browniano se refiere al movimiento de partículas sólidas contenidas en un líquido o en un gas, como resultado del movimiento caótico de las moléculas líquidas o gaseosas. Consideremos un grano de polvo muy pequeño, visible únicamente con un microscopio, dicho grano se encuentra entre las moléculas de un gas con movimiento caótico. El tamaño del grano de polvo es muy grande comparado con el de las moléculas, éstas le darán múltiples golpes de manera simultánea por todas partes y en diferentes direcciones y sentidos, generando una presión en la superficie del grano. Las fuerzas producidas por el golpe de las numerosas moléculas del gas sobre el grano de polvo, debido al movimiento caótico o desordenado de éstas, ocasionarán que el grano de polvo se mueva también de manera caótica describiendo una trayectoria irregular. El movimiento de pequeñas partículas en suspensión, originado por los golpes de las moléculas en movimiento caótico o desordenado, recibe el nombre de movimiento browniano. Éste pone de manifiesto cómo se mueven las moléculas en una sustancia.

Por supuesto, el movimiento browniano de las partículas será mayor al incrementarse la temperatura de la sustancia (figura 6.11).

El fenómeno de difusión también se explica debido al movimiento caótico de las moléculas. Dicho movimiento se nota más en un gas, pues en un líquido las moléculas están situadas más cerca unas de otras y las fuerzas de atracción entre ellas frenan la difusión. En un sólido, las fuerzas de atracción molecular son aún mayores que en los líquidos y la difusión transcurre mucho más despacio. Debido al fenómeno de difusión, cuando dos líquidos se ponen en contacto, ambos se distribuyen uniformemente por todo el espacio común formando una mezcla homogénea. Esto sucede siempre y cuando los líquidos sean miscibles, es decir, que se puedan mezclar.



figura 6.11
Representación del movimiento browniano de una partícula sólida contenida en un gas.

3 Propiedades generales o extensivas de la materia

Las propiedades que presentan los cuerpos sin distinción reciben el nombre de propiedades generales, por tal motivo no posibilitan diferenciar una sustancia de otra.

A algunas de las propiedades generales de la materia también se les da el nombre de propiedades extensivas, pues su valor depende de la cantidad de materia, tal es el caso de la masa, el peso, el volumen, la inercia y la energía.

A continuación definiremos ciertas propiedades generales.

Extensión

Todo cuerpo ocupa una porción de espacio llamado volumen. Un cuerpo grande ocupa mucho espacio, es decir, un gran volumen; mientras que uno chico tendrá un volumen menor (figura 6.12).



figura 6.12
El volumen de un cuerpo aumenta si su masa o cantidad de materia aumenta.

Masa

Es la cantidad de materia contenida en un cuerpo (figura 6.13). Muchas veces se le trata indistintamente como peso, pero no son lo mismo; por ejemplo, cuando un astronauta llega a la Luna su masa, o cantidad de materia, es la misma pues no cambian las dimensiones de su cuerpo. Sin embargo, la magnitud de su peso se habrá reducido a la sexta parte de lo que pesaba en la Tierra porque la magnitud del peso de los cuerpos está en función de la magnitud de la fuerza de atracción gravitacional ejercida sobre ellos. Así, la Luna atrae a los cuerpos de su superficie con una magnitud de fuerza equivalente a 1/6 de la magnitud de fuerza con la cual la Tierra atrae a los cuerpos que se encuentran sobre su superficie. La razón de esta diferencia de la magnitud de la fuerza con la que la Luna y la Tierra atraen a los cuerpos es la mayor masa de esta última.



figura 6.13

Si la masa de una sustancia se duplica, significa que su cantidad de materia también se duplica.

Peso

El peso de un cuerpo representa la fuerza gravitacional con la que es atraída la masa de dicho cuerpo (figura 6.14). Por tal motivo, la magnitud del peso de un cuerpo será mayor si es atraído por una fuerza gravitatoria cuya magnitud sea mayor y viceversa. Por ello, la magnitud del peso de un hombre es mayor en la Tierra que en la Luna. La magnitud del peso de un cuerpo sobre la Tierra será mayor si se encuentra sobre el nivel del mar, pues la distancia entre el cuerpo y el centro de gravedad de nuestro planeta es menor al nivel del mar. Por representar una fuerza, el peso de un cuerpo se considera una magnitud vectorial, cuya dirección es vertical y su sentido está dirigido siempre hacia el centro de la Tierra. La magnitud del peso se calcula multiplicando la masa *(m)* del cuerpo por la magnitud de la aceleración de la gravedad (g), donde: $P = mg$. Su unidad es el newton (N) en el Sistema Internacional, mientras en el Sistema MKS técnico la unidad es el kilogramo-fuerza (kg_f): 1 kg_f = 9.8 N.



figura 6.14

Cuando un astronauta se encuentra sobre la superficie de la Luna, su masa o cantidad de materia es la misma, pero la magnitud de su peso se reduce a la sexta parte de lo que pesaba en la Tierra.

Inercia

Es la oposición que presentan los cuerpos a variar su estado, ya sea de reposo o de movimiento (figura 6.15). Un ejemplo de la inercia, que cualquiera de nosotros por ser materia tenemos, se manifiesta cuando viajamos en un camión de pasajeros en donde observamos que al estar parado el camión e iniciar su movimiento inmediatamente nos iremos hacia atrás oponiéndonos a variar nuestro estado de reposo. Una vez en movimiento, al frenar el camión, nos iremos hacia adelante

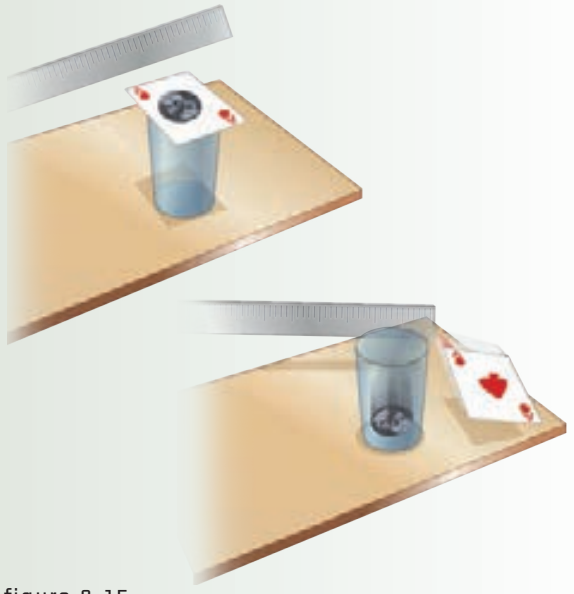


figura 6.15

Al golpear la tarjeta con la regla observamos que la moneda cae dentro del vaso, ya que por inercia se opone a variar su estado de reposo por el de movimiento.

tratando ahora, por la inercia, de oponernos a cambiar nuestro estado de movimiento a un estado de reposo.

Una medida cuantitativa de la inercia de un cuerpo es su masa, pues la masa de un cuerpo es una medida de su inercia. Por tanto, a mayor masa, mayor inercia.

Energía

Es una propiedad que caracteriza la interacción de los componentes de un sistema físico que tiene la capacidad de realizar un trabajo. Existen varios tipos de energía: radiante, nuclear, química, eléctrica, calorífica, hidráulica, eólica y mecánica. La materia es indestructible y puede ser transformada en energía. De la misma manera, se puede crear materia a partir de la energía radiante. La masa y la materia se encuentran íntimamente relacionadas. Cuando un cuerpo se mueve su masa no permanece constante, sino que se incrementa a medida que aumenta la magnitud de su velocidad y toda vez que el movimiento es una forma de energía, la masa incrementada del cuerpo móvil debe provenir de su energía incrementada.

Por tanto, la materia puede convertirse en energía y viceversa. La fórmula relativista que relaciona a la masa con la energía es: $E = mc^2$.

4 Propiedades características o intensivas de la materia

Las propiedades características posibilitan identificar a una sustancia de otra, pues cada una tiene propiedades que la distinguen de las demás.

Las propiedades características de la materia también reciben el nombre de propiedades intensivas, porque su valor es independiente de la cantidad de materia. Tal es el caso de la densidad de cualquier sustancia como es el agua, en la cual su densidad será la misma para 2 cm^3 que para 10 litros o cualquier otra cantidad (figura 6.16).

Las propiedades características se clasifican en:

Propiedades características físicas

Como es el caso de la densidad, punto de fusión, solubilidad, índice de refracción, módulo de Young, organolépticas, llamadas así porque se perciben con nuestros sentidos (color, sabor, olor), entre otras.

Propiedades características químicas

Se refieren al comportamiento de las sustancias al combinarse con otras y a los cambios en su estructura íntima como consecuencia de los efectos de diferentes tipos de energía.

A continuación estudiaremos algunas de las propiedades características físicas más importantes.



figura 6.16

La densidad de una sustancia no depende de la cantidad de materia y, por tanto, es la misma en el frasco pequeño o en el depósito, cuando ambos contienen la misma sustancia.

Densidad o masa específica

Se define como el cociente que resulta de dividir la masa de una sustancia dada entre el volumen que ocupa. Por tanto, la expresión matemática para la densidad es:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

donde: ρ = densidad en $\frac{kg}{m^3}$

m = en kilogramos (kg)

V = volumen en m^3

Algunos valores de densidad para diferentes sustancias los tenemos en el cuadro 6.1.

cuadro 6.1 Valores de densidad de algunas sustancias

Sustancia	Densidad en el SI kg/m³	Densidad en el CGS g/cm³
Agua	1 000	1.0
Alcohol	790	0.79
Aceite	915	0.915
Hielo	920	0.920
Madera	430	0.430
Oro	19 320	19.320
Hierro	7 860	7.86
Mercurio	13 600	13.60
Oxígeno	1.43	0.00143
Hidrógeno	0.09	0.00009

Resolución de problemas de densidad o masa específica

1 Para cuantificar la densidad del agua en el laboratorio se midieron 10 cm^3 de agua y se determinó su masa con la balanza encontrándose un valor de 10 g.

Calcular:

a) ¿Cual es la densidad del agua?

b) Si en lugar de 10 cm^3 midiéramos 1 000 cm^3, ¿cambiaría el valor de la densidad del agua?

c) ¿Qué volumen ocuparán 600 g de agua?

Solución:

a) $\rho = \frac{m}{V} = \frac{10\ g}{10\ cm^3} = 1\ g/cm^3$

El resultado nos indica que un gramo de agua ocupa un volumen de 1 cm^3.

b) No cambia la densidad del agua, ya que la densidad es una propiedad característica o intensiva de la materia y su valor es independiente de la cantidad de materia. Por tanto, si tenemos un volumen de 1 000 cm^3 de agua su masa será de 1 000 g y la relación masa entre el volumen es un valor constante; este valor sigue señalando que un gramo de agua ocupará un volumen de 1 cm^3.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1000\ g}{1000\ cm^3} = 1\ g/cm^3$$

c) Como $\rho = \frac{m}{V}$ tenemos que:

$$V = \frac{m}{V} = \frac{600\ g}{1\frac{g}{cm^3}} = 600\ cm^3$$

2 Si le mostraran dos frascos de vidrio perfectamente tapados, con una capacidad de un litro cada uno, llenos de un líquido incoloro y le preguntaran si son de la misma sustancia, ¿cómo haría para responder sin necesidad de destapar los frascos?

Solución:

Primero se determinaría la densidad de cada líquido, si el valor es igual se trata indiscutiblemente de la misma sustancia, pero si el valor de la misma variara, entonces los líquidos son de diferente sustancia.

3 Si para hallar la densidad del cobre le dan a escoger entre un cubo de 1 cm^3 de volumen y una barra de 10 kg de masa, ¿con cuál de los dos determinaría la densidad?

Solución:

Por comodidad, sería más fácil escoger el cubo de 1 cm^3 de volumen y determinar su masa para que al dividirla entre el volumen se obtenga la densidad. No obstante, pudiera carecerse de una balanza y en cambio tener una regla graduada para medir el largo, ancho y alto de la barra de cobre a fin de calcular su volumen multiplicando sus tres dimensiones, para después determinar su densidad al dividir la masa entre el volumen. Evidentemente, el valor de la densidad del cobre deberá ser el mismo en ambos casos si su determinación se hace con cuidado.

4 Determinar la densidad de un trozo de plomo si tiene una masa de 3.5 kg y ocupa un volumen de $3.097 \times 10^{-4}\ m^3$.

Solución:

Datos

$\rho = ?$

$m = 3.5\ kg$

$V = 3.097 \times 10^{-4}\ m^3$

Fórmula

$\rho = \frac{m}{V}$

Sustitución y resultado

$$\rho = \frac{3.5\ \text{kg}}{3.097 \times 10^{-4}\ \text{m}} = 1.130 \times 10^{4}\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

5 Determinar el volumen de un trozo de corcho si su densidad es de 0.23 g/cm³ y tiene una masa de 50 g. Además, decir si flota o no el corcho al sumergirlo en un recipiente lleno de agua. Justifique su respuesta.

Solución:

Datos

$V = ?$

$\rho = 0.23\ \text{g/cm}^3$

$m = 50\,\text{g}$

Fórmula

$\rho = \frac{m}{V} \therefore V = \frac{m}{\rho}$

Sustitución y resultado

$$V = \frac{50\ \text{g}}{0.23\ \text{g/cm}^3} = 217.39\ \text{cm}^3$$

Al sumergir el corcho en agua flotará, pues su densidad es menor a la del agua que es de 1 g/cm³.

6 Un cubo de aluminio presenta 2 cm de longitud en uno de sus lados y tiene una masa de 21.2 g.

Calcular:

a) ¿Cuál es su densidad?

b) ¿Cuál será la masa de 5.5 cm³ de aluminio?

Solución:

Datos

$\ell = 2\ \text{cm}$

$m = 21.2\ \text{g}$

a) $\rho = ?$

b) $m_{\text{de 5.5 cm}^3} = ?$

Fórmulas

Volumen de un cubo $= \ell^3$

a) $\rho = \frac{m}{V}$

b) $m = \rho V$

Sustitución y resultados

a) $V = (2\ \text{cm})^3 = 8\ \text{cm}^3$

$$\rho = \frac{21.2\ \text{g}}{8\ \text{cm}^3} = 2.65\ \text{g/cm}^3$$

b) $m = 2.65\ \text{g/cm}^3 \times 5.5\ \text{cm}^3 = 14.57\ \text{g}$

7 Un cuerpo *Y* tiene una masa de 150 g y una densidad de 2 g/cm³ un cuerpo *Z* tiene una masa de 750 g y una densidad de 10 g/cm³.

a) Si se introducen por separado los dos cuerpos en un recipiente con agua, determinar cuál desplazará mayor volumen de agua.

b) ¿Es posible que el cuerpo *Y* y el cuerpo *Z* sean de la misma sustancia? Sí o no y por qué.

Solución:

Datos

Cuerpo *Y*:

$m = 150\ \text{g}$

$\rho = 2\ \text{g/cm}^3$

Cuerpo *Z*:

$m = 750\ \text{g}$

$\rho = 10\ \text{g/cm}^3$

Fórmula

$\rho = \frac{m}{V} \therefore V = \frac{m}{\rho}$

Sustitución y resultados

a) Volumen del cuerpo *Y*:

$$V = \frac{150\ \text{g}}{2\ \text{g/cm}^3} = 75\ \text{cm}^3$$

Volumen del cuerpo *Z*:

$$V = \frac{750\ \text{g}}{10\ \text{g/cm}^3} = 75\ \text{cm}^3$$

Como los dos cuerpos tienen el mismo volumen, ambos desplazarán la misma cantidad de agua.

b) No obstante que los dos cuerpos tienen el mismo volumen, de ninguna manera pueden ser de la misma sustancia, pues su densidad es diferente y como ya vimos, la densidad es una propiedad característica de cada sustancia.

Ejercicios propuestos

1 Calcular la densidad de un prisma rectangular cuyas dimensiones son: largo 6 cm, ancho 4 cm, alto 2 cm, y tiene una masa de 250 g; calcular el volumen que ocupará un cuerpo de la misma sustancia si tiene una masa de 100 g.

2 ¿Qué volumen debe tener un tanque para que pueda almacenar 2040 kg de gasolina cuya densidad es de 680 kg/m³?

3 Un camión tiene una capacidad para transportar 10 toneladas de carga. ¿Cuántas barras de hierro puede transportar si cada una tiene un volumen de 0.0318 m³ y la densidad del hierro es de 7860 kg/m³?

4 Si al medir la densidad de dos líquidos incoloros se encuentra que: **a)** sus densidades son diferentes, **b)** sus densidades son iguales. ¿Qué conclusiones se obtendrían en cada caso?

Punto de fusión

Es la temperatura a la cual una sustancia sólida comienza a licuarse estando en contacto íntimo con el estado líquido resultante que se encontrará en equilibrio termodinámico, es decir, a la misma temperatura. Cada sustancia funde y solidifica a la misma temperatura llamada punto de fusión (figura 6.17).

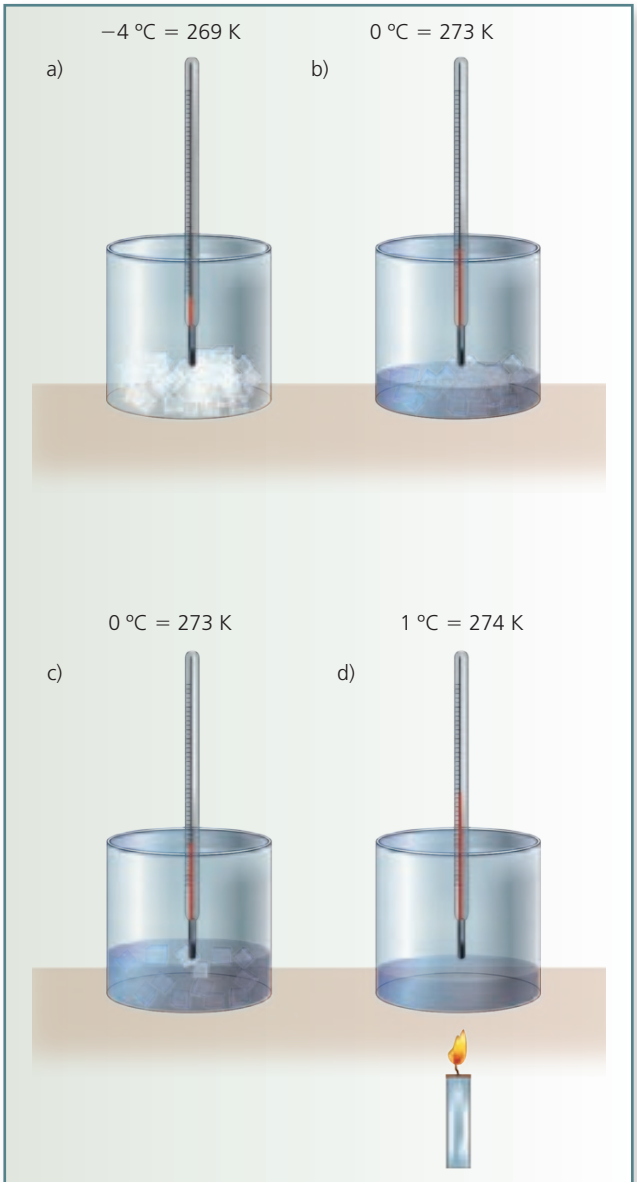


figura 6.17

a) Para determinar el punto de fusión del hielo primero se tritura y se coloca en un vaso. b) Al ascender lentamente la temperatura hasta los 0 °C a presión normal, el hielo comienza a fundirse. c) Mientras se funde el hielo la temperatura no sube, o sea que a 0 °C el calor transforma el hielo en agua. d) Una vez que se funde todo el hielo, el agua aumenta su temperatura si recibe más calor.

El punto de fusión también es una propiedad característica o intensiva de la materia, pues independientemente de la cantidad de sustancia que se tenga, el punto de fusión será el mismo a una presión determinada, trátese de 1 g o de toneladas.

Para que un sólido pase al estado líquido necesita absorber la energía necesaria para destruir la unión entre sus moléculas, por tanto, mientras dura la fusión no aumenta la temperatura. El punto de fusión de una sustancia se eleva si aumenta la presión, aunque en el agua al incrementar la presión disminuye su punto de fusión. A la presión de una atmósfera el hielo se funde, y el agua se congela a 0 °C. Para fundir el hielo o para congelar el agua sin cambio en la temperatura, se requiere un intercambio de 80 calorías por gramo. El calor requerido para este cambio en el estado físico del agua sin que exista ningún cambio en la temperatura recibe el nombre de calor latente de fusión.

El punto de fusión de una sustancia siempre será el mismo a una presión determinada (cuadro 6.2).

cuadro 6.2 Punto de fusión de algunas sustancias

Sustancia	Punto de fusión en K (a 1 atm)	Punto de fusión en °C (a 1 atm)
Hielo	273	0
Cloruro de sodio	1 074	801
Óxido de calcio	2 845	2 572
Calcio	1 125	852
Azufre	392	119
Oro	1 336	1 063
Hierro	1 812	1 539
Mercurio	925	652
Estaño	504	231

Punto de ebullición

A una presión determinada la temperatura a la cual un líquido comienza a hervir se le llama punto de ebullición. Éste se mantiene constante independientemente del calor suministrado al líquido, ya que si se aplica mayor cantidad de calor, habrá más desprendimiento de burbujas sin cambio de temperatura en el líquido. El punto de ebullición de un líquido cuya presión de vapor, al aumentar la temperatura, llega a ser igual a la presión a que se halla sometido el líquido, se caracteriza por el rápido cambio al estado gaseoso. Si el líquido se encuentra en un recipiente abierto, la presión que recibe es la atmosférica.

También el punto de ebullición es una propiedad característica o intensiva de la materia. Cada sustancia tiene su punto de ebullición particular a una determinada presión que la identifica y diferencia de las demás. Aunque el punto de ebullición de una sustancia es el mismo independientemente de su cantidad, es evidente que si

es mucha sustancia, debe suministrarse más calor para alcanzar la temperatura a la cual comienza a hervir.

Cuando se produce la ebullición se forman abundantes burbujas producidas en el seno (parte interna) del líquido, las cuales suben a la superficie y desprenden el vapor. Si se continúa calentando un líquido que está en ebullición, la temperatura ya no sube, sólo disminuye la cantidad de líquido y la del gas aumenta.

Al medir la temperatura del líquido en ebullición y la del gas, se observa que ambos estados tienen la misma temperatura, por eso se dice que **coexisten en equilibrio termodinámico**.

El punto de ebullición de una sustancia aumenta a medida que se eleva la presión recibida (figura 6.18).



figura 6.18

El punto de ebullición del agua varía con la presión. Al nivel del mar es de 100 °C = 373 K.

Las ollas de presión pueden cocer rápidamente los alimentos porque en su interior se alcanzan temperaturas mayores a 100 ºC, adentro de la olla es alta la presión y consecuentemente el agua hierve a más de 100 ºC.

Sin embargo, los alpinistas tienen serias dificultades para lograr la cocción de sus alimentos cuando se encuentran en las altas montañas, pues debido a la escasa presión atmosférica el agua hierve a temperaturas mucho menores de 100 ºC (figura 6.19).

A presión normal (1 atm = 760 mm de Hg), el agua hierve y el vapor se condensa a 100 ºC , esta temperatura recibe

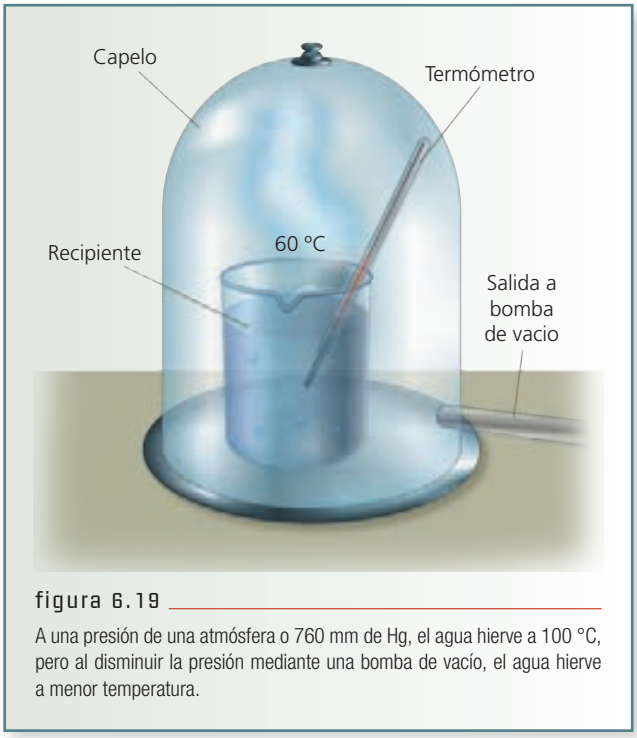


figura 6.19

A una presión de una atmósfera o 760 mm de Hg, el agua hierve a 100 °C, pero al disminuir la presión mediante una bomba de vacío, el agua hierve a menor temperatura.

el nombre de **punto de ebullición del agua**. Para que el agua pase de líquido a vapor o de vapor a líquido, sin variar su temperatura, necesita un intercambio de 540 calorías por gramo. El calor requerido para cambiar de estado sin variar de temperatura se llama calor latente de vaporización del agua. El calor de vaporización permanece en un gas hasta que se convierte en líquido al realizar su condensación. El vapor de agua, al estar en contacto con el cristal de una ventana fría, cede su calor latente de vaporización y se condensa en gotas calentando ligeramente el cristal.

El punto de ebullición de una sustancia tiene un valor igual a su punto de condensación. El punto de ebullición de algunas sustancias se encuentra en el cuadro 6.3.

cuadro 6.3 Puntos de ebullición de algunas sustancias a 1 atmósfera (760 mm de Hg)

Sustancia	Punto de fusión en K	Punto de fusión en °C
Agua	373	100
Alcohol etílico	351	78
Acetona	329.5	56.5
Ácido acético	391	118
Yodo	457	184
Bromo	331.8	58.8
Nitrógeno	77.2	−195.8

Un líquido pasa al estado gaseoso cuando alcanza su punto de ebullición, pero también lo hace a temperaturas menores si se evapora, porque algunas moléculas de los

líquidos se mueven con más velocidad debido a una mayor energía; cuando estas moléculas se encuentran cerca de la superficie libre del líquido, su energía les permite vencer las fuerzas de cohesión de las otras moléculas, escapan hacia el aire y producen el fenómeno llamado evaporación.

La evaporación de un líquido es más rápida si aumenta su temperatura, debido a que la energía cinética de las moléculas aumenta, escapando un mayor número de ellas. Mientras mayor es el área de la superficie libre de un líquido, mayor es el número de moléculas evaporadas.

Coeficiente de solubilidad de una sustancia en otra

Es la cantidad de soluto en gramos que satura a 100 gramos de disolvente a una temperatura dada.

Con el objetivo de poder estudiar esta propiedad es conveniente tomar en cuenta lo siguiente.

Solución

Es la mezcla homogénea de dos o más sustancias. Cada solución consta de dos partes: el solvente o disolvente y el soluto. El solvente es la sustancia que disuelve a otra. El soluto es la sustancia que se disuelve en el solvente. Un ejemplo es la sal cuando se disuelve en agua, ésta es el solvente y la sal el soluto (figura 6.20).

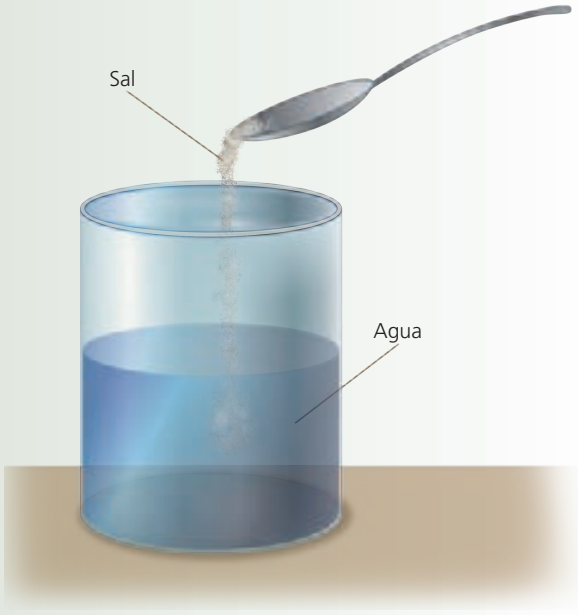


figura 6.20

Una solución consta de dos partes: el solvente o disolvente, que es la sustancia que disuelve a la otra (agua); y el soluto, que es la sustancia que se disuelve en el solvente o disolvente (sal).

Tipos de soluciones

a) Líquidas, comprenden las de sólido en líquido, tales son los casos de sal y agua o café soluble y agua, etc., líquido en líquido como el alcohol y agua; y la de gas en líquido, por ejemplo, el dióxido de carbono (CO_2) disuelto en agua, que disfruta en los refrescos fríos (figura 6.21).

b) Sólidas, comprenden las de sólido en sólido (como las aleaciones de cobre y níquel) y las de gas en sólido (como las de hidrógeno disuelto en paladio).

c) Gaseosas, comprenden las de gas en gas (como el gas húmedo de los pozos petroleros).



figura 6.21

El gas disuelto a presión en una bebida embotellada es el dióxido de carbono (CO_2) y es el que le da la característica refrescante a las bebidas gaseosas.

Concentración de las soluciones

La concentración está determinada por la masa del soluto contenida en una unidad de masa o de volumen de solvente. Con base en la concentración, se tiene una **solución saturada** cuando el solvente contiene la mayor cantidad de soluto que puede disolver a una temperatura y presión dadas; la **solución es sobresaturada** cuando existe una mayor concentración de soluto que la correspondiente a la saturación. Los conceptos de las soluciones concentradas y soluciones diluidas no están perfectamente definidos, pero se dice que es concentrada aquella solución cuya concentración se aproxima a la saturada, y diluida si su concentración es mucho menor a la saturada.

Factores que afectan la solubilidad de las sustancias

La solubilidad de una sustancia en otra depende de:

a) La semejanza en la composición y estructura química, sobre todo en los compuestos orgánicos.

b) El tamaño de las partículas, pues a menor tamaño es más rápida la disolución y es posible una mayor solubilidad.

c) La temperatura, ya que la solubilidad de un líquido en un líquido o de un sólido en un líquido aumenta al elevarse la temperatura. Se exceptúan de esta regla, entre otros, el acetato de calcio y el hidróxido de calcio, así como la solubilidad de un gas en un líquido, que disminuye al aumentar la temperatura.

d) La agitación, porque a mayor agitación mayor velocidad en la disolución.

e) La presión, influye notablemente en las soluciones de gases y líquidos.

El coeficiente de solubilidad de una sustancia es una propiedad característica, pues al fijar una masa de 100 g de disolvente puede determinarse la cantidad máxima de soluto a disolverse en él. De esta manera, para varios solutos es posible calcular su valor particular de coeficiente de solubilidad, el cual se definirá en términos de la cantidad de soluto que satura 100 g de disolvente a una determinada temperatura. Es común fijar un volumen de 100 cm^3 de disolvente en lugar de una masa de 100 g del mismo. Por tanto, el coeficiente de solubilidad sobre todo para sólidos disueltos en agua, también se expresa como la masa en gramos de soluto disuelta en 100 cm^3 de agua hasta saturarla, es decir, la máxima cantidad de soluto posible de disolver en 100 cm^3 de agua.

Actividad experimental 13

Propiedades características o intensivas de la materia

Objetivo

Determinar experimentalmente algunas de las propiedades características o intensivas de la materia, tales como la densidad de sólidos y líquidos, el punto de fusión de la cera y el punto de ebullición del agua.

Consideraciones teóricas

La **materia** es todo cuanto existe en el Universo y se halla constituida por partículas elementales, mismas que generalmente se encuentran agrupadas en átomos y en moléculas. La materia es indestructible y puede ser transformada en energía. De la misma manera, se puede crear materia a partir de energía radiante. Las propiedades de la materia se dividen en **generales y características**. Reciben el nombre de propiedades generales aquellas que presentan todos los cuerpos sin distinción; por tal motivo, estas propiedades no permiten diferenciar una sustancia de otra. A algunas de las propiedades generales de la materia también se les da el nombre de propiedades extensivas, porque su valor depende de la cantidad de materia. Tal es el caso de la masa, el peso, el volumen, la inercia y la energía. Las propiedades características permiten identificar a una sustancia de otra en virtud de que cada una de ellas tiene propiedades que la distinguen de las demás. Las propiedades características de la materia también reciben el nombre de **propiedades intensivas**, pues su valor es independiente de la cantidad de materia, por ejemplo, la densidad, el punto de fusión y el punto de ebullición, entre otros, cuyo valor es particular para cada sustancia, por lo cual la identifica y la diferencia.

La densidad o masa específica se define como el cociente que resulta de dividir la masa de una sustancia dada entre el volumen que ocupa. La expresión matemática para la densidad es: $\rho = \frac{m}{V}$. El punto de fusión es la temperatura a la cual una sustancia sólida comienza a licuarse estando en contacto íntimo con el estado líquido resultante. A una presión determinada, cada sustancia se funde y se solidifica a la misma temperatura, llamada punto de fusión. A una presión determinada, la temperatura a la cual un líquido comienza a hervir recibe el nombre de **punto de ebullición**.

Primera parte: densidad

Material empleado

Una balanza granataria, una probeta de 500 cm^3, una probeta de 10 cm^3, una regla graduada, algunos cuerpos sólidos regulares como: prismas rectangulares, cubos o esferas de hierro, aluminio, cobre, plomo, zinc, algunos cuerpos irregulares como anillos, aretes o piedras, agua, alcohol y aceite.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Determine la densidad de los cuerpos regulares que tenga disponibles. Para ello, mida su masa con la balanza granataria y después encuentre su volumen con la fórmula respectiva. En su cuaderno haga el cuadro 6.4 y anote en él la sustancia con la cual están fabricados los cuerpos y su densidad obtenida experimentalmente al dividir su masa entre su volumen.
2. Determine la densidad de los cuerpos sólidos irregulares que tenga. Para ello, mida su masa con la balanza granataria y determine su volumen con un método indirecto, el cual consiste en utilizar

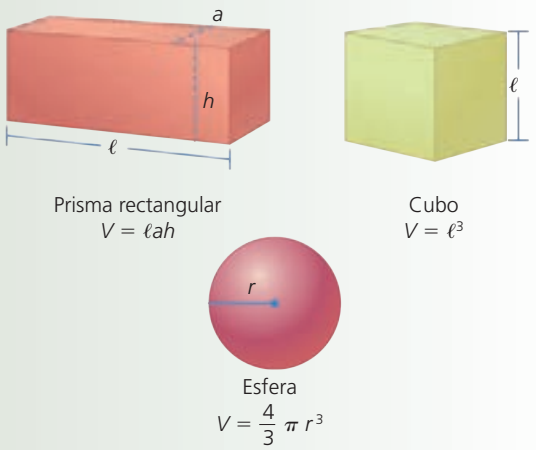


figura 6.22

Volumen de cuerpos regulares.

una probeta graduada con agua y medir el desplazamiento del líquido producido al introducir el cuerpo irregular en ella. Anote en su cuadro de datos la sustancia con la cual están elaborados los cuerpos irregulares y la densidad obtenida al dividir su masa entre su volumen.

3. Determine la densidad del agua. Para lograrlo, mida con la balanza granataria la masa de la probeta de 10 cm³ que utilizará en su experimento. Agréguele 10 cm³ de agua y vuelva a medir la masa de la probeta; al restarle a esta masa la de la probeta vacía, encontrará la masa de los 10 cm³ de agua. Anote en su cuadro de datos el valor de la densidad del agua obtenida al dividir su masa entre su volumen.

4. Determine la densidad del alcohol siguiendo los pasos para conocer la densidad del agua. Anote su valor en el cuadro de datos.

5. Determine la densidad del aceite repitiendo el paso 3. Anote su valor en el cuadro de datos.

cuadro 6.4 Densidad de algunos compuestos (experimental)

Sustancia	Masa (g)	Volumen (cm³)	$r = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$ (g/cm³)

Cuestionario

1. ¿Cuál de las sustancias que usó tiene mayor densidad y cuál menor densidad?
2. ¿Por qué decimos que la densidad es una propiedad característica de la materia?
3. ¿Qué sustancia tiene mayor densidad, el aceite o el agua?
4. Si mezclamos aceite y agua, y después dejamos reposar la mezcla, ¿cuál de las dos sustancias queda abajo y cuál arriba? Explique por qué sucede esta separación.
5. Si en lugar de tomar una muestra de 10 cm³ de agua, alcohol y aceite, se tomara una muestra de un litro, ¿variaría el valor de la densidad obtenida para cada uno de ellos? Justifique su respuesta.

Segunda parte: punto de fusión

Material empleado

Un soporte metálico, tela de alambre con centro de asbesto, una pinza universal, un anillo de hierro, un mechero de Bunsen, un vaso de precipitados, un tubo de ensayo grande con tapón de hule monohoradado (con un agujero), un termómetro, un cronómetro o reloj con segundero, agua y naftalina.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Monte un dispositivo como el mostrado en la figura 6.23.

2. Agregue naftalina hasta la tercera parte del tubo de ensayo e introduzca en él el tapón de hule con un termómetro previamente insertado, colóquelo

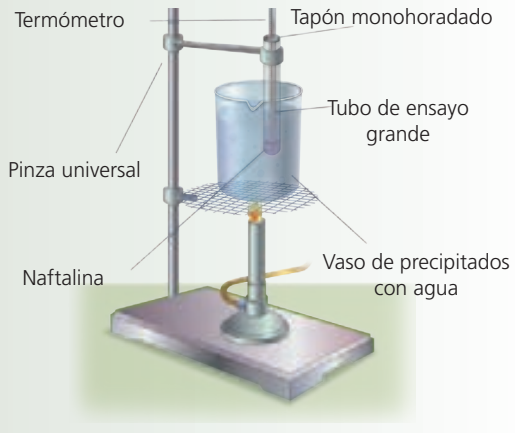


figura 6.23

Dispositivo para determinar el punto de fusión y solidificación.

de tal manera que pueda leer con facilidad la escala de temperatura.

3. Sumerja el tubo de ensayo en el vaso de precipitados con agua para calentarlo a baño María. Encienda su mechero de Bunsen y caliente el agua hasta fundir la naftalina contenida en el tubo de ensayo. Retire y apague su mechero.
4. Mida cada medio minuto la temperatura de la naftalina fundida mientras se va enfriando; copie y registre sus datos en el cuadro 6.5. Cuando la naftalina fundida empiece a solidificarse, registre el valor de esa temperatura y continúe con sus lecturas un mínimo de cuatro minutos después de que haya solidificado totalmente.

cuadro 6.5	Puntos de ebullición y solidificación de la naftalina (experimentales)
Tiempo (min)	Temperatura(°C)
0.0	
0.5	
1.0	
1.5	
(continuar el registro de temperatura cada medio minuto)	

Cuestionario

1. Con los datos obtenidos en el experimento, haga una gráfica de temperatura (eje de las *Y*) contra tiempo (eje de las *X*) y al final una los puntos obtenidos.
2. Observe la curva obtenida. ¿Existe en ella una sección horizontal? ¿Qué representa esa sección horizontal?
3. ¿Cuál es el punto de solidificación de la naftalina? ¿Cuál es el punto de fusión de la naftalina? ¿Son iguales los puntos de fusión y solidificación de una sustancia? Justifique su respuesta.
4. Defina el punto de fusión de una sustancia.
5. ¿Por qué es una propiedad característica el punto de fusión de una sustancia?
6. ¿Cómo influye la presión en el punto de fusión de una sustancia?

Tercera parte: punto de fusión

Material empleado

Un soporte metálico, tela de alambre con centro de asbesto, un anillo de hierro, una pinza universal, un termómetro, un vaso de precipitados, un mechero de Bunsen, un cronómetro o reloj con segundero y agua.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Monte un dispositivo como el mostrado en la figura 6.24. Agréguele agua al vaso de precipitados hasta la mitad.
2. Registre la temperatura inicial del agua en el vaso de precipitados. Copie y anote su valor en el cuadro 6.6 y considere un tiempo cero antes de iniciar su calentamiento.
3. Encienda el mechero de Bunsen e inicie el calentamiento del agua, mida su temperatura cada medio minuto y registre su valor en el cuadro de datos.
4. Cuando el agua comience a hervir anote la temperatura y continúe calentando después de que entre en ebullición. Registre la temperatura cada medio minuto y anote su valor. Hágalo por un tiempo mínimo de cuatro minutos. Apague su mechero.



figura 6.24
Dispositivo para determinar el punto de ebullición del agua.

cuadro 6.6	Puntos de ebullición del agua(experimental)
Tiempo (min)	Temperatura (°C)
0.0	
0.5	
1.0	
1.5	
(continuar el registro de temperatura cada 0.5 minutos)	

Cuestionario

1. Con los datos obtenidos en el experimento, haga una gráfica de temperatura contra tiempo y una los puntos obtenidos.
2. ¿A qué temperatura se registra el punto de ebullición del agua?
3. ¿Aumentó la temperatura del agua después de seguir calentándola y entrar en ebullición?
4. ¿Qué le sucede a un líquido cuando se sigue calentando después de su punto de ebullición?
5. ¿Cómo identifica el punto de ebullición del agua en su gráfica?
6. ¿Cómo varía el punto de ebullición de un líquido con la presión?
7. ¿Varía el punto de ebullición de un líquido si se tiene una mayor cantidad de él? Justifique su respuesta.
8. ¿Por qué el punto de ebullición de una sustancia es una propiedad característica? ¿Por qué se le llama también propiedad intensiva de la materia?
9. Defina el punto de ebullición de una sustancia.

Resumen

1. Todo lo que nos rodea es materia, sin embargo, dar una respuesta satisfactoria desde el punto de vista de la física a la interrogante: ¿qué es la materia? aún no es posible, pues por lo pronto lo único que se conoce de la materia es su estructura. La materia es indestructible y puede ser transformada en energía. De la misma manera, se puede crear materia a partir de energía radiante. De donde: $E = mc^2$. Podemos decir: la materia es todo lo que existe en el Universo y se halla constituido por partículas elementales, mismas que generalmente se encuentran agrupadas en átomos y moléculas.
2. *La Ley de la Conservación de la Masa o de la Materia* señala que: la materia no puede crearse o destruirse y únicamente se transforma. *La Ley de las Proporciones Definidas o Ley de Proust* dice que las sustancias específicas siempre contienen la misma proporción en masa de sus elementos.
3. Un *átomo* es la unidad más pequeña posible de un elemento químico.
4. Una *molécula* es la partícula más pequeña de una sustancia que mantiene las propiedades químicas específicas de la misma.
5. *La Ley de las Proporciones Múltiples* establece que: si dos elementos se combinan para formar una sustancia compuesta, la relación entre las masas de un elemento que se combinan con una masa constante de otro elemento puede expresarse en números enteros y pequeños.
6. *Cuerpo* es todo aquello que ocupa un lugar en el espacio. Una *sustancia* es cualquier tipo de materia que presenta características que la distinguen de otras. *Elemento* es una muestra homogénea de la materia, compuesta de átomos idénticos.
7. Mendeleiev ordenó todos los elementos químicos conocidos en su época en una tabla que recibe el nombre de *Tabla Periódica.* Actualmente, se conocen 109 elementos químicos.
8. Un átomo es tan pequeño que en una sola gota de agua hay más de mil trillones de átomos.

9. Experimentalmente se ha encontrado que 6.02×10^{23} átomos de un elemento químico cualquiera tienen una masa en gramos equivalente a la masa de un átomo en unidades de masa atómica. Al número 6.02×10^{23} se le denomina número de Avogadro.

10. Un *mol* es la masa molecular en gramos de cualquier especie química.

11. El *movimiento browniano* se refiere al movimiento de partículas sólidas contenidas en un líquido o en un gas, como resultado del movimiento caótico de las moléculas líquidas o gaseosas.

12. El *fenómeno de difusió*n se explica debido al movimiento caótico de las moléculas. Dicho movimiento se nota más en un gas.

13. La materia se presenta en cuatro estados de agregación molecular: *sólido*, si la energía cinética de las moléculas es menor que la energía potencial; *líquido*, si las energías cinética y potencial de sus moléculas son aproximadamente iguales; *gaseoso*, si la energía cinética de las moléculas es mayor que la energía potencial; *plasma*, denominado cuarto estado de la materia, es un gas altamente ionizado que se produce a temperaturas de más de 5 000 ºC, con lo cual la agitación térmica provoca que las moléculas se rompan y los átomos pierdan sus electrones. Este estado de la materia se presenta en las estrellas como el Sol o en la explosión de bombas termonucleares, así como en los relámpagos, ya que en su trayectoria el 20% de las moléculas de aire se ionizan.

14. Actualmente el hombre trata de obtener plasmas que por su alta temperatura provoquen las reacciones de fusión, las cuales consisten en que dos núcleos ligeros puedan vencer sus respectivas fuerzas repulsivas y se fundan formando un solo núcleo más pesado con desprendimiento de energía. Sin embargo, el problema fundamental es que no se ha encontrado ningún material que soporte tan altas temperaturas.

15. Puesto que la materia se considera eterna, independientemente de la existencia del hombre, la Ley de la Conservación de la Materia establece: *la materia no se crea ni se destruye, sólo se transforma.*

16. Las propiedades generales de la materia también reciben el nombre de *propiedades extensivas*, ya que su valor depende de la cantidad de materia, tal es el caso de la masa, el peso, el volumen, la inercia y la energía.

17. La materia presenta propiedades generales que cualquier cuerpo tiene y por lo mismo no permiten diferenciar una sustancia de otra; ejemplos de estas propiedades son: *Extensión*, porción de espacio ocupado por el cuerpo, también se le llama volumen. *Masa*, cantidad de materia que contiene un cuerpo. *Peso*, fuerza gravitacional que recibe la masa de un cuerpo. *Inercia,* oposición que presentan los cuerpos a variar su estado, ya sea de reposo o de movimiento. *Energía,* es una propiedad que caracteriza la interacción de los componentes de un sistema físico que tiene la capacidad de realizar un trabajo.

18. Las propiedades características de la materia también reciben el nombre de *propiedades intensivas,* porque su valor es independiente de la cantidad de materia. Tal es el caso de la densidad de cualquier sustancia como es el agua, en la cual su densidad será la misma para 2 cm^3 que para 10 litros o cualquier otra cantidad.

19. Las propiedades características permiten identificar una sustancia de otra. Se clasifican en: **a)** *Propiedades características físicas*, si la sustancia no cambia a otra nueva; **b)** *Propiedades características químicas*, se refieren al comportamiento de las sustancias al combinarse con otras, así como a los cambios en su estructura íntima. Algunas de las propiedades características físicas más importantes son: **a)** *Densidad o masa específica*, se define como el cociente que resulta de dividir la masa de una sustancia dada entre el volumen que ocupa. Su expresión matemática es: $\rho = \frac{m}{V}$. **b)** *Punto de fusión* es la temperatura a la cual una sustancia sólida comienza a licuarse. A una presión determinada, cada sustancia funde y solidifica a una misma temperatura llamada punto de fusión. **c)** *Punto de ebullición*, a una presión determinada, todo líquido calentado entra en ebullición a una temperatura fija que constituye su punto de ebullición. El punto de ebullición de una sustancia se eleva a medida que se eleva la presión recibida. El punto de ebullición de una sustancia tiene un valor igual a su punto de condensación. **d)** *Coeficiente de solubilidad de una sustancia en otra*, se define como la cantidad de sustancia en gramos que satura 100 gramos de solvente a una temperatura dada. La solubilidad de una sustancia en otra depende de: **a)** la semejanza en la composición y estructura química; **b)** el tamaño de las partículas; **c)** la temperatura; **d)** la agitación; **e)** la presión si se trata de gases y líquidos. La temperatura es el parámetro que más influye en la solubilidad de una sustancia en otra.

Autoevaluación

Escriba en su cuaderno las respuestas a las siguientes preguntas. Si se le presentan dudas al responder vuelva a leer la sección correspondiente del libro, la cual viene señalada al final de cada pregunta para su fácil localización.

1. ¿Por qué resulta difícil definir el concepto de materia? *(Introducción de la unidad 6)*
2. ¿Cómo define usted qué es la materia? *(Introducción de la unidad 6)*
3. ¿Cómo se relaciona la materia con la energía? *(Introducción de la unidad 6)*
4. Mencione las características de los constituyentes elementales de la materia. *(Sección 1)*
5. Por medio de un ejemplo explique la Ley de las Proporciones Definidas o Ley de Proust. *(Sección 1)*
6. Explique los postulados de la Teoría Atómica de Dalton. *(Sección 1)*
7. ¿Cómo está constituido un átomo y qué es una molécula? *(Sección 1)*
8. ¿Cómo puede demostrarse la Ley de las Proporciones Múltiples? *(Sección 1)*
9. ¿Es el viento un cuerpo? Sí o no y por qué. *(Sección 1)*
10. ¿Cómo le explicaría a alguien de qué tamaño es un átomo? *(Sección 1)*
11. ¿Qué significa el número de Avogadro? *(Sección 1)*
12. ¿Qué significa un gramo mol o simplemente un *mol*? *(Sección 1)*
13. ¿Con ejemplos de su entorno, explique cómo se interpreta el movimiento browniano y el fenómeno de difusión? *(Sección 2)*
14. Utilice ejemplos de su vida cotidiana, por medio de los cuáles explique los cuatro estados físicos de la materia y bajo qué circunstancias se presenta cada estado *(Sección 2)*
15. Enuncie la Ley de la Conservación de la Materia. *(Sección 1)*
16. Explique por qué algunas de las propiedades generales de la materia reciben el nombre de propiedades extensivas. *(Sección 3)*
17. Explique por qué a las propiedades características de la materia se les da el nombre de propiedades intensivas. *(Sección 4)*
18. ¿Qué propiedades reciben el nombre de generales? Utilice ejemplos de su entorno, para que describa como mínimo cuatro de ellas. *(Sección 3)*
19. ¿Qué se entiende por propiedades características de la materia? *(Sección 4)*
20. Explique por medio de un ejemplo de su vida cotidiana, qué es densidad o masa específica, cuál es su fórmula y unidades en el SI. *(Sección 4)*
21. Explique con un ejemplo, el punto de fusión de una sustancia. *(Sección 4)*
22. Explique con un ejemplo cotidiano, cuando un líquido entra en ebullición. *(Sección 4)*
23. Utilice un ejemplo de su vida cotidiana, para explicar el punto de ebullición de una sustancia y cómo varía si: **a)** aumenta la presión, **b)** disminuye la presión. *(Sección 4)*
24. ¿Cómo se define el coeficiente de solubilidad de una sustancia en otra? *(Sección 4)*
25. ¿Qué es una solución? ¿Cuántos tipos de soluciones hay? *(Sección 4)*
26. ¿Qué determina la concentración de una solución? ¿Qué es una concentración saturada, sobresaturada y diluida? *(Sección 4)*
27. Mencione los factores que afectan la solubilidad de las sustancias. *(Sección 4)*

Coevaluación

Instrucciones: Consolide su aprendizaje, para ello lea y conteste en una hoja las siguientes preguntas. Luego, intercambie con un(a) compañero(a) sus respuestas. Coméntenlas, pónganse de acuerdo y den respuestas comunes. Discútanlas con las demás parejas y enriquezcan sus conocimientos con las aportaciones de todos.

1. ¿Por qué un átomo es considerado principalmente como un espacio vacío?
2. ¿Por qué no es posible ver a simple vista un átomo?
3. ¿Por qué cuando se agrega una gota de tinta en un vaso con agua, al transcurrir el tiempo toda el agua está teñida?
4. En el vacío el agua hierve de manera espontánea. ¿Puede lograrse la cocción de un huevo en esa agua en ebullición? Sí o no. ¿Por qué?

5 Un automóvil se comprime con una prensa para convertirla en chatarra.

a) ¿Cambia su masa?

b) ¿Cambia su peso?

Justifique sus respuestas.

6 Explique la causa de que se forme un rocío alrededor de una lata de refresco cuando se saca del refrigerador.

Glosario

Átomo

Es la unidad más pequeña posible de un elemento químico.

Coeficiente de solubilidad

Es la cantidad de soluto en gramos que satura a 100 gramos de disolvente a una temperatura dada.

Densidad o masa específica

Es el cociente que resulta de dividir la masa de una sustancia dada entre el volumen que ocupa.

Elasticidad

Propiedad de los cuerpos de recuperar su forma original una vez que desaparece la fuerza que ocasiona la deformación.

Energía

Es la propiedad que caracteriza la interacción entre los componentes de un sistema físico.

Inercia

Es la oposición que presentan los cuerpos a variar su estado, ya sea de reposo o de movimiento.

Masa

Es la cantidad de materia contenida en un cuerpo.

Materia

Es todo cuanto existe en el universo y se halla construida por partículas elementales, mismas que generalmente se encuentran agrupadas en átomos y en moléculas.

Mezcla

Se obtienen cuando se unen en cualquier proporción dos o más sustancias que conservarán cada una sus propiedades físicas y químicas, es decir, al formar la mezcla no se combinan químicamente.

Mol

Unidad de medida aceptada por el Sistema Internacional para medir la cantidad de sustancia. Un mol de cualquier especie química ya sea atómica, iónica o molecular, contiene 6.02×10^{23} partículas individuales.

Molécula

Es la partícula más pequeña de una sustancia que mantiene las propiedades químicas de dicha sustancia.

Peso

Representa la fuerza gravitacional con la que es atraída la masa de un cuerpo.

Plasma

Es el cuarto estado de la materia. Se produce al aumentar la temperatura a más de 5 000 °C. Bajo estas condiciones las moléculas se rompen, los átomos chocan en forma violenta y pierden sus electrones, lo cual da origen a un gas extraordinariamente ionizado, mezcla de iones y electrones. Este estado sólo se presenta en las estrellas como el Sol, en la explosión de bombas termonucleares y en relámpagos.

Propiedades generales o extensivas de la materia

Son las que dependen de la cantidad de materia, por tal motivo no posibilitan diferenciar una sustancia de otra, tal es el caso de la masa, el peso, el volumen, la inercia y la energía.

Propiedades particulares o intensivas de la materia

Posibilitan identificar a una sustancia de otra pues cada una tiene propiedades que la distinguen de las demás. Estas propiedades son independientes de la cantidad de materia, tal es el caso de la densidad, el punto de fusión, el punto de ebullición o el coeficiente de solubilidad, entre otras.

Punto de ebullición

Es la temperatura en la cual un líquido comienza a hervir a una presión determinada.

Punto de fusión

Es la temperatura en la cual una sustancia sólida comienza a licuarse.

UNIDAD 7

CONTENIDO

- Esfuerzo y deformación, tensión y compresión unitarias
- Ley de Hooke
- Módulo de elasticidad
- Módulo de Young
- Límite elástico
- Actividad experimental
- Resumen
- Autoevaluación
- Coevaluación
- Glosario

Elasticidad **es la propiedad que tienen los cuerpos de recuperar su tamaño y forma original después de ser comprimidos o estirados,** una vez que desaparece la fuerza que ocasiona la deformación. Cuando una fuerza actúa sobre un cuerpo provoca un esfuerzo o tensión en el interior del cuerpo ocasionando su deformación.

En algunos materiales como los metales, la deformación es directamente proporcional al esfuerzo. Sin embargo, si la fuerza es mayor a un determinado valor, el cuerpo queda deformado permanentemente. El máximo esfuerzo que un material puede resistir antes de quedar permanentemente deformado se designa con el nombre de **límite de elasticidad**.

El límite de elasticidad de un cuerpo está determinado por su estructura molecular. La distancia que existe entre las moléculas del cuerpo cuando está sometido a un esfuerzo, está en función del equilibrio entre las fuerzas moleculares de atracción y repulsión. Pero si se le aplica una fuerza suficiente para provocar una tensión en el interior del cuerpo, las distancias entre las moléculas varían y el cuerpo se deforma. Cuando las moléculas se encuentran firmemente unidas entre sí, la deformación es pequeña no obstante que el cuerpo esté sometido a un esfuerzo considerable. Sin embargo, si las moléculas se encuentran poco unidas, al recibir un esfuerzo pequeño le puede causar una **deformación** considerable.

Algunos ejemplos de cuerpos elásticos son: resortes, ligas, bandas de hule, pelotas de tenis, pelotas de futbol y trampolines. **La deformación de un cuerpo elástico es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza que recibe.** En otras palabras, si la magnitud de la fuerza aumenta al doble, la deformación también aumenta al doble; si la magnitud de la fuerza aumenta al triple, la deformación se triplica, y si la magnitud de la fuerza disminuye a la mitad, la deformación se reduce a la mitad; por ello se dice que entre estas dos variables existe una **relación directamente proporcional**.

Los sólidos tienen **elasticidad de alargamiento, de esfuerzo cortante y de volumen;** mientras los líquidos y gases **sólo la tienen de volumen.** En esta sección estudiaremos la elasticidad de alargamiento en los sólidos a fin de conocer las tensiones y los efectos que se producen sobre alambres, varillas, barras, resortes y tendido de cables. Determinando las tensiones máximas que pueden soportar los materiales, así como las deformaciones que sufren, pueden construirse, con mucho margen de seguridad, puentes, soportes, estructuras, aparatos médicos, elevadores y grúas, entre otros.



Elasticidad

1 Esfuerzo y deformación, tensión y compresión unitarias

Cuando una fuerza se aplica a un cuerpo le produce una deformación. El esfuerzo origina la deformación elástica.

Existen tres tipos de esfuerzo:

Esfuerzo de tensión

Se presenta cuando sobre un cuerpo actúan fuerzas de igual magnitud, pero de sentido contrario que se alejan entre sí (figura 7.1).

Esfuerzo de compresión

Ocurre cuando sobre un cuerpo actúan fuerzas iguales en magnitud, pero de sentido contrario que se acercan entre sí (figura 7.2).

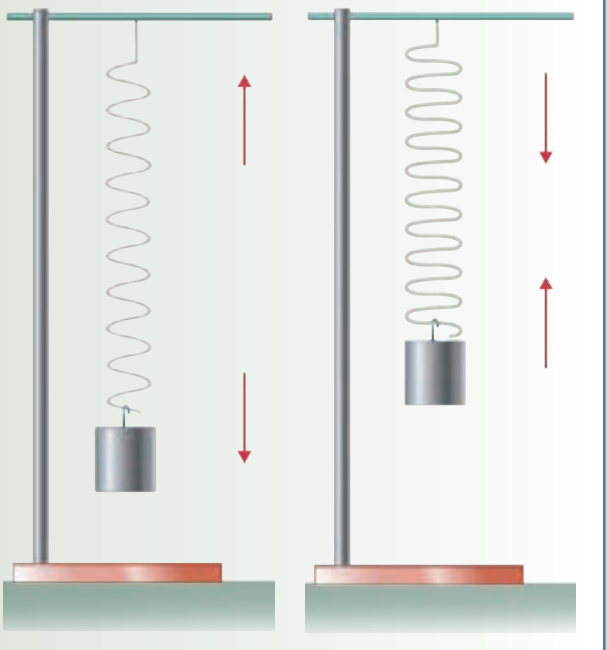


figura 7.1
Esfuerzo de tensión.

figura 7.2
Esfuerzo de compresión.

Esfuerzo de corte

Se presenta cuando sobre un cuerpo actúan fuerzas colineales de igual o diferente magnitud que se mueven en sentidos contrarios (figura 7.3).

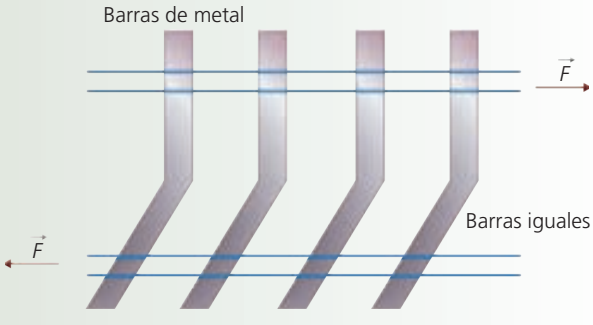


figura 7.3
Esfuerzo de corte.

La elasticidad de alargamiento es característica únicamente de los sólidos. Así pues, **la magnitud del esfuerzo longitudinal** (en el sentido de la longitud) de alambres, varillas, barras, resortes o cables, como consecuencia de un esfuerzo de tensión o de compresión, se puede cuantificar por medio de la relación entre la magnitud de la fuerza aplicada a un cuerpo sólido y el área sobre la que actúa. De donde:

$$E = \frac{F}{A}$$

donde: E = magnitud del esfuerzo longitudinal en N/m^2 = pascal

F = magnitud de la fuerza aplicada en newtons (N)

A = área de la sección transversal en metros cuadrados (m^2)

La deformación longitudinal, también llamada tensión unitaria (alargamiento de un cuerpo) o compresión unitaria (acortamiento de un cuerpo), se determina mediante la relación entre la variación en la longitud de un cuerpo y su longitud original. O bien, la tensión o compresión unitarias representan el alargamiento o acortamiento de un cuerpo por cada unidad de longitud. Matemáticamente se expresa así:

$$D = \frac{\Delta \ell}{\ell}$$

donde: D = deformación longitudinal, también llamada tensión o compresión unitaria (adimensional)

$\Delta \ell$ = variación en la longitud del cuerpo; puede ser alargamiento o acortamiento de la longitud, expresada en metros (m)

ℓ = longitud original del cuerpo antes de recibir un esfuerzo, expresada en metros (m)

2 Ley de Hooke

Las deformaciones elásticas, como alargamientos, compresiones, torsiones y flexiones, fueron estudiadas por el físico inglés Robert Hooke (1635-1703), quien enunció la siguiente ley:

Mientras no se exceda el límite de elasticidad de un cuerpo, la deformación elástica que sufre es directamente proporcional al esfuerzo recibido (figura 7.4).

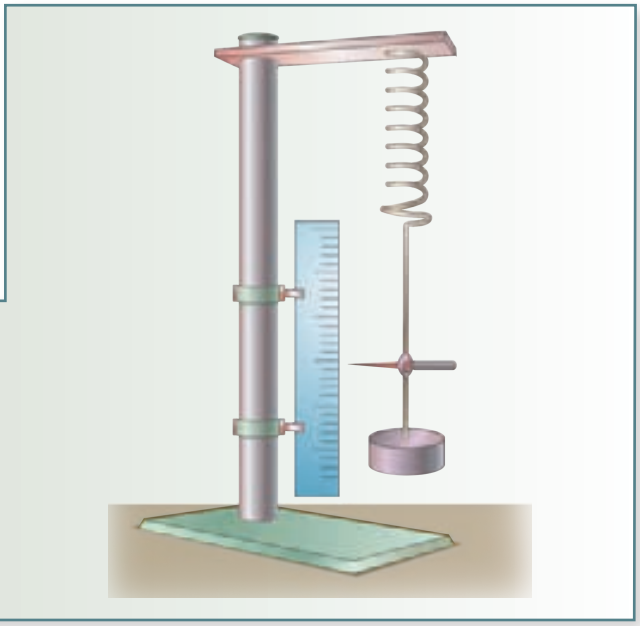


figura 7.4

Con un resorte y una regla, como se aprecia en la figura, se comprueba la Ley de Hooke. Al poner una pesa con una magnitud de 20 $\vec{g}$ el resorte se estirará 1 cm, pero si la pesa se cambia por una con una magnitud de 40 $\vec{g}$ el resorte se estirará 2 cm, y así sucesivamente.

3 Módulo de elasticidad

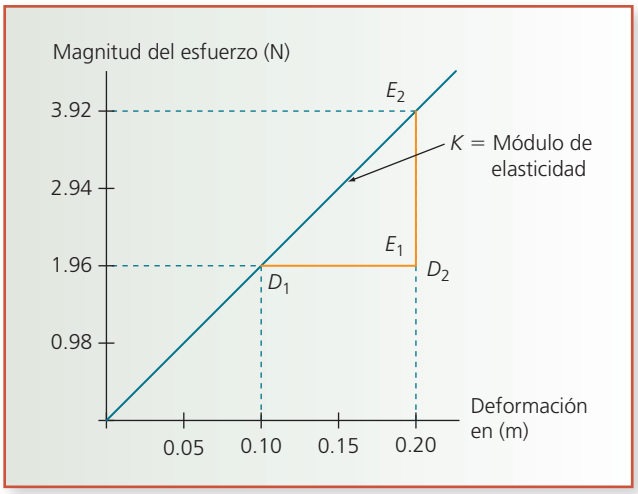
Módulo de elasticidad es el cociente entre la magnitud del esfuerzo (fuerza) aplicada a un cuerpo y la deformación producida en dicho cuerpo; su valor es constante siempre que no exceda el límite elástico del cuerpo. También recibe el nombre de constante del resorte o coeficiente de rigidez del cuerpo sólido del que se trate. Por tanto:

$$K = \text{Módulo de elasticidad} = \frac{\text{Magnitud del esfuerzo}}{\text{Deformación}}$$

Por ejemplo, al colocar diferentes magnitudes de pesos (esfuerzos) en un resorte, sus alargamientos (deformaciones) fueron:

Magnitud de esfuerzo en N	Deformación en m
0.98	0.05
1.96	0.10
2.94	0.15
3.92	0.20
4.90	0.25

Graficar la magnitud del esfuerzo aplicado en función de la deformación que se produce y encontrar la magnitud del módulo de elasticidad del resorte, mediante el cálculo de la pendiente de la recta obtenida al unir los puntos.



$$K = \frac{\text{Magnitud del esfuerzo}}{\text{Deformación}} = \frac{\Delta E}{\Delta D} = \frac{E_2 - E_1}{D_2 - D_1}$$

$$K = \frac{3.92\ \text{N} - 1.96\ \text{N}}{0.20\ \text{m} - 0.10\ \text{m}} = \frac{1.96\ \text{N}}{0.10\ \text{m}} = 19.6\ \text{N/m}$$

El resultado indica que al aplicar un esfuerzo con una magnitud de 19.6 N, el resorte sufre una deformación de 1 m.

4 Módulo de Young

Cuando en la expresión matemática del módulo de elasticidad se sustituyen las ecuaciones de la magnitud del esfuerzo longitudinal y la deformación longitudinal, se obtiene el llamado módulo de Young (Y). De donde:

$$Y = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta \ell}{\ell}} \therefore Y = \frac{F\,\ell}{A\,\Delta\ell}$$

El módulo de Young es una propiedad característica de las sustancias sólidas (cuadro 7.1). Conocer su valor nos permitirá calcular la deformación que sufrirá un cuerpo sólido al someterse a un esfuerzo.

cuadro 7.1 Módulo de Young y límite elástico para algunos materiales

Material	Módulo de Young (Y) N/m²	Límite elástico (Le) N/m²
Aluminio en lámina	7×10^{10}	1.4×10^{8}
Acero templado	20×10^{10}	5×10^{8}
Latón	9×10^{10}	3.8×10^{8}
Cobre	12.5×10^{10}	1.6×10^{8}
Hierro	8.9×10^{10}	1.7×10^{8}
Oro	8×10^{10}	

5 Límite elástico

El límite elástico representa la magnitud del esfuerzo máximo que un cuerpo puede resistir sin perder sus propiedades elásticas (figura 7.5), se calcula con la siguiente expresión:

$$Le = \frac{Fm}{A}$$

donde: Le = límite elástico en N/m²

Fm = magnitud de la fuerza máxima en newtons (N)

A = área de la sección transversal en metros cuadrados (m²)



figura 7.5

Los puentes, elevadores, grúas, etc., se construyen al considerar las tensiones o esfuerzos máximos a los que pueden estar sometidos.

Resolución de problemas de módulo de elasticidad, módulo de Young y límite elástico

1 Una barra metálica de 2 m de largo recibe una fuerza que le provoca un alargamiento o variación en su longitud de 0.3 cm. ¿Cuál es la tensión unitaria o deformación lineal?

Solución:

Datos

$\ell = 2$ m

Fórmula

$$D = \frac{\Delta \ell}{\ell}$$

$\Delta \ell = 0.3 \text{ cm} = 3 \times 10^{-3} \text{ m}$

$D = ?$

Sustitución y resultado

$$D = \frac{3 \times 10^{-3} \text{ m}}{2 \text{ m}} = 1.5 \times 10^{-3}$$

2 Un resorte de 0.2 m de longitud es comprimido por una fuerza que lo acorta a 0.12 m. Calcular la compresión unitaria o deformación lineal.

Solución:

Datos

$\ell_i = 0.2 \text{ m}$

$\ell_f = 0.12 \text{ m}$

$D = ?$

Fórmulas

$\Delta \ell = \ell_f - \ell_i$

$D = \dfrac{\Delta \ell}{\ell}$

Sustitución y resultado

$$\Delta \ell = 0.12 \text{ m} - 0.2 \text{ m} = -0.08 \text{ m}$$

$$D = \frac{-0.8 \text{ m}}{0.2 \text{ m}} = -0.4$$

Nota: El signo (−) indica acortamiento en la longitud.

3 El módulo de elasticidad de un resorte es igual a 120 N/m. ¿Cuál será su deformación al recibir un esfuerzo cuya magnitud es de 8 N?

Solución:

Datos

$K = 120 \text{ N/m}$

$D = ?$

$E = 8 \text{ N}$

Fórmula

$K = \dfrac{E}{D} \therefore D = \dfrac{E}{K}$

Sustitución y resultado

$$D = \frac{8 \text{ N}}{120 \text{ N/m}} = 0.066 \text{ m}$$

4 Calcular el módulo de elasticidad de un resorte, al cual se le aplica un esfuerzo cuya magnitud es de 600 N y se deforma 20 cm.

Solución:

Datos

$K = ?$

$E = 600 \text{ N}$

$D = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$

Fórmula

$K = \dfrac{E}{D}$

Sustitución y resultado

$$K = \frac{600 \text{ N}}{0.2 \text{ m}} = 3\,000 \text{ N/m}$$

5 Calcular la magnitud de la fuerza máxima que puede soportar una varilla de acero templado si el área de su sección transversal es de 3 cm^2.

Solución:

Datos

$Fm = ?$

$Le = 5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

(leído en el cuadro 7.1)

$A = 3 \text{ cm}^2$

Fórmulas

$Le = \dfrac{Fm}{A}$

$\therefore Fm = Le\, A$

Transformación de unidades

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} \therefore$$

$$(1 \text{ m})^2 = (100 \text{ cm})^2 = 1 \times 10^4 \text{ cm}^2$$

$$3 \text{ cm}^2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{1 \times 10^4 \text{ cm}^2} = 3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Sustitución y resultado

$Fm = 5 \times 10^8 \text{ N/m}^2 \times 3 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 15 \times 10^4 \text{ N}$

El resultado muestra que no podrá soportar un peso cuya magnitud sea mayor a 15×10^4 N.

6 Una varilla de hierro de 1.2 m de longitud y 2.46 cm^2 de área de su sección transversal se suspende del techo; si soporta una masa de 400 kg en su extremo inferior, ¿cuál será su alargamiento?

Solución:

Datos

$\ell = 1.2 \text{ m}$

$A = 2.46 \text{ cm}^2$

$m = 400 \text{ kg}$

$\Delta \ell = ?$

$Y = 8.9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

(leído en el cuadro 7.1)

Fórmulas

$P = mg = F$

$Y = \dfrac{F \ell}{A \Delta \ell}$

$\therefore \Delta \ell = \dfrac{F \ell}{YA}$

Transformación de unidades

$$2.46 \text{ cm}^2 = \frac{1 \text{ m}^2}{1 \times 10^4 \text{ cm}^2} = 2.46 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Sustitución y resultado

$$F = mg = 400 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 3.92 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\Delta \ell = \frac{3.92 \times 10^3 \text{ N} \times 1.2 \text{ m}}{8.9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2 \times 2.46 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 2.1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

7 Un alambre de acero templado de 3 mm de diámetro soporta un peso cuya magnitud es de 250 N. Calcular:

a) ¿Qué magnitud de esfuerzo de tensión soporta?

b) ¿Cuál es la magnitud del peso máximo que puede resistir sin exceder su límite elástico?

Solución:

Datos

$\varnothing = 3\text{ mm} \therefore r = 1.5\text{ mm}$

$P = F = 250\text{ N}$

a) $E = ?$

b) $Fm = ?$

$Le = 5 \times 10^8\text{ N/m}^2$ (leído en el cuadro 7.1)

Fórmulas

a) $E = \dfrac{F}{A}$

b) $Le = \dfrac{Fm}{A} \therefore Fm = LeA$

Transformación de unidades

$$1\text{ m} = 1\,000\text{ mm} \therefore$$

$$(1\text{ m})^2 = (1\,000\text{ mm})^2 = 1 \times 10^6\text{ mm}^2$$

Sustitución y resultados

$$A = 3.14\ (1.5\text{ mm})^2 = 7.065\text{ mm}^2$$

$$7.065\text{ mm}^2 \times \frac{1\text{ m}^2}{1 \times 10^6\text{ mm}^2} = 7.065 \times 10^{-6}\text{ m}^2$$

a) $E = \dfrac{250\text{ N}}{7.065 \times 10^{-6}\text{ m}^2} = 35.38 \times 10^6\text{ N/m}^2$

b) $Fm = LeA$

$= 5 \times 10^8\text{ N/m}^2 \times 7.065 \times 10^{-6}\text{ m}^2$

$= 35.3 \times 10^2\text{ N}$

8 ¿Cuál será la magnitud de la carga máxima que puede aplicársele a un alambre de cobre de diámetro igual a 0.45 cm para no rebasar su límite elástico? Encuentre también el alargamiento del alambre si se le aplica la carga máxima y tiene una longitud inicial de 90 cm.

Solución:

Datos

$Fm = ?$

$\varnothing = 0.45\text{ cm} \therefore r = 0.225\text{ cm}$

$\Delta\ell = ?$

$\ell = 90\text{ cm} = 0.9\text{ m}$

$Y = 12.5 \times 10^{10}\text{ N/m}^2$

$Le = 1.6 \times 10^8\text{ N/m}^2$

(los datos Y y Le son leídos en el cuadro 7.1)

Fórmulas

$A = \pi r^2$

$Le = \dfrac{Fm}{A} \therefore Fm = LeA$

$Y = \dfrac{F\ell}{A\Delta\ell} \therefore \Delta\ell = \dfrac{F\ell}{YA}$

Sustitución y resultados

$A = \pi r^2 = 3.14\ (2.25 \times 10^{-3}\text{ m})^2$

$= 15.9 \times 10^{-6}\text{ m}^2$

$Fm = LeA$

$= 1.6 \times 10^8\text{ N/m}^2 \times 15.9 \times 10^{-6}\text{ m}^2$

$= 25.44 \times 10^2\text{ N}$

$\Delta\ell = \dfrac{F\ell}{YA}$

$= \dfrac{25.44 \times 10^2\text{ N} \times 0.9\text{ m}}{12.5 \times 10^{10}\text{ N/m}^2 \times 15.9 \times 10^{-6}\text{ m}^2}$

$= 1.152 \times 10^{-3}\text{ m}$

Ejercicios propuestos

1 Un resorte de 10 cm de longitud recibe una magnitud de fuerza que lo estira hasta medir 15 cm. ¿Cuál es la magnitud de la tensión unitaria o deformación lineal?

2 Una cierta magnitud de fuerza comprime un resorte de 0.1 m, acortando su longitud a 0.07 m. Calcular la compresión unitaria o deformación lineal.

3 Al colocarle diferentes magnitudes de pesos a un resorte y medir sus alargamientos, se encontraron los siguientes datos:

Magnitud del esfuerzo en N	Deformación en m
10	0.01
20	0.02
30	0.03
40	0.04

Grafique la magnitud del esfuerzo en función de la deformación y encuentre el módulo de elasticidad del resorte mediante el cálculo de la pendiente de la curva obtenida al unir los puntos.

4 Determinar el módulo de elasticidad de un resorte si al recibir un esfuerzo cuya magnitud es de 450 N se deforma 35 cm.

5. Un resorte, cuyo módulo de elasticidad es de 50 N/m, recibe un esfuerzo con una magnitud de 18 N. ¿Cuál es su deformación?

6. El área de la sección transversal de una varilla de cobre es de 4.5 cm^2. ¿Cuál es la magnitud del peso o fuerza máxima que puede soportar? Consulte el límite de elasticidad en el cuadro 7.1.

7. Un alambre de aluminio de 150 cm de longitud y 2.46 cm^2 de área de su sección transversal se suspende del techo. ¿Qué magnitud de peso soporta en su extremo inferior si sufre un alargamiento de 0.5×10^{-4} m? Dar el resultado en newtons. Consulte el cuadro 7.1 de módulos de Young.

8. Un alambre de hierro de 5 mm de diámetro soporta un peso cuya magnitud es de 180 N. Calcular:

   a) ¿Qué magnitud de esfuerzo de tensión soporta?

   b) ¿Cuál es la magnitud del peso que puede resistir sin exceder su límite elástico? Dar los resultados en newtons.

   Consulte el cuadro 7.1 del módulo de Young y límite elástico.

9. Calcule la magnitud de la carga máxima que se le puede aplicar a un alambre de acero templado de 1.8 cm de diámetro para no rebasar su límite elástico; determine también el alargamiento que sufrirá si se le aplica la carga máxima calculada y tiene una longitud inicial de 1.2 m. Exprese sus resultados en el Sistema Internacional. Consulte el módulo de Young y el límite de elasticidad en el cuadro 7.1.

Actividad experimental 14

Nota: Se sugiere realizar la actividad experimental 1 (obtención de una ley física), que se encuentra al final de la unidad 1 de este texto, si aún no se lleva a cabo en el laboratorio. En caso de haberse realizado, repasar el desarrollo y las preguntas formuladas.

Resumen

1. *Elasticidad* es la propiedad que tienen los cuerpos de recuperar su forma original una vez que desaparece la fuerza que ocasiona su deformación. Dentro de los límites de elasticidad, los sólidos tienen elasticidad de alargamiento, de esfuerzo cortante y de volumen; mientras los líquidos sólo tienen elasticidad de volumen. Al conocer las tensiones y los efectos que se producen sobre alambres, varillas, barras, resortes y tendido de cables, se pueden construir, con mucho margen de seguridad, puentes, soportes, estructuras, aparatos médicos, elevadores y grúas, entre otros.

2. *El esfuerzo* origina una deformación elástica. Existen tres tipos de esfuerzo: de tensión, de compresión y de corte. El esfuerzo longitudinal se determina mediante la relación entre la magnitud de la fuerza aplicada a un cuerpo y el área sobre la que actúa: $E = F/A$. La tensión o compresión unitarias representan el alargamiento o acortamiento de un cuerpo por cada unidad de longitud; también se les llama deformación longitudinal: $D = \Delta \ell / \ell$

3. *La Ley de Hooke* dice: la deformación elástica de un cuerpo es directamente proporcional al esfuerzo recibido.

4. *El cociente* entre la magnitud del esfuerzo aplicado y la deformación producida en un cuerpo es constante, siempre que no se exceda el límite elástico del cuerpo. Esa constante recibe el nombre de *módulo de elasticidad*. K = módulo de elasticidad = esfuerzo/deformación.

5. Cuando en el módulo de elasticidad se sustituyen las ecuaciones de la magnitud del esfuerzo y la deformación longitudinales se obtiene el llamado *módulo de Young*: $Y = F\ell / A\ \Delta\ell$. El módulo de Young es una propiedad característica de las sustancias sólidas. Conocer su valor facilitará calcular la deformación que sufrirá un cuerpo al someterse a un esfuerzo.

6. El *límite elástico* representa la magnitud del esfuerzo máximo que un cuerpo puede resistir sin perder sus propiedades elásticas: $Le = Fm/A$.

Autoevaluación

Escriba en su cuaderno las respuestas a las siguientes preguntas. Si se le presentan dudas al responder vuelva a leer la sección correspondiente del libro, la cual viene señalada al final de cada pregunta para su fácil localización.

1. Utilice un ejemplo de su vida cotidiana para que describa el concepto de elasticidad. *(Introducción de la unidad 7)*
2. Describa con ejemplos de su entorno, cuántos tipos de elasticidad hay en los sólidos y cuál es el más importante y por qué. *(Introducción de la unidad 7)*
3. ¿Cómo se denomina a la magnitud de la fuerza que provoca una deformación? *(Sección 1)*
4. Diga cuántos tipos de esfuerzo hay y explíquelos mediante ejemplos observables en el entorno. *(Sección 1)*
5. ¿Cómo se calcula el esfuerzo longitudinal? *(Sección 1)*
6. ¿Qué se entiende por: **a)** tensión unitaria, **b)** compresión unitaria? ¿De qué otra manera se les llama? *(Sección 1)*
7. Enuncie la Ley de Hooke. *(Sección 2)*
8. Explique por medio de un ejemplo qué se entiende por módulo de elasticidad. *(Sección 3)*
9. ¿Cómo se obtiene la expresión matemática del módulo de Young? *(Sección 4)*
10. ¿Para qué sirve conocer el módulo de Young de algunos materiales sólidos? *(Sección 4)*
11. Explique qué se entiende por límite elástico y cómo se calcula. *(Sección 5)*

Coevaluación

Instrucciones: Consolide su aprendizaje, para ello lea y conteste en una hoja las siguientes preguntas. Luego, intercambie con un(a) compañero(a) sus respuestas. Coméntenlas, pónganse de acuerdo y den respuestas comunes. Discútanlas con las demás parejas y enriquezcan sus conocimientos con las aportaciones de todos.

1. ¿Cómo demuestra que una pelota de voleibol es elástica?
2. Cite un objeto de su entorno que sea inelástico y explique por qué.
3. A un resorte de 20 cm de longitud se le aplica una fuerza de 100 N por medio de una pesa suspendida en su extremo inferior que le produce un alargamiento de 0.02 cm. ¿Qué sucederá con el alargamiento del resorte si se le cuelga la misma pesa, pero se disminuye su longitud al cortarlo a la mitad?

Glosario

Elasticidad

Propiedad que tienen los cuerpos de recuperar su tamaño y forma original después de ser comprimidos o estirados.

Ley de Hooke

Mientras no se exceda el límite de elasticidad de un cuerpo, la deformación elástica que sufre es directamente proporcional al esfuerzo recibido.

Límite elástico

Es el esfuerzo máximo que un cuerpo puede resistir sin perder sus propiedades elásticas.

Módulo de elasticidad

Es el cociente entre la magnitud del esfuerzo (fuerza) aplicada a un cuerpo y la deformación producida en dicho cuerpo. Su valor es constante, siempre que no exceda el límite elástico del cuerpo.

UNIDAD 8

CONTENIDO

- Características de los líquidos
- Densidad y peso específico
- Presión
- Principio de Pascal
- Principio de Arquímedes y flotación de los cuerpos
- Actividad experimental 16: *Principio de Pascal y principio de Arquímedes*
- Resumen
- Autoevaluación
- Coevaluación
- Glosario

La hidráulica es la parte de la Física que estudia la **mecánica de los fluidos**; analiza las leyes que rigen el movimiento de los líquidos y las técnicas para el mejor aprovechamiento de las aguas. **La hidráulica se divide en dos partes: la hidrostática**, encargada de lo relacionado con los líquidos en reposo, y la **hidrodinámica**, que estudia el comportamiento de los líquidos en movimiento. La hidráulica se fundamenta en las siguientes consideraciones: los líquidos son isótropos, es decir, manifiestan las mismas propiedades físicas en todas las direcciones; son incompresibles y totalmente fluidos; circulan en régimen permanente toda vez que sus moléculas atraviesan una sección de tubería a la misma magnitud de velocidad y de manera continua, porque las moléculas en íntimo contacto transmiten íntegramente de una a otra las presiones que reciben. Mediante el cálculo matemático, el diseño de modelos a pequeña escala y la experimentación con ellos es posible determinar las características de construcción que deben tener las presas, puertos, canales, tuberías y las máquinas hidráulicas, como el gato y la prensa. En esta unidad nos dedicaremos al estudio de la hidrostática.

La hidrostática tiene por objetivo estudiar a los líquidos en reposo. Se fundamenta en leyes y principios como el de **Arquímedes**, **Pascal o la paradoja hidrostática de Stevin**, mismos que contribuyen a cuantificar las presiones ejercidas por los fluidos y al estudio de sus características generales.

Comúnmente los principios de la hidrostática también se aplican a los gases.

El término fluido se aplica a líquidos y gases porque ambos tienen propiedades comunes. No obstante, conviene recordar que un gas tiene una densidad muy baja debido a la separación entre sus moléculas y, por tanto, puede comprimirse con facilidad, mientras **un líquido es prácticamente incompresible**. Los fluidos están constituidos por gran cantidad de minúsculas partículas de materia, éstas se deslizan unas sobre otras en los líquidos y en los gases se mueven sueltas, es decir, las moléculas se encuentran separadas unas de otras. Esto explica por qué los líquidos y los gases no tienen forma definida, adoptando la del recipiente que los contiene. Finalmente, recordemos que un gas es expansible, por consiguiente su volumen no es constante, pues al pasarlo a un recipiente de mayor volumen inmediatamente ocupa todo el espacio libre. Un líquido, por su parte, no tiene forma definida, pero sí volumen definido.



Hidrostática

1 Características de los líquidos

Viscosidad

Esta propiedad se origina por el rozamiento de unas moléculas con otras, cuando un líquido fluye. Por tal motivo, la viscosidad se puede definir como una medida de la resistencia que opone un líquido a fluir.

Si en un recipiente perforado en el centro se hacen fluir por separado miel, leche, agua y alcohol, observamos que cada líquido fluye con rapidez distinta; mientras más viscoso es un líquido, más tiempo tarda en fluir (figura 8.1). En la industria, la viscosidad se cuantifica en forma práctica, utilizando recipientes con una determinada capacidad, que tienen un orificio de un diámetro establecido convencionalmente. Al medir el tiempo que el líquido tarda en fluir se conoce su viscosidad, para ello se usan tablas que relacionan el tiempo de escurrimiento con la viscosidad. La unidad de viscosidad en el Sistema Internacional es el poiseuille definido como la viscosidad que tiene un fluido cuando su movimiento rectilíneo uniforme sobre una superficie plana es retardado por una fuerza cuya magnitud es de un newton por metro cuadrado de superficie de contacto con el fluido, y que tiene una magnitud de velocidad respecto a la superficie de un metro por segundo.

$$1 \text{ poiseuille} = \frac{1 \text{ N s}}{\text{m}^2} = \frac{1 \text{ kg}}{\text{m s}}$$



figura 8.1

Dispositivo para comparar la viscosidad de varios líquidos, al llenar el vaso con cada uno de ellos y observar el tiempo que tardan en fluir por el orificio.

En el Sistema CGS la unidad de viscosidad es el poise, y equivale a la décima parte del poiseuille.

$$1 \text{ poise} = \frac{1 \text{ dinas}}{\text{cm}^2} = \frac{1 \text{ g}}{\text{cm s}}$$

$$1 \text{ poiseuille} = 10 \text{ poise}$$

En la industria se utiliza como unidad práctica de viscosidad el centipoise que equivale a la centésima parte del poise

$$1 \text{ centipoise} = 1 \times 10^{-2} \text{ poise}$$

cuadro 8.1 Valores de la viscosidad de algunas sustancias

Sustancia	Viscosidad	
	Poiseuille	Poise
Agua a 20 °C	0.001	0.01
Aceite de oliva a 20 °C	0.0970	0.97
Mercurio a 20 °C	0.0016	0.016
Glicerina a 20 °C	1.5	15

Tensión superficial

La tensión superficial hace que la superficie libre de un líquido se comporte como una finísima membrana elástica.

Este fenómeno se presenta debido a la atracción entre las moléculas del líquido. Cuando se coloca un líquido en un recipiente, las moléculas interiores se atraen entre sí en todas direcciones por fuerzas iguales que se contrarrestan unas con otras, pero las moléculas de la superficie libre del líquido sólo son atraídas por las inferiores y laterales más cercanas. Por tanto, la resultante de las fuerzas de atracción ejercidas por las moléculas próximas a una de la superficie se dirige hacia el interior del líquido, lo cual da origen a la tensión superficial (figura 8.2).

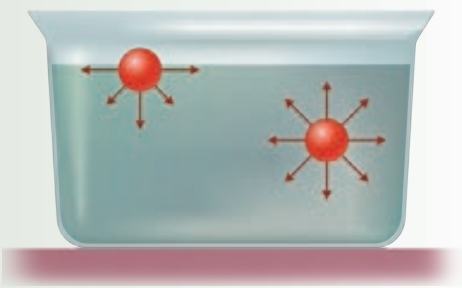


figura 8.2

Tensión superficial. Las moléculas de la superficie libre del líquido sólo son atraídas por las inferiores y laterales, en tanto que las del interior del líquido son atraídas en todas direcciones, por lo cual está en equilibrio.

Debido a la tensión superficial una pequeña masa de líquido tiende a ser redonda en el aire, tal es el caso de las gotas; los insectos pueden caminar sobre el agua, o una aguja puesta con cuidado en forma horizontal sobre un líquido no se hunde.

La tensión superficial del agua puede reducirse en forma considerable si se le agrega detergente, esto contribuye a que el agua jabonosa penetre con más facilidad por los tejidos de la ropa durante el lavado.

Cohesión

Es la fuerza que mantiene unidas a las moléculas de una misma sustancia. Por la fuerza de cohesión, si dos gotas de agua se juntan forman una sola; lo mismo sucede con dos gotas de mercurio.

Adherencia

La adherencia es la fuerza de atracción que se manifiesta entre las moléculas de dos sustancias diferentes en contacto. Comúnmente las sustancias líquidas se adhieren a los cuerpos sólidos.

Al sacar una varilla de vidrio de un recipiente con agua, está completamente mojada, esto significa que el agua se adhiere al vidrio. Pero si la varilla de vidrio se introduce en un recipiente con mercurio, al sacarla se observa completamente seca, lo cual indica que no hay adherencia entre el mercurio y el vidrio.

En general, cuando el fenómeno de adherencia se presenta, significa que la magnitud de la fuerza de cohesión entre las moléculas de una misma sustancia es menor a la magnitud de la fuerza de adherencia que experimenta al contacto con otra. Tal es el caso del agua adherida al vidrio (figura 8.3), la pintura al adherirse a un muro, el aceite al papel, o la tinta a un cuaderno. Si la magnitud de la fuerza de cohesión entre las moléculas de una sustancia es mayor que la magnitud de la fuerza de adherencia que experimenta al contacto con otra, no se presenta adherencia y se dice que el líquido no moja al sólido (figura 8.4).

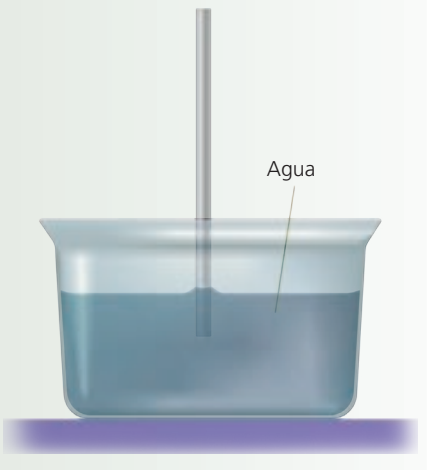


figura 8.3

El agua moja a la varilla de vidrio debido a que es mayor la fuerza de adherencia que la de cohesión.

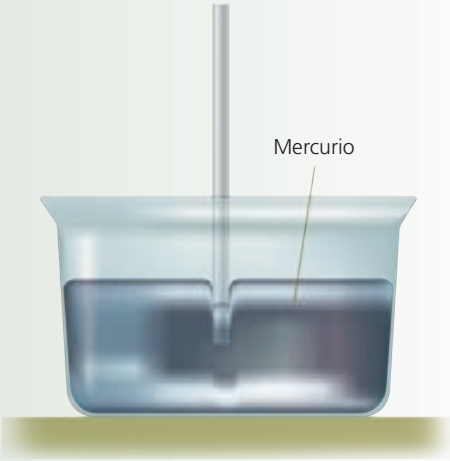


figura 8.4

El mercurio no moja a la varilla de vidrio debido a que es menor la magnitud de la fuerza de adherencia que la de cohesión.

Capilaridad

La capilaridad se presenta cuando existe contacto entre un líquido y una pared sólida, especialmente si son tubos muy delgados (casi del diámetro de un cabello) llamados capilares.

Al introducir un tubo de diámetro muy pequeño en un recipiente con agua se observa que el líquido asciende por el tubo alcanzando una altura mayor que la de la superficie libre del líquido. La superficie del líquido contenido en el tubo no es plana, sino que forma un menisco cóncavo (figura 8.5).

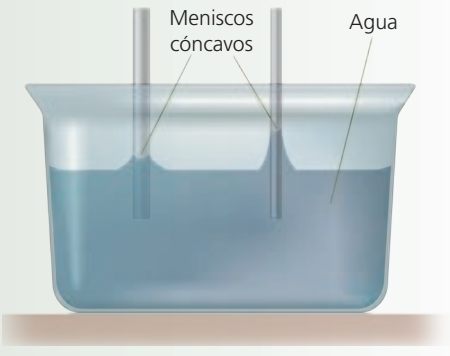


figura 8.5

Formación de meniscos cóncavos al introducir tubos delgados en agua.

Si se introduce un tubo capilar en un recipiente con mercurio, se observa que el líquido desciende debido a una depresión. En este caso se forma un menisco convexo (figura 8.6).

Debido a la capilaridad, en las lámparas el alcohol y el petróleo ascienden por las mechas; un algodón o un terrón de azúcar sumergidos parcialmente en agua la absorben poco a poco, y la savia de las plantas circula a través de sus tallos.

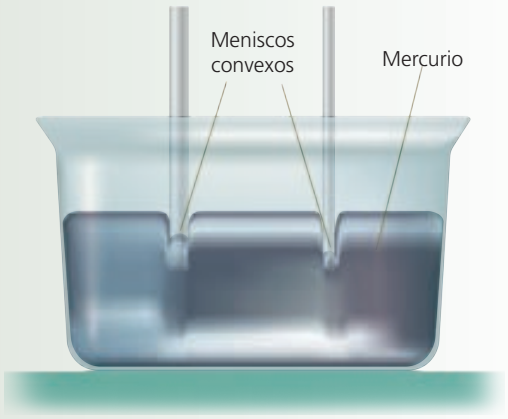


figura 8.6

Formación de meniscos convexos al introducir tubos delgados en mercurio.

2 Densidad y peso específico

La densidad de una sustancia ρ (rho) es una propiedad característica o intensiva de la materia (véase la sección 4 de la unidad 6 de este libro), representa la masa contenida en la unidad de volumen. Su valor se determina dividiendo la masa de la sustancia entre el volumen que ocupa:

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \rho = \frac{m}{V} \text{ en kg/m}^3$$

El peso específico de una sustancia también es una propiedad característica, su valor se determina dividiendo la magnitud de su peso entre el volumen que ocupa:

$$Pe = \frac{P}{V}$$

donde: Pe = peso específico de la sustancia en N/m^3

P = magnitud del peso de la sustancia en newtons (N)

V = volumen que ocupa en metros cúbicos (m^3)

Podemos obtener la relación entre la densidad y el peso específico de una sustancia, si recordamos que:

$$P = mg \qquad (1)$$

como: $$Pe = \frac{P}{V} \qquad (2)$$

Sustituyendo 1 en 2 tenemos:

$$Pe = \frac{mg}{V} \qquad (3)$$

como: $$\frac{m}{V} = \rho \qquad (4)$$

$$Pe = \rho g$$

Peso específico = densidad multiplicada por la magnitud de la aceleración de la gravedad

$$\therefore \quad \rho = \frac{Pe}{g}$$

Densidad = peso específico dividido entre la magnitud de la aceleración de la gravedad

La densidad de los líquidos se determina en forma práctica usando los densímetros. Estos dispositivos se sumergen en el líquido al cual se le va a determinar su densidad y ésta se lee, según el nivel que alcance en el líquido que flotan, con base en una escala previamente determinada por el fabricante. Un densímetro se gradúa colocándolo en diferentes líquidos de densidad conocida, como el agua, alcohol o aceite. Al sumergirlo en agua, por ejemplo, el nivel que ésta alcance indicará el valor de 1 g/cm^3 (figura 8.7).

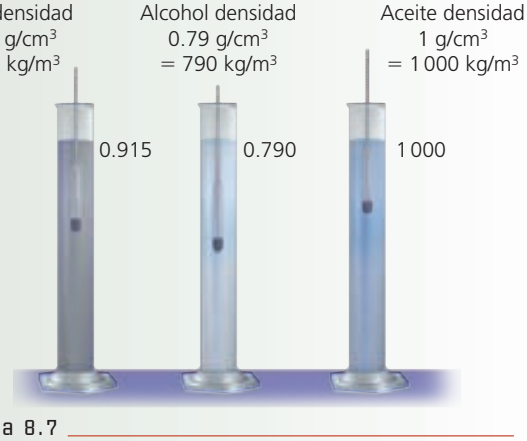


figura 8.7

Determinación de la densidad de un líquido usando un densímetro.

3 Presión

La presión indica la relación entre la magnitud de una fuerza aplicada y el área sobre la cual actúa. En cualquier caso en que exista presión, una fuerza actuará en forma perpendicular sobre una superficie. Matemáticamente la presión se expresa por:

$$P = \frac{F}{A}$$

donde: P = presión en N/m^2 = pascal

F = magnitud de la fuerza perpendicular a la superficie en newtons (N)

A = área o superficie sobre la que actúa la fuerza en metros cuadrados (m^2)

La expresión matemática de la presión indica que: cuanto mayor sea la magnitud de la fuerza aplicada, mayor será la presión para una misma área; así pues, cuando la magnitud de la fuerza aumenta al doble, también la presión se incrementa en la misma proporción, es decir, al doble; si la magnitud de la fuerza aumenta al triple, la presión se incrementa al triple, siempre y cuando el área sobre la que actúa la fuerza no varíe.

Cuando se aplica una misma fuerza, pero el área aumenta, la presión disminuye de manera inversamente proporcional al incremento de dicha área. Por tanto, si el área aumenta al doble, la presión decrece a la mitad; si el área sube al triple, la presión baja a la tercera parte de su valor. Pero si el área en que actúa una fuerza disminuye a la mitad, la presión aumenta al doble, y si el área se reduce a la tercera parte de su valor, la presión se incrementa al triple. En conclusión:

La presión es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza recibida e inversamente proporcional al área sobre la que actúa la fuerza.

Por ejemplo: Un ladrillo ejercerá menor presión sobre el suelo si se coloca por una de sus caras de mayor área que si se pone por una de menor (figura 8.8).

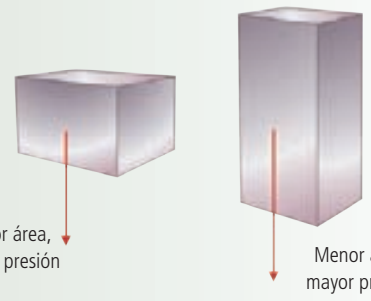


figura 8.8

Al disminuir el área sobre la que actúa una fuerza, aumenta la presión.

Esto explica la razón de una mayor presión sobre el suelo cuando una mujer usa tacones y el intenso dolor que le puede provocar a cualquier persona que reciba un pisotón. Sin embargo, si dicha mujer usa zapatos tenis, a pesar de mantener la misma magnitud de su peso, y por tanto, aplicar la misma magnitud de la fuerza sobre el suelo, como hay una mayor área ejercerá menor presión y producirá menos hundimiento en el suelo blando. Por ello podemos afirmar: el hundimiento no es un indicador de la magnitud de la fuerza, sino de la presión que ejercen unos cuerpos sobre otros.

Con el objetivo de diferenciar aún más entre fuerza y presión, observe la figura 8.9. En ella puede apreciar a un elefante, que es el mamífero terrestre más pesado que existe. Sin embargo, deja huellas apenas perceptibles si el terreno está seco, debido a que sus patas tienen unas almohadillas que distribuyen la magnitud de su peso regularmente, siendo tan eficaz esta distribución que a pesar de la gran magnitud de fuerza que ejerce debido a su peso, la presión sobre el suelo seco apenas llega a deformarlo.



figura 8.9

El elefante, que es el mamífero terrestre más pesado, deja huellas poco visibles si el suelo es duro, ya que las almohadillas de sus patas distribuyen la magnitud de la fuerza debida a su peso y la presión casi no llega a deformarlo.

Presión hidrostática y paradoja hidrostática de Stevin

Debido al peso de sus móleculas, un líquido origina una fuerza sobre el área en el que actúa, produciendo una presión llamada: **presión hidrostática**, que será mayor a medida que la profundidad de la columa del líquido sea mayor. Dicha presión actúa en todos los puntos del líquido y de las paredes del recipiente contenedor y sólo es nula en la superficie libre del líquido.

La presión hidrostática en cualquier punto puede calcularse multiplicando el peso específico del líquido por la altura que hay desde la superficie libre del líquido hasta el punto considerado.

$P_h = Peh$ o bien $P_h = \rho gh$

donde: P_h = presión hidrostática en N/m^2

ρ = densidad del líquido en kg/m^3

Pe = peso específico del líquido en N/m^3

g = magnitud de la aceleración de la gravedad, igual a $9.8\ m/s^2$

h = altura de la superficie libre al punto en metros (m)

Veamos el siguiente ejemplo: consideremos tres recipientes con agua, dos a la misma altura y otro con diferente altura, como se aprecia en la figura 8.10.

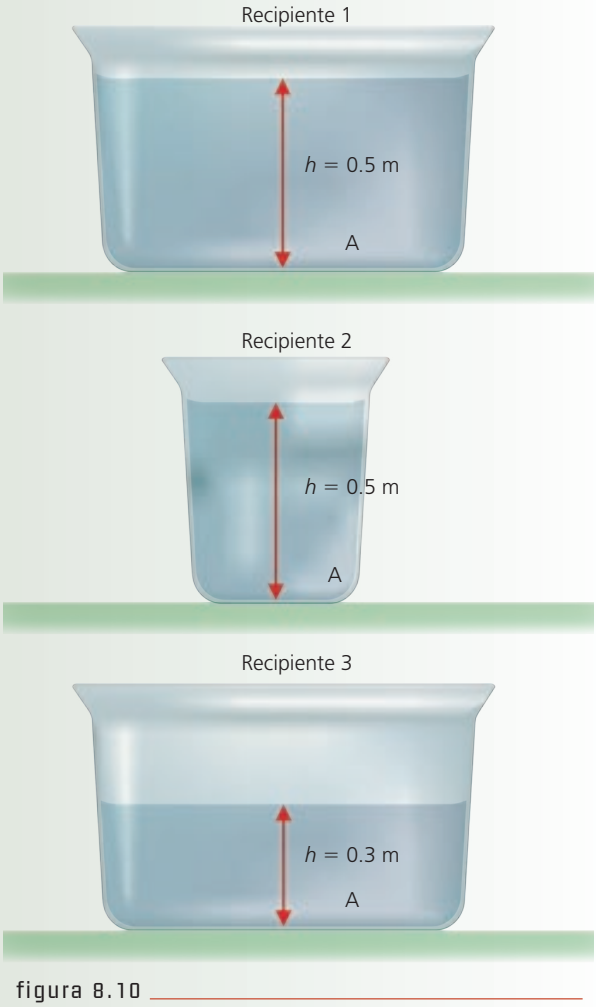


figura 8.10

La presión hidrostática en el punto A es la misma en los recipientes 1 y 2, pues contienen agua a la misma altura, por lo que no importa la forma del recipiente, ni la cantidad de líquido que contenga

Cálculo de la presión hidrostática en el punto A, que corresponde al fondo de los tres recipientes de la figura.

Recipiente 1: $P_h = Peh = \rho gh$

$= 1\,000\ kg/m^3 \times 9.8\ m/s^2 \times 0.5\ m$

$= 4\,900\ N/m^2$

Recipiente 2: $P_h = Peh = \rho gh$

$= 1\,000\ kg/m^3 \times 9.8\ m/s^2 \times 0.5\ m$

$= 4\,900\ N/m^2$

Recipiente 3: $P_h = Peh = \rho gh$

$= 1\,000\ kg/m^3 \times 9.8\ m/s^2 \times 0.3\ m$

$= 2\,940\ N/m^2$

La llamada paradoja (lo que va en contra de la opinión común) hidrostática de Stevin señala lo siguiente: la presión ejercida por un líquido en cualquier punto de un recipiente no depende de la forma de éste ni de la cantidad de líquido contenido, sino únicamente del peso específico y de la altura que hay del punto considerado a la superficie libre del líquido. Esto lo observamos en el recipiente 1 y 2 de la figura 8.10, en los cuales la presión hidrostática en el punto A es la misma, porque la altura también lo es; mientras la presión hidrostática disminuye en el recipiente 3, por ser menor la altura. Por tanto, si una alberca tiene una profundidad de un metro, la presión hidrostática que existirá en el fondo de la misma será igual a la que se producirá en el fondo de un depósito pequeño, por ejemplo un barril con agua, cuya profundidad sea también de un metro.

Presión atmosférica

La Tierra está rodeada por una capa de aire llamada atmósfera. El aire, que es una mezcla de 20% de oxígeno, 79% de nitrógeno y 1% de gases raros, debido a su peso ejerce una presión sobre todos los cuerpos que están en contacto con él, la cual es llamada presión atmosférica.

La presión atmosférica varía con la altura, por lo que al nivel del mar tiene su máximo valor o presión normal equivalente a:

1 atmósfera = 760 mm de Hg

$= 1.013 \times 10^5\ N/m^2$

A medida que es mayor la altura sobre el nivel del mar, la presión atmosférica disminuye. En la ciudad de México su valor es de 586 mm de Hg equivalente a:

$0.78 \times 10^5\ N/m^2$.

Es común expresar las presiones en milímetros de mercurio, por tanto, resulta conveniente recordar la siguiente equivalencia:

1 mm de Hg = 1 33.2 N/m^2

o bien: 1 cm de Hg = 1 332 N/m^2

Barómetro de mercurio, experimento de Torricelli

La presión atmosférica no puede calcularse fácilmente, pero sí medirse utilizando un barómetro, instrumento que sirve para determinar experimentalmente la presión atmosférica. Evangelista Torricelli (1608-1647) fue el primero en idear un barómetro de mercurio (figura 8.11); para ello, llenó con mercurio un tubo de vidrio de casi un metro de longitud cerrado por un extremo, tapó con su dedo el extremo abierto, invirtió el tubo y lo introdujo en la superficie de mercurio contenido en una cuba. Al retirar su dedo observó que el líquido descendía del tubo hasta alcanzar un equilibrio a una altura de 76 cm sobre la superficie libre del mercurio. La presión que equilibra e impide, el descenso de la columna de mercurio en el tubo, es la que ejerce la presión atmosférica sobre la superficie libre del mercurio, y es la misma que recibe el tubo de vidrio por su extremo abierto.

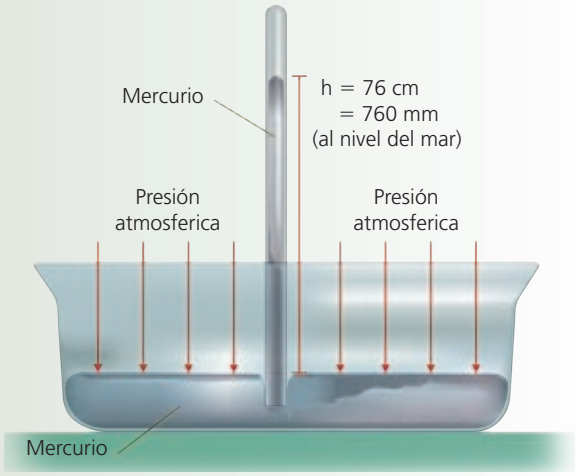


figura 8.11

Experimento de Torricelli para medir la presión atmosférica con un barómetro de mercurio.

Al conocer el experimento de Torricelli al nivel del mar, Pascal supuso que si la presión atmosférica tenía su origen en el peso del aire que envolvía a la Tierra, la presión barométrica sería menor a mayor altura. Al experimentar a una altura mayor se comprobó que la columna de mercurio descendía a menos de 76 cm en el tubo de vidrio; este experimento comprobaba la hipótesis de Pascal. La equivalencia de la presión atmosférica, que al nivel del mar es de 76 cm de Hg o 760 mm de Hg, en unidades del Sistema Internacional la obtenemos con la expresión:

$$P = \rho g h$$

como: $\rho_{Hg} = 13\,600\ \text{kg/m}^3$

$g = 9.8\ \text{m/s}^2$

$h = 0.76\ \text{m}$

Sustituyendo valores:

$$P = 13\,600\ \text{kg/m}^3 \times 9.8\ \text{m/s}^2 \times 0.76\ \text{m}$$
$$= 1.013 \times 10^5\ \text{N/m}^2$$

Presión manométrica y presión absoluta

Un líquido contenido en un recipiente abierto, además de la presión originada por su peso, soporta la presión atmosférica, la cual se transmite uniformemente por todo el volumen del líquido (figura 8.12). En el caso de un líquido encerrado en un recipiente, además de la presión atmosférica puede recibir otra presión causada por su calentamiento, tal como sucede con las autoclaves que contienen un fluido bajo presión y se emplean como esterilizadores en clínicas y hospitales; también es común detectar la presión en las calderas de vapor, o la presión en las llantas de los vehículos como resultado del aire comprimido. La presión diferente a la atmosférica recibe el nombre de presión manométrica. De donde la presión absoluta que soporta el fluido encerrado es igual a la suma de las presiones manométrica y atmosférica.

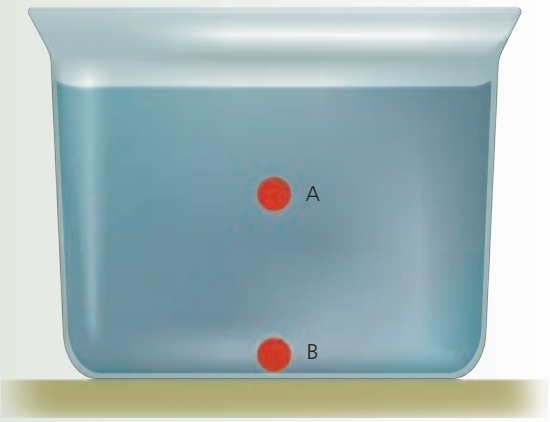


figura 8.12

La presión atmosférica que soporta el líquido contenido en el recipiente abierto se transmite uniformemente por todo el volumen del líquido, por lo que su valor es el mismo en los puntos A y B. Sin embargo, la presión hidrostática es mayor en el punto B que en el A.

Los dispositivos para medir la presión manométrica se llaman manómetros. La presión manométrica es igual a la diferencia entre la presión absoluta del interior del recipiente y la presión atmosférica.

$$\text{Presión absoluta} = \text{presión manométrica} + \text{presión atmosférica}$$

$$\text{Presión manométrica} = \text{presión absoluta} - \text{presión atmosférica}$$

Un manómetro de uso extenso es el de tubo abierto o manómetro de líquido el cual tiene forma de U; generalmente contiene mercurio, pero si se requiere alta sensibilidad puede contener agua o alcohol. Se utiliza para medir la presión en calderas, autoclaves, tanques de gas o cualquier recipiente a presión. Para ello, un extremo del tubo se conecta al recipiente de referencia para medir la presión; el gas o vapor ejerce una presión que hace subir el mercurio por el extremo abierto, hasta igualar las presiones (ambiental, o del gas o vapor). La diferencia entre los dos niveles determina la presión manométrica, a la cual debe agregarse la atmosférica si se desea conocer la presión absoluta del interior del recipiente (figura 8.13).

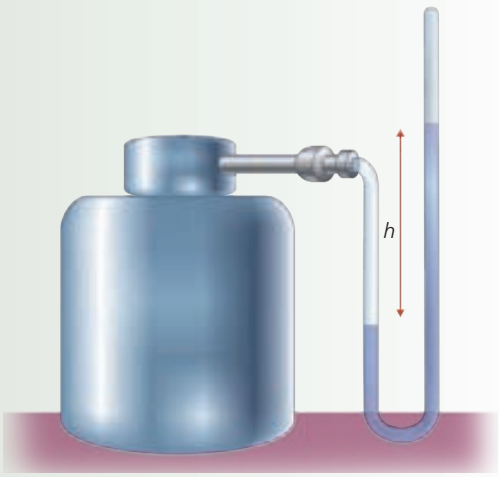


figura 8.13

La diferencia de alturas *h* determina la presión manométrica dentro del recipiente, medida en mm de Hg, o bien, en cm de Hg.



figura 8.14

Manómetro de Bourdón.

Otro tipo de manómetro muy empleado es el metálico, de tubo o de Bourdón (figura 8.14), que funciona sin líquido; está constituido por un tubito elástico, en forma de espiral, cerrado por un extremo y por el otro recibe la presión que se desea medir, ésta distiende el tubito y su deformación elástica es transmitida a una aguja que gira sobre una circunferencia graduada.

4 Principio de Pascal

Sabemos que un líquido produce una presión hidrostática debido a su peso, pero si el líquido se encierra herméticamente dentro de un recipiente puede aplicársele otra presión utilizando un émbolo; dicha presión se transmitirá íntegramente a todos los puntos del líquido. Esto se explica si recordamos que los líquidos, a diferencia de los gases y sólidos, son prácticamente incompresibles. Esta observación fue hecha por el físico francés **Blaise Pascal** (1623-1662), quien enunció el siguiente principio que lleva su nombre: Toda presión que se ejerce sobre un líquido encerrado en un recipiente se transmite con la misma intensidad a todos los puntos del líquido y a las paredes del recipiente que lo contiene.

El principio de Pascal puede comprobarse utilizando una esfera hueca, perforada en diferentes lugares y provista de un émbolo. Al llenar la esfera con agua y ejercer presión sobre ella mediante el émbolo, se observa que el agua sale por todos los agujeros con la misma presión (figura 8.15).

La prensa hidráulica es una de las aplicaciones del principio de Pascal. Consta esencialmente de dos cilindros de diferente diámetro, cada uno con su respectivo émbolo, unidos por medio de un tubo de comunicación. Se llenan de líquido el tubo y los cilindros, y al aplicar una fuerza en el émbolo de menor tamaño la presión que genera se transmite íntegramente al émbolo mayor. Al penetrar el líquido en el cilindro mayor, que está unido a una plataforma, empuja el émbolo hacia arriba.

Con este dispositivo, si una fuerza de pequeña magnitud actúa sobre el émbolo menor produce una fuerza de gran magnitud sobre el émbolo mayor (figura 8.16).

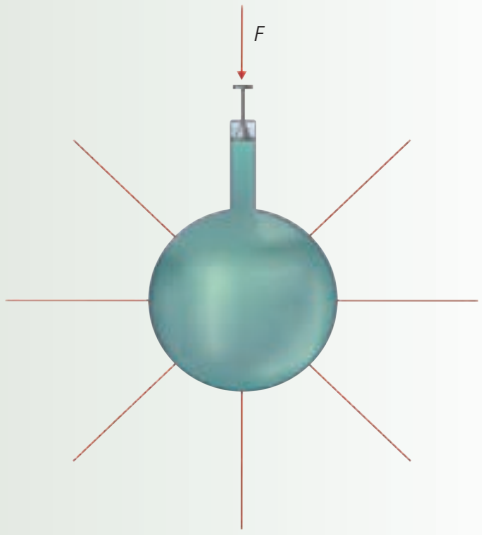


figura 8.15

Jeringa de Pascal. Con ella se observa que la presión recibida por un líquido se transmite íntegramente en todos los puntos del líquido y de las paredes del recipiente que lo contiene.

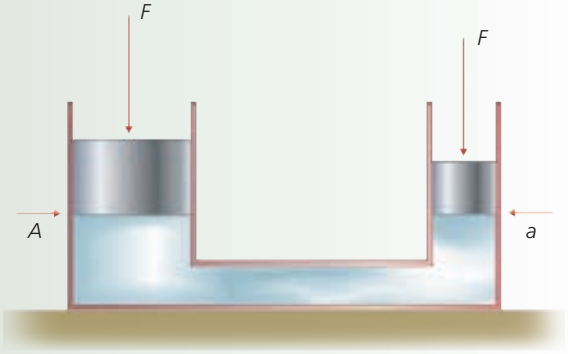


figura 8.16

La presión en el émbolo menor es la misma que en el émbolo mayor: $\frac{F}{A}=\frac{f}{a}$.

La presión en el émbolo menor está dada por la relación $\frac{f}{a'}$ y en el émbolo mayor por $\frac{F}{A}$. De cuerdo con el principio de Pascal ambas presiones son iguales, por tanto, la fórmula para la prensa hidráulica es:

$$\frac{F}{A}=\frac{f}{a}$$

donde: F = magnitud de la fuerza obtenida en el émbolo mayor en newtons (N)

A = área en el émbolo mayor en metros cuadrados (m^2)

f = magnitud de la fuerza obtenida en el émbolo menor en newtons (N)

a = área en el émbolo menor en metros cuadrados (m^2)

La prensa hidráulica se utiliza en las estaciones de servicio para levantar automóviles; en la industria, para comprimir algodón o tabaco; para extraer aceites de algunas semillas o jugos de algunas frutas. Los frenos hidráulicos de los automóviles también se basan en el principio de Pascal. Cuando se pisa el freno, el líquido del cilindro maestro transmite la presión recibida a los cilindros de cada rueda, mismos que abren las balatas para detener el giro de las ruedas.

Tonel de Pascal

Con base en su descubrimiento de la transmisión íntegra de cualquier presión hecha sobre un líquido encerrado en un recipiente, Pascal realizó de la siguiente manera el experimento del tonel (figura 8.17).

Conectó de modo vertical un tubo largo y delgado a la tapa de un tonel o barril de madera previamente lleno con agua.

Después, virtió el agua contenida en una jarra a través del tubo delgado y al subir el nivel del agua por éste, la presión en el líquido encerrado en el tonel y en las paredes del mismo fue tan grande que lo reventó en pedazos, ante la sorprendida mirada de los observadores el experimento.

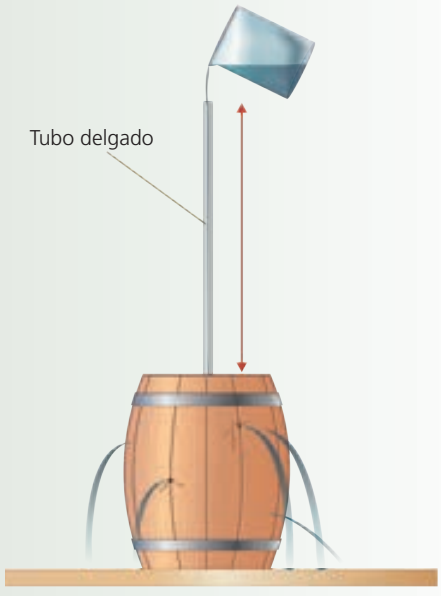


figura 8.17

Tonel de Pascal. La presión ejercida por el peso del agua vertida en el tubo delgado es tan grande, debido a la altura, que rompe el tonel o barril de madera.

La razón por la que se rompe el tonel al agregar un poco de agua por el tubo delgado, es la presión tan grande que ejerce el agua contenida en el tubo al irse llenando, pues, como ya vimos en la paradoja hidrostática de Stevin, la presión ejercida por un líquido a determinada profundidad **sólo depende de la altura del mismo y de su peso específico, y no de la cantidad de líquido**.

5 Principio de Arquímedes y flotación de los cuerpos

Cuando un cuerpo se sumerge en un líquido se observa que éste ejerce una presión vertical ascendente sobre él (figura 8.18). Lo anterior se comprueba al introducir un trozo de madera en agua; la madera es empujada hacia arriba, por ello se debe ejercer una fuerza hacia abajo si se desea mantenerla sumergida. De igual forma, hemos notado que al introducirnos en una alberca sentimos una aparente pérdida de peso comenzando a flotar debido al empuje recibido por el agua.

El empuje que reciben los cuerpos al ser introducidos en un líquido fue estudiado por el griego **Arquímedes** (287-212 a. C.), quien además se destacó por sus investigaciones realizadas sobre el uso de las palancas, la geometría plana y del espacio, y su teoría sobre los números.

Principio de Arquímedes: todo cuerpo sumergido en un fluido recibe un empuje ascendente igual al peso del fluido desalojado.

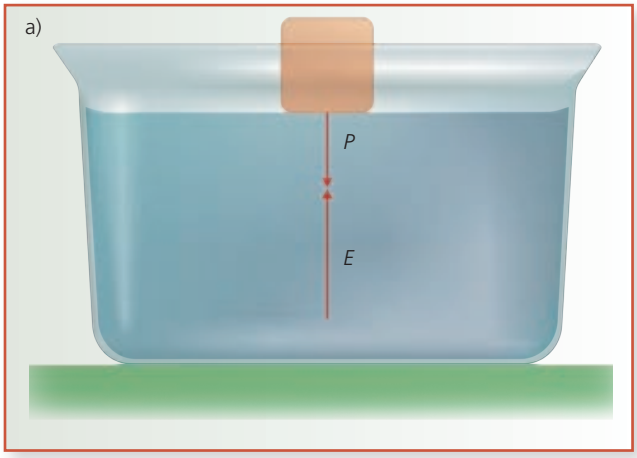
En un cuerpo totalmente sumergido en un líquido, todos los puntos de su superficie reciben una presión hidrostática, que es mayor conforme aumenta la profundidad de un punto. Las presiones ejercidas sobre las caras laterales opuestas del cuerpo se neutralizan mutuamente; sin embargo, está sujeto a otras dos fuerzas opuestas: su peso que lo empuja hacia abajo y el empuje del líquido que lo impulsa hacia arriba. De acuerdo con la magnitud de estas dos fuerzas tendremos los siguientes casos:



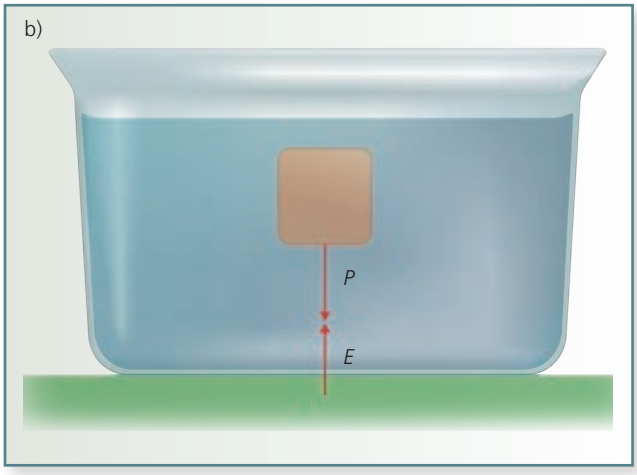
figura 8.18

Cuando la pelota se introduce en un líquido éste ejerce una presión vertical ascendente sobre la pelota, por lo que se requiere ejercer una fuerza hacia abajo sobre ella para mantenerla sumergida.

1. Si la magnitud peso de un cuerpo es menor a la magnitud del empuje que recibe, flota porque desaloja menor cantidad de líquido que su volumen. La magnitud del empuje que recibe el cuerpo es igual a la magnitud del peso que tiene el volumen del líquido desalojado [figura 8.19(a)].



2. Si la magnitud del peso del cuerpo es igual a la magnitud del empuje que recibe, permanecerá en equilibrio, es decir, sumergido dentro del líquido [figura 8.19(b)].



3. Si la magnitud del peso del cuerpo es mayor que la magnitud del empuje, se hunde. En este caso, como en el 2, al estar completamente sumergido el cuerpo desalojará un volumen de líquido igual a su volumen. La magnitud del empuje que recibe el cuerpo es igual a la magnitud del peso que corresponde al del volumen del líquido desalojado [figura 8.19(c)].

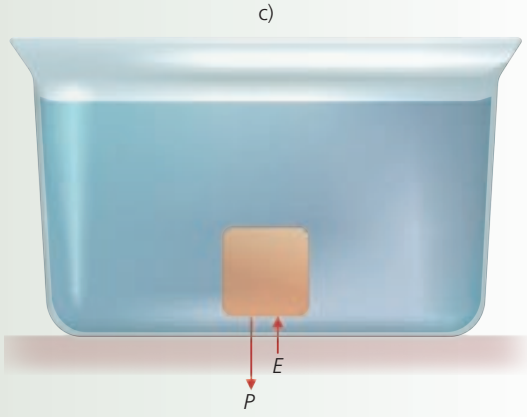


figura 8.19

Flotación o hundimiento de un cuerpo en función de su peso (*P*) y el empuje (*E*) que recibe.

Para que un barco flote debe desalojar un volumen de líquido cuyo peso sea igual al del barco. Por ejemplo, si el peso del barco es de 1×10^6 kg_f, debe desalojar un volumen de 1 000 metros cúbicos de agua dulce, considerando que un metro cúbico de esa agua pesa 1×10^3 kg_f (figura 8.20).

Alguna vez nos habremos preguntado cómo es posible que flote un barco si está construido con algunos materiales de mayor densidad que el agua y, por si fuera poco, llenos de gente, muebles, automóviles, alimentos y muchas otras cosas más. Para explicarnos esto analicemos lo que le pasa a una lámina de acero extendida sobre un estanque lleno de agua; evidentemente la lámina se hunde, pues su densidad es mayor que la del agua. Pero, ¿qué pasará si la doblamos en forma de caja y la sumergimos nuevamente en el estanque? Quizá con sorpresa veamos que flota. Esto sucede porque al dividir la masa de la lámina entre el volumen de agua que desaloja, obtenemos la **densidad promedio de la lámina**, valor inferior a la densidad del agua.



figura 8.20

Para que un barco flote debe desalojar un volumen de líquido cuyo peso sea igual al del barco.

Para que un cuerpo flote en cualquier fluido, su densidad promedio debe ser menor a la del fluido.

La magnitud del empuje que recibe un cuerpo sumergido en un líquido se determina multiplicando el peso específico del líquido por el volumen desalojado de éste:

$$E = PeV$$

Algunas aplicaciones del principio de Arquímedes son flotación de barcos, submarinos, salvavidas, densímetros o en los flotadores de las cajas de los inodoros.

Resolución de problemas de hidrostática

1 Una masa de 0.5 kg de alcohol etílico ocupa un volumen de 0.000633 m^3. Calcular:

a) ¿Cuál es su densidad?

b) ¿Cuál es su peso específico?

Solución:

Datos

$\rho = ?$

$m = 0.5$ kg

$V = 0.000633$ m^3

$g = 9.8$ m/s^2

$Pe = ?$

Fórmulas

a) $\rho = \dfrac{m}{V}$

b) $Pe = \rho g$

Sustitución y resultados

a) $\rho = \dfrac{m}{V} = \dfrac{0.5 \text{ kg}}{0.000633 \text{ m}^3} = 789.88 \text{ kg/m}^3$

b) $Pe = \rho g = 789.88 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2$
$= 7\,740.92 \text{ N/m}^3$

2 Calcular la masa y la magnitud del peso de 15 000 litros de gasolina. Densidad de la gasolina 700 kg/m^3.

Solución:

Datos

$m = ?$

$p = ?$

$V = 15\,000$ litros

$\rho = 700$ kg/m^3

$g = 9.8$ m/s^2

Fórmulas

$\rho = \frac{m}{V} \therefore m = \rho V$

$P = mg$

Transformación de unidades

$$15\,000 \text{ litros} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1\,000 \text{ litros}} = 15 \text{ m}^3$$

Sustitución y resultados

$$m = 700 \text{ kg/m}^3 \times 15 \text{ m}^3 = 10\,500 \text{ kg}$$

$$P = 10\,500 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 102\,900 \text{ N}$$

3 ¿Cuál es la densidad de un aceite cuyo peso específico es de 8 967 N/m^3?

Solución:

Datos

$\rho = ?$

$Pe = 8\,967$ N/m^3

$g = 9.8$ m/s^2

Fórmula

$\rho = \frac{Pe}{g}$

Sustitución y resultado

$$\rho = \frac{8\,967 \text{ kg m/s}^2/\text{m}^3}{9.8 \text{ m/s}^2} = 915 \text{ kg/m}^3$$

4 ¿Cuál es el volumen, en metros cúbicos y en litros, de 3 000 N de aceite de oliva, cuyo peso específico es de 9 016 N/m^3?

Solución:

Datos

$V = ?$

$P = 3\,000$ N

$Pe = 9\,016$ N/m^3

Fórmula

$Pe = \frac{P}{V} \therefore V = \frac{P}{Pe}$

Sustitución y resultados

$$V = \frac{3\,000 \text{ N}}{9\,016 \text{ N/m}^3} = 0.333 \text{ m}^3$$

$$V = 0.333 \text{ m}^3 \times \frac{1\,000 \text{ litros}}{1 \text{ m}^3} = 333 \text{ litros}$$

5 Sobre un líquido encerrado en un recipiente se aplica una fuerza con una magnitud de 60 N mediante un pistón de área igual a 0.01 m^2. ¿Cuál es la presión?

Solución:

Datos

$F = 60$ N

$A = 0.01$ m^2

$P = ?$

Fórmula

$\rho = \frac{F}{A}$

Sustitución y resultado

$$\rho = \frac{60 \text{ N}}{0.01 \text{ m}^2} = 6\,000 \text{ N/m}^2$$

6 Calcular la magnitud de la fuerza que debe aplicarse sobre un área de 0.3 m^2 para que exista una presión de 420 N/m^2.

Solución:

Datos

$F = ?$

$A = 0.3$ m^2

$P = 420$ N/m^2

Fórmula

$\rho = \frac{F}{A} \therefore F = PA$

Sustitución y resultado

$$F = 420 \text{ N/m}^2 \times 0.3 \text{ m}^2 = 126 \text{ N}$$

7 Calcular la presión hidrostática en el fondo de una alberca de 5 m de profundidad, si la densidad del agua es de 1 000 kg/m^3.

Solución:

Datos

$P_h = ?$

$h = 5$ m

$\rho_{H_2O} = 1\,000$ kg/m^3

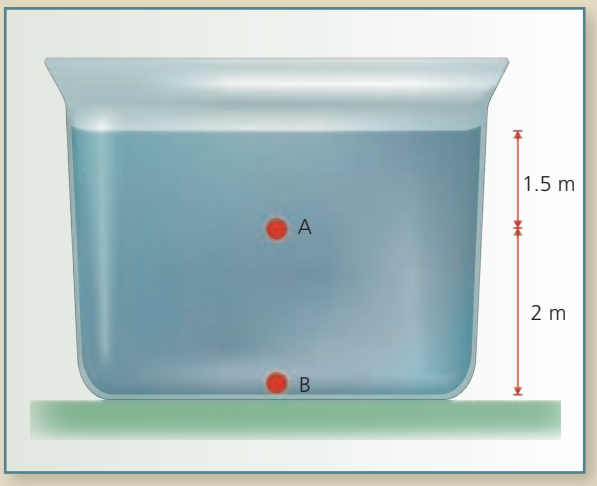
Fórmula

$P_h = Peh = \rho gh$

Sustitución y resultado

$$P_h = 1\,000 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 5 \text{ m} = 49\,000 \text{ N/m}^2$$

8 Calcular la presión hidrostática en los puntos A y B del siguiente recipiente que contiene agua:



Solución:

Datos **Fórmula**

Punto A: $h = 1.5$ m, $Ph = ?$ $P_h = Peh = \rho gh$

Punto B: $h = 3.5$ m, $Ph = ?$

$\rho_{H_2O} = 1\,000$ kg/m^3

Sustitución y resultados

Punto A: $P_h = 1\,000 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 1.5 \text{ m}$
$= 14\,700 \text{ N/m}^2$

Punto B: $P_h = 1\,000 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 3.5 \text{ m}$
$= 34\,300 \text{ N/m}^2$

9 Calcular la profundidad a la que se encuentra sumergido un submarino en el mar cuando soporta una presión hidrostática de 8×10^6 N/m^2. La densidad del agua de mar es de 1 020 kg/m^3.

Solución:

Datos **Fórmula**

$h = ?$ $P_h = \rho gh$

$P_h = 8 \times 10^6$ N/m^2 $\therefore h = \dfrac{P_h}{\rho g}$

$\rho_{H_2O \text{ de mar}} = 1\,020$ kg/m^3

Sustitución y resultado

$$h = \frac{8 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{1.02 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2} = 0.8 \times 10^3 \text{ m}$$

$= 800$ m

10 Para medir la presión manométrica del interior de un cilindro con gas se utilizó un manómetro de tubo abierto. Al medir la diferencia entre los dos niveles de mercurio se encontró un valor de 15 cm de Hg. Determinar la presión absoluta que hay dentro del cilindro en:

a) mm de Hg

b) cm de Hg

c) N/m^2

Considerar la presión atmosférica igual a 586 mm de Hg.

Solución:

Datos **Fórmula**

$P_{man} = 15$ cm de Hg $P_{abs} = P$ manométrica $+ P$ atmosférica

$P_{abs} = ?$

$P_{atm} = 586$ mm de Hg

Sustitución y resultados

a) $P_{abs} = 150 \text{ mm de Hg} + 586 \text{ mm de Hg}$
$= 736$ mm de Hg

b) $P_{abs} = 73.6$ cm de Hg

c) $P_{abs} = 73.6 \text{ cm de Hg} \times \dfrac{1332 \text{ N/m}^2}{1 \text{ cm de Hg}}$

$= 98\,035.2 \text{ N/m}^2$

11 Se bombea agua con una presión de 25×10^4 N/m^2. ¿Cuál será la altura máxima a la que puede subir el agua por la tubería si se desprecian las pérdidas de presión?

Solución:

Datos **Fórmula**

$P = 25 \times 10^4$ N/m^2 $P_h = Peh = \rho gh$

$h = ?$ $\therefore h = \dfrac{P_h}{\rho g}$

$\rho_{H_2O} = 1\,000$ kg/m^3

Sustitución y resultado

$$h = \frac{25 \times 10^4 \text{ N/m}^2}{1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2} = 25.5 \text{ m}$$

12 ¿Qué magnitud de fuerza se obtendrá en el émbolo mayor de una prensa hidráulica cuya área es de 100 cm^2, cuando en el émbolo menor de área igual a 15 cm^2 se aplica una fuerza cuya magnitud es de 200 N?

Solución:

Datos **Fórmula**

$F = ?$ $\dfrac{F}{A} = \dfrac{f}{a} \therefore F = \dfrac{fA}{a}$

$A = 100$ cm^2

$a = 15$ cm^2

$f = 200$ N

Sustitución y resultado

$$F = \frac{200 \text{ N} \times 100 \text{ cm}^2}{15 \text{ cm}^2} = 1\,333.33 \text{ N}$$

13 Calcular la magnitud de la fuerza que se obtendrá en el émbolo mayor de una prensa hidráulica de un diámetro de 20 cm, si en el émbolo menor de 8 cm se ejerce una fuerza cuya magnitud es de 150 N.

Solución:

Datos **Fórmula**

$F = ?$ $\dfrac{F}{A} = \dfrac{f}{a} \therefore F = \dfrac{fA}{a}$

$D = 20$ cm

$d = 8$ cm

$f = 150$ N

como área $= \pi r^2$

$2r = D; r = \dfrac{D}{2}$

Sustitución y resultado

$$r = \frac{20\text{ cm}}{2} = 10\text{ cm}$$

$$F = \frac{150\text{ N} \times \pi(10\text{ cm})^2}{\pi(4\text{ cm})^2} = 937.5\text{ N}$$

14 Calcular el diámetro que debe tener el émbolo mayor de una prensa hidráulica para obtener una fuerza cuya magnitud es de 2 000 N, cuando el émbolo menor tiene un diámetro de 10 cm y se aplica una fuerza cuya magnitud es de 100 N.

Solución:

Datos

$D = ?$

$F = 2000\text{ N}$

$d = 10\text{ cm}$

$f = 100\text{ N}$

Fórmula

$$\frac{F}{A} = \frac{f}{a}$$

$$a = \pi r^2$$

donde:

$$\frac{F}{\pi R^2} = \frac{f}{\pi r^2}$$

$$\therefore R = \sqrt{\frac{F\pi r^2}{f\pi}}$$

Sustitución y resultado

$$R = \sqrt{\frac{2000\text{ N}\,(5\text{ cm})^2}{100\text{ N}}} = 22.36\text{ cm}$$

$$D = 2R = 2\,(22.36\text{ cm}) = 44.72\text{ cm}$$

15 Un cubo de acero de 20 cm de arista se sumerge totalmente en agua. Si tiene un peso con una magnitud de 564.48 N, calcular:

a) ¿Qué magnitud de empuje recibe?

b) ¿Cuál será la magnitud del peso aparente del cubo?

Solución:

Datos

$\ell = 20\text{ cm} = 0.2\text{ m}$

Peso del cubo = 564.48 N

a) $E = ?$

b) $P_{\text{aparente del cubo}} = ?$

$Pe_{H_2O} = 9800\text{ N/m}^3$

Fórmulas

$V = \ell^3$

a) $E = PeV$

b) $P_{\text{aparente}} = P - E$

Sustitución y resultados

a) $V_{\text{cubo}} = V_{H_2O\text{ desalojada}} = (0.2\text{ m})^3 = 0.008\text{ m}^3$

$E = PeV = 9800\ N/\text{m}^3 \times 0.008\text{ m}^3 = 78.4\text{ N}$

b) $P_{\text{aparente}} = P_{\text{real}} - \text{Empuje}$

$P_{\text{aparente}} = 564.48\text{ N} - 78.4\text{ N} = 486.08\text{ N}$

Ejercicios propuestos

1 Un trozo de madera tiene una masa de 1 200 g y ocupa un volumen de 2 553.19 cm^3. Calcular su densidad en g/cm^3 y la magnitud de su peso en newtons.

2 Una masa de 1 500 kg de plomo ocupa un volumen de 0.13 274 m^3. ¿Cuál es su densidad?

3 ¿Cuál es la masa y la magnitud del peso de 10 litros de mercurio?

Dato: $\rho_{Hg} = 13\,600\text{ kg/m}^3$

4 Calcular el peso específico del oro, cuya densidad es de 19 300 kg/m^3.

5 ¿Qué volumen en metros cúbicos y litros ocuparán 1 000 kg de alcohol con una densidad de 790 kg/m^3?

6 Cuál es la presión que se aplica sobre un líquido encerrado en un tanque, por medio de un pistón que tiene un área de 0.02 m^2 y aplica una fuerza con una magnitud de fuerza de 100 N.

7 Calcular el área sobre la cual debe aplicarse una fuerza con una magnitud de 150 N para que exista una presión de 2 000 N/m^2.

8 Determine la presión hidrostática que existirá en un lago a una profundidad de 3 y 6 m, respectivamente.

Dato: $\rho_{H_2O} = 1\,000\text{ kg/m}^3$

9 ¿Cuál será la presión hidrostática en el fondo de un barril que tiene 0.9 m de profundidad y está lleno de gasolina cuya densidad es de 680 kg/m^3?

10 Determine a qué profundidad está sumergido un buceador en el mar, si soporta una presión hidrostática de 399 840 N/m^2.

Dato: $\rho_{H_2O\text{ de mar}} = 1\,020\text{ kg/m}^3$

11. Al medir la presión manométrica con un manómetro de tubo abierto se registró una diferencia de altura de 7 cm de Hg. Cuál es la presión absoluta en:

    a) mm de Hg

    b) cm de Hg

    c) N/m^2

    La medición se realizó al nivel del mar.

12. ¿A qué altura máxima llegará el agua al ser bombeada a través de una tubería con una presión de 4×10^5 N/m^2?

    Dato: $\rho_{H_2O} = 1\,000$ kg/m^3

13. Calcular la magnitud de la fuerza que se aplica en el émbolo menor de una prensa hidráulica de 10 cm^2 de área, si en el émbolo mayor con un área de 150 cm^2 se produce una fuerza cuya magnitud es de 10 500 N.

14. ¿Cuál será la magnitud de la fuerza que se producirá en el émbolo mayor de una prensa hidráulica, cuyo diámetro es de 40 cm, si en el émbolo menor de 12 cm de diámetro se ejerce una fuerza cuya magnitud es de 250 N?

15. Calcular el diámetro del émbolo menor de una prensa hidráulica para que, con una fuerza cuya magnitud es de 400 N, se produzca en el émbolo mayor, cuyo diámetro es de 50 cm, una fuerza de magnitud igual a 4 500 N.

16. Un prisma rectangular de cobre, de base igual a 36 cm^2 y una altura de 10 cm, se sumerge hasta la mitad, por medio de un alambre, en un recipiente que contiene alcohol.

    a) ¿Qué volumen de alcohol desaloja?

    b) ¿Qué magnitud de empuje recibe?

    c) ¿Cuál es la magnitud del peso aparente del prisma debido al empuje, si la magnitud de su peso real es de 31.36 N?

    Dato: $\rho_{alcohol} = 790$ kg/m^3

Actividad experimental 15

Principio de Pascal y principio de Arquímedes

Objetivo

Comprobar experimentalmente los principios de Pascal y de Arquímedes.

Consideraciones teóricas

Todo líquido contenido en un recipiente origina una presión hidrostática debido a su peso, pero si el líquido se encierra de modo hermético dentro de un recipiente puede aplicársele otra presión utilizando un émbolo; dicha presión se transmitirá íntegramente a todos los puntos del líquido. Esto se explica si recordamos que los líquidos, a diferencia de los gases y sólidos, son prácticamente incompresibles. La observación anterior fue hecha por el físico francés **Blaise Pascal**, quien enunció el siguiente principio que lleva su nombre: **toda presión que se ejerce sobre un líquido encerrado en un recipiente se transmite con la misma intensidad a todos los puntos del líquido y a las paredes del recipiente que lo contiene**.

Cuando un cuerpo se sumerge en un líquido se observa que éste aplica una presión vertical ascendente sobre él. Lo anterior se comprueba al introducir un trozo de madera en agua, la madera es empujada hacia arriba, por ello se deberá ejercer una fuerza hacia abajo si se desea mantenerla sumergida. El empuje que reciben los cuerpos al ser introducidos en un líquido fue estudiado por el griego **Arquímedes**, quien enunció el siguiente principio que lleva su nombre: todo cuerpo sumergido en un fluido recibe un empuje ascendente igual al peso del fluido desalojado.

La magnitud del empuje (E) que recibe un cuerpo sumergido en un líquido se determina multiplicando el peso específico del líquido (Pe) por el volumen (V) desalojado de éste: $E = PeV$.

Material empleado

Un picahielo o aguja de coser grande, una pinza para sujetar, un mechero de Bunsen, una jeringa de plástico nueva, un cordón, un trozo de hierro, un dinamómetro, una probeta de 500 cm^3 y agua.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Caliente en el mechero de Bunsen la punta de un picahielo, o una aguja sostenida con una pinza para que usted no se queme, y con ella haga seis perforaciones alrededor de la parte inferior de una jeringa de plástico.

2. Introduzca agua en la jeringa; por medio del émbolo, presione sobre la superficie del líquido y observe la intensidad con la que sale el agua en cada orificio.

3. Ate con un cordón el trozo de hierro y una el extremo libre del cordón al gancho del dinamómetro para determinar su peso en el aire [figura 8.21 a)]. Agregue 200 cm^3 de agua a la probeta de 500 cm^3 de capacidad, e introduzca en ella el trozo de hierro [figura 8.21 b)]. Mida con el dinamómetro el peso del trozo de hierro sumergido en el agua, y observando la graduación de la probeta determine el volumen del líquido desalojado por el trozo de hierro. Anote sus mediciones.

Cuestionario

1. De acuerdo con lo observado, al ejercer una presión sobre la superficie del líquido por medio del émbolo de la jeringa, ¿cómo es la intensidad con que sale el agua por cada uno de los orificios? Justifique su respuesta.
2. ¿Se comprueba el principio de Pascal? ¿Por qué?
3. Escriba con sus propias palabras el principio de Pascal.
4. Con base en lo realizado en el punto 3 de la actividad experimental, conteste las siguientes preguntas: ¿Cuál es la magnitud del peso del trozo de hierro en el aire? ¿Cuál fue la magnitud del peso aparente al introducirlo en la probeta? ¿A qué se debe la disminución aparente en la magnitud del peso? ¿A cuánto equivale la magnitud del empuje que recibe el trozo de hierro y en qué dirección y sentido actúa dicho empuje? ¿Qué cantidad de agua desalojó el trozo de hierro? ¿Cuál es su volumen si sabemos que el peso específico del agua es de 1 g_f/cm^3? ¿Cuál será la magnitud del peso del volumen de agua desalojada por el trozo de metal? Diga si son iguales o diferentes las magnitudes correspondientes al empuje que recibe el trozo de hierro y el del peso del agua desalojada por él. Justifique su respuesta.
5. ¿Se comprobó el principio de Arquímedes? ¿Por qué?
6. Enuncie en sus propias palabras el principio de Arquímedes.

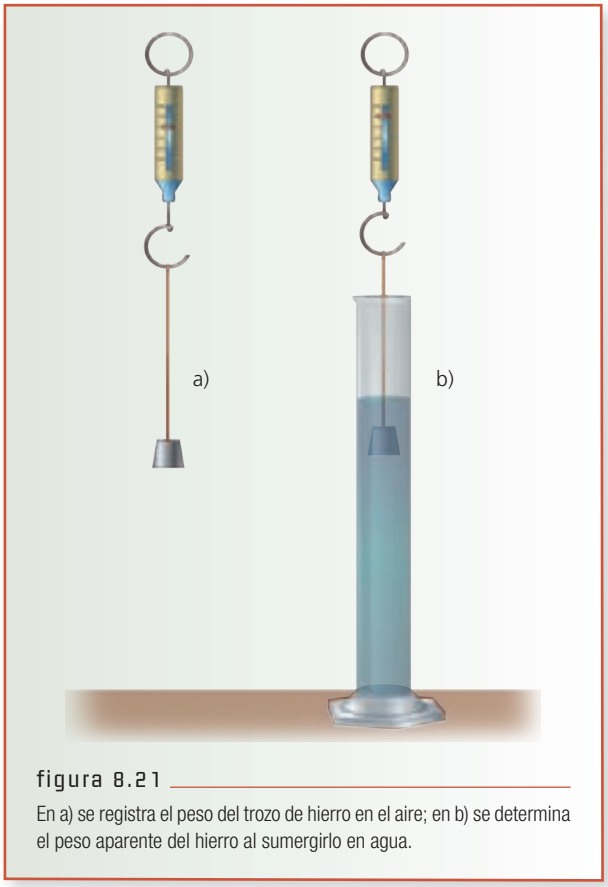


figura 8.21
En a) se registra el peso del trozo de hierro en el aire; en b) se determina el peso aparente del hierro al sumergirlo en agua.

Resumen

1. La *hidrostática* tiene por objetivo estudiar a los líquidos en reposo. Generalmente, sus principios también se aplican a los gases. El término fluido se aplica a líquidos y gases porque ambos tienen propiedades comunes. No obstante, conviene recordar que un gas puede comprimirse con facilidad, mientras un líquido es prácticamente incompresible.
2. Las características de los líquidos son las siguientes: **a)** *Viscosidad.* Es una medida de la resistencia que opone un líquido a fluir. **b)** *Tensión superficial.* Este fenómeno se presenta debido a la atracción entre las moléculas de un líquido. **c)** *Cohesión.* Es la fuerza que mantiene unidas a las moléculas de una misma sustancia. **d)** *Adherencia.* Es la fuerza de atracción que se manifiesta entre las moléculas de dos sustancias diferentes en contacto. Por lo general las sustancias líquidas se adhieren a los cuerpos sólidos. **e)** *Capilaridad.* Se presenta cuando existe contacto entre un líquido y una pared sólida, especialmente si son tubos muy delgados llamados capilares.
3. La *densidad* de una sustancia (ρ) expresa la masa contenida en la unidad de volumen. Su valor se determina dividiendo la masa de la sustancia en-

tre el volumen que ocupa: $\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$. El *peso específico* de una sustancia se determina dividiendo la magnitud de su peso entre el volumen que ocupa: $Pe = \frac{\text{peso}}{\text{volumen}}$. La ecuación que relaciona la densidad con el peso específico es: $Pe = \rho g$, donde g es la magnitud de la aceleración de la gravedad (9.8 m/s^2).

4. La presión indica la relación entre la magnitud de una fuerza aplicada y el área sobre la cual actúa: $P = \frac{F}{A}$ en N/m^2.

5. La *presión hidrostática* (P_h) es la que ejerce todo líquido contenido en un recipiente sobre todos los puntos del líquido y de las paredes del recipiente contenedor. Ello debido a la fuerza que el peso de las moléculas ejerce sobre un área determinada. La presión hidrostática en cualquier punto puede calcularse multiplicando el peso específico del líquido por la altura que hay desde la superficie libre del líquido hasta el punto considerado: $Ph = Peh = \rho gh$. La presión hidrostática en cualquier punto de un recipiente no depende de la forma de éste ni de la cantidad de líquido que contiene, sino únicamente del peso específico y de la altura que hay del punto considerado a la superficie libre del líquido.

6. La Tierra está rodeada por una capa de aire llamada atmósfera, la cual por su peso ejerce una presión sobre todos los cuerpos que están en contacto con ella, llamada *presión atmosférica.* Dicha presión varía con la altura, por lo que al nivel del mar tiene su máximo valor, o presión normal, equivalente a: 1 atmósfera = 760 mm de Hg = 1.013×10^5 N/m^2.

7. Cuando un líquido está encerrado en un recipiente, además de la presión atmosférica recibe otra presión llamada *manométrica* que puede ser causada por el calentamiento del recipiente, la presión *absoluta* será la suma de estas dos presiones. La presión manométrica se mide con dispositivos llamados manómetros. La presión manométrica es igual a la presión absoluta menos la presión atmosférica.

8. *El principio de Pascal* establece que: toda presión que se ejerce sobre un líquido encerrado en un recipiente se transmite con la misma intensidad a todos los puntos del líquido y a las paredes del recipiente que lo contiene. La prensa hidráulica que se utiliza para levantar cuerpos pesados, comprimir algodón o tabaco, extraer aceites y jugos de semillas o frutas, son aplicaciones del principio de Pascal. En una prensa hidráulica una fuerza pequeña que actúa sobre el émbolo menor produce una gran fuerza sobre el émbolo mayor. Su expresión matemática es:

$$\frac{F}{A} = \frac{f}{a}$$

9. *El principio de Arquímedes* dice: todo cuerpo sumergido en un fluido recibe un empuje ascendente igual al peso del fluido desalojado. Para que un cuerpo flote en cualquier fluido, su densidad promedio debe ser menor a la densidad del fluido. La magnitud del empuje que recibe un cuerpo sumergido en un líquido se determina multiplicando el peso específico del líquido por el volumen desalojado de éste: $E = PeV$. Algunas aplicaciones del principio de Arquímedes son flotación de barcos, submarinos, salvavidas, densímetros, o en los flotadores de las cajas de los inodoros.

Autoevaluación

Escriba en su cuaderno las respuestas a las siguientes preguntas. Si se le presentan dudas al responder vuelva a leer la sección correspondiente del libro, la cual viene señalada al final de cada pregunta para su fácil localización.

1. Explique qué estudia la hidrostática. *(Introducción de la unidad 8)*
2. Utilice ejemplos de su entorno para que explique qué se entiende por fluido. *(Introducción de la unidad 8)*
3. Explique por medio de ejemplos de su vida cotidiana las siguientes características de los fluidos: viscosidad, tensión superficial, cohesión, adherencia y capilaridad. *(Sección 1)*
4. Defina el concepto, la fórmula y las unidades de: densidad y peso específico. *(Sección 2)*
5. Explique cómo se determina la densidad de un líquido usando un densímetro. *(Sección 2)*
6. Con un ejemplo de su entorno, explique el concepto de presión. Escriba también su fórmula y unidades. *(Sección 3)*
7. Explique qué origina la presión hidrostática y cómo se calcula su magnitud. *(Sección 3)*
8. Con un ejemplo de su entorno, explique en qué consiste la paradoja hidrostática de Stevin. *(Sección 3)*
9. ¿Qué ocasiona la presión atmosférica y cómo varía respecto a la altura? *(Sección 3)*

10. Defina los siguientes conceptos: presión manométrica y presión absoluta. *(Sección 3)*
11. Explique cómo funciona el manómetro de tubo abierto o manómetro de líquido. *(Sección 3)*
12. Enuncie el principio de Pascal. *(Sección 4)*
13. Explique cómo funciona la prensa hidráulica e indique la expresión matemática usada para el cálculo de la magnitud de la fuerza que se puede obtener en el émbolo mayor. *(Sección 4)*
14. Enuncie el principio de Arquímedes. *(Sección 5)*
15. Explique utilizando ejemplos de su entorno:
    - **a)** ¿En qué condiciones flota un cuerpo sumergido en un líquido?
    - **b)** ¿En qué condiciones queda sumergido dentro de un líquido?
    - **c)** ¿Cuándo se hunde? *(Sección 5)*
16. ¿Por qué flota un barco a pesar de tener grandes dimensiones? *(Sección 5)*
17. ¿Cómo se calcula la magnitud del empuje que recibe un cuerpo al sumergirlo en un líquido? *(Sección 5)*
18. Mencione algunas aplicaciones del principio de Arquímedes. *(Sección 5)*

Coevaluación

Instrucciones: Consolide su aprendizaje, para ello lea y conteste en una hoja las siguientes preguntas. Luego, intercambie con un(a) compañero(a) sus respuestas. Coméntenlas, pónganse de acuerdo y den respuestas comunes. Discútanlas con las demás parejas y enriquezcan sus conocimientos con las aportaciones de todos.

1. Se tienen dos tubos hechos de vidrio, con la misma longitud pero diferente diámetro interior, uno de 1 mm y otro de 5 mm. Si desea que al sumergirlos en un recipiente con agua, ésta ascienda lo más posible, ¿qué diámetro interior escogería y por qué?
2. ¿Por qué al sumergir la punta de un pincel en agua, las cerdas se ven dispersas, pero al sacarla del agua, las cerdas se juntan?
3. ¿Quién tiene una mayor densidad, un litro de agua o 1 000 litros de alcohol? ¿Por qué?
4. Una alberca mide 30 m de longitud, mientras otra mide 10 m de longitud, ambas tienen agua hasta una profundidad de 1 m. ¿Cómo es la presión hidrostática en el fondo de las albercas, diferente o igual? ¿Por qué?
5. Una roca cae al agua en una presa profunda.
    - **a)** ¿Qué sucede con el empuje que recibe a medida que se va hundiendo?
    - **b)** ¿Qué sucede con el empuje que recibe cuando se ha hundido hasta la mitad de la profundidad de la presa, comparado con el empuje que recibe cuando se encuentra en el fondo de la misma? Diga si es mayor, menor, igual o nula. Explique por qué.
6. Una botella de un litro se sumerge hasta la mitad en una pileta con agua, ¿qué volumen de agua desplaza?
7. Un cubo de aluminio cuya masa es de 1 kg se introduce en un vaso de precipitados totalmente lleno con agua hasta el borde y se mide el agua que desplaza. Después se repite el experimento pero ahora se introduce un cubo de hierro de 1 kg. ¿Cómo es la cantidad del líquido desplazado por el cubo de hierro, mayor, menor o igual al desplazado por el cubo de aluminio? Explica por qué.
8. Un cubo de aluminio cuyo volumen es de 0.1 litros se introduce totalmente en un vaso de precipitados lleno hasta el borde con agua, derramando el agua. Después se repite el experimento, pero ahora se introduce un cubo de hierro con un volumen de 0.1 litros. ¿El agua derramada por el cubo de hierro es mayor, menor o igual a la derramada por el cubo de aluminio? ¿Por qué?
9. A un vaso con agua se le agrega un cubo de hielo y se observa cuánto sube el nivel de agua al sumergir totalmente el cubo de hielo. Después de que se ha disuelto el cubo, ¿cómo es ahora el nivel del agua en el vaso, mayor, menor o igual? Justifique su respuesta.

Glosario

Adherencia

Fuerza de atracción de dos sustancias diferentes en contacto. Comúnmente las sustancias líquidas se adhieren a los cuerpos sólidos.

Capilaridad

Se presenta cuando existe contacto entre un líquido y una pared sólida, especialmente si son tubos muy delgados.

Cohesión

Fuerza que mantiene unidas a las moléculas de una misma sustancia.

Densidad

Representa la masa de una sustancia contenida en la unidad de volumen.

Fluido

Nombre que se les da a los líquidos y gases que se caracterizan por estar constituidos por gran cantidad de moléculas, éstas se deslizan unas sobre otras en los líquidos, y en los gases se mueven sueltas, es decir, las moléculas se encuentran separadas unas de otras.

Hidráulica

Parte de la Física que estudia la mecánica de los fluidos.

Hidrostática

Estudia a los líquidos en reposo.

Paradoja hidrostática de Stevin

La presión ejercida por un líquido en cualquier punto de un recipiente no depende de la forma de éste ni de la cantidad de líquido contenido, sino únicamente del peso específico y de la altura que hay del punto considerado a la superficie libre del líquido.

Peso específico

Se determina al dividir la magnitud del peso de una sustancia entre el volumen que ocupa.

Presión

Indica la relación entre la magnitud de una fuerza aplicada y el área sobre la cual actúa.

Presión atmosférica

Capa de aire que rodea a la Tierra y que por su peso ejerce una presión sobre todos los cuerpos que están en contacto con él.

Presión hidrostática

Es la que origina todo líquido sobre todos los puntos del líquido y las paredes del recipiente que lo contiene. Sólo es nula en la superficie libre del líquido. Esto se debe a la fuerza que el peso de las moléculas ejerce sobre un área determinada; la presión aumenta conforme es mayor la profundidad.

Principio de Arquímedes

Todo cuerpo sumergido en un fluido recibe un empuje ascendente cuya magnitud es igual a la magnitud del peso del fluido desalojado.

Principio de Pascal

Toda presión que se ejerce sobre un líquido encerrado en un recipiente se transmite con la misma intensidad a todos los puntos del líquido y a las paredes del recipiente que lo contiene.

Viscosidad

Es una medida de la resistencia que opone un líquido a fluir.

UNIDAD 9

CONTENIDO

- Aplicaciones de la hidrodinámica
- Gasto, flujo y ecuación de continuidad
- Teorema de Bernoulli
- Aplicaciones del teorema de Bernoulli
- Movimiento de los cuerpos sólidos en los fluidos
- Actividad experimental 16: *Principio de Bernoulli*
- Resumen
- Autoevaluación
- Coevaluación
- Glosario

La hidrodinámica es la parte de la hidráulica que estudia el **comportamiento de los líquidos en movimiento.** Para ello considera, entre otras cosas: la velocidad, la presión, el flujo y el gasto del líquido.

En el estudio de la hidrodinámica, **el teorema de Bernoulli, que trata de la Ley de la Conservación de la Energía,** es de primordial importancia, pues señala que la suma de las energías cinética, potencial y de presión de un líquido en movimiento en un punto determinado es igual a la de otro punto cualquiera. La mecánica de los fluidos investiga las propiedades de un fluido ideal sin fricción y también estudia las características de un fluido viscoso en el cual se presenta fricción. Un fluido es compresible cuando su densidad varía de acuerdo con la presión que recibe; tal es el caso del aire y otros gases estudiados por la aerodinámica. **La hidrodinámica investiga fundamentalmente los fluidos incompresibles,** es decir, a los líquidos, pues su densidad prácticamente no varía cuando cambia la presión ejercida sobre ellos.

Cuando un fluido se encuentra en movimiento, una capa de dicho fluido ejerce resistencia al movimiento de otra capa que se encuentre paralela y adyacente a ella; **a esta resisitencia se le llama viscosidad.**

Para que un fluido como el agua, petróleo o gasolina fluya por una tubería desde la fuente de abastecimiento hasta los lugares de consumo, es necesario utilizar bombas, ya que sin ellas las fuerzas que se oponen al desplazamiento entre las distintas capas del fluido lo impedirían.

Cuando un cuerpo sólido se mueve en un fluido, como puede ser el aire, agua, aceite, etc., experimenta una resistencia que se opone a su movimiento, es decir, se presenta una fuerza en sentido contrario al movimiento del cuerpo. Dicha fuerza recibe el nombre de **fuerza de fricción viscosa,** y depende de la velocidad del sólido, de la viscosidad del fluido, así como de la forma o figura geométrica del cuerpo.

La **aerodinámica** estudia las formas más adecuadas para que el móvil que se proyecta construir disminuya la fuerza de fricción viscosa del aire en las mejores condiciones. Si se trata de un avión, los estudios y ensayos aerodinámicos determinarán las formas que, además de garantizar la seguridad del vuelo, contribuirán a transportar la mayor carga posible en las condiciones más económicas y con mayor rapidez que se pueda lograr. Al construir lanchas, barcos de vela, de pasajeros o militares, se buscan las formas más adecuadas, ya sean curvadas o lisas, que reduzcan la fuerza de fricción viscosa del agua.



Hidrodinámica

1 Aplicaciones de la hidrodinámica

Las aplicaciones de la hidrodinámica se evidencian en el diseño de canales, puertos, presas, cascos de los barcos, hélices, turbinas y ductos en general.

Con el objetivo de facilitar el estudio de los líquidos en movimiento, generalmente se hacen las siguientes suposiciones:

1. Los líquidos son completamente incompresibles.
2. Se considera despreciable la viscosidad, es decir, se supone que los líquidos son ideales, por ello no presentan resistencia al flujo, lo cual permite despreciar las pérdidas de energía mecánica producidas por su viscosidad, pues, como sabemos, durante el movimiento ésta genera fuerzas tangenciales entre las diferentes capas de un líquido.
3. El flujo de los líquidos se supone estacionario o de régimen estable. Esto sucede cuando la magnitud de la velocidad de toda partícula del líquido es igual al pasar por el mismo punto. Por ejemplo, en la figura 9.1 se observa la trayectoria seguida por la partícula de un líquido, esto es, su línea de corriente al pasar por el punto A.

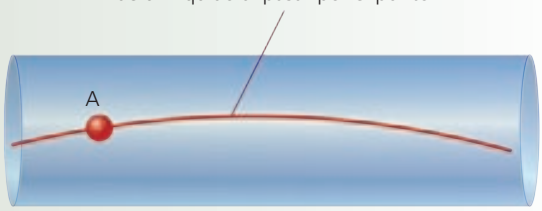


figura 9.1

La partícula del líquido que pasa por el punto A lleva cierta magnitud de velocidad; si cualquier partícula que pase por el punto A lo hace con la misma magnitud de la velocidad y trayectoria o línea de corriente, el flujo es estacionario o de régimen estable.

2 Gasto, flujo y ecuación de continuidad

Gasto

Cuando un líquido fluye a través de una tubería es muy común hablar de su gasto, que por definición es: la relación existente entre el volumen de líquido que fluye por un conducto y el tiempo que tarda en fluir.

$$G = \frac{V}{t}$$

donde: G = gasto en m^3/s

V = volumen del líquido que fluye en metros cúbicos (m^3)

t = tiempo que tarda en fluir el líquido en segundos (s)

El gasto también puede calcularse si se conoce la magnitud de la velocidad del líquido y el área de la sección transversal de la tubería. Veamos la figura 9.2.

Para conocer el volumen de líquido que pasa del punto 1 al 2 de la tubería, basta multiplicar entre sí el área, la magnitud de la velocidad del líquido y el tiempo que tarda en pasar por los puntos:

$$V = Avt \qquad (1)$$

y como

$$G = \frac{V}{t} \qquad (2)$$

Sustituyendo 1 en 2:

$$G = \frac{Avt}{t}$$

$$G = Av$$

donde: G = gasto en m^3/s

A = área de la sección transversal del tubo en metros cuadrados (m^2)

v = magnitud de la velocidad del líquido en m/s

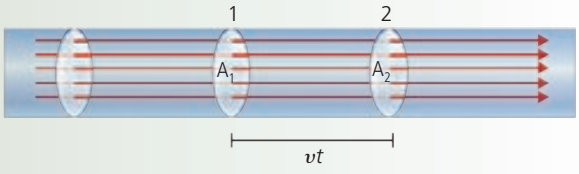


figura 9.2

El volumen del líquido que fluye por la tubería es igual a: $V = Avt$.

Flujo

Se define como la cantidad de masa del líquido que fluye a través de una tubería en un segundo.

$$F = \frac{m}{t}$$

donde: F = flujo en kg/s

m = masa del líquido que fluye en kilogramos (kg)

t = tiempo que tarda en fluir en segundos (s)

Como la densidad de un cuerpo es la relación entre su masa y volumen tenemos:

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (1)$$

$$\therefore m = \rho V \qquad (2)$$

por lo que el flujo será:

$$F = \frac{\rho V}{t} \qquad (3)$$

y como

$$G = \frac{V}{t} \qquad (4)$$

Sustituyendo 4 en 3:

$$F = G\rho$$

donde: F = flujo en kg/s

G = gasto en m^3/s

ρ = densidad en kg/m^3

Ecuación de continuidad

Para comprender el significado de esta ecuación veamos la figura 9.3.

La tubería de la figura 9.3 reduce de manera considerable su sección transversal entre los puntos 1 y 2. Sin embargo, considerando que los líquidos son incompresibles evidentemente la cantidad de líquido que pasa por los puntos 1 y 2 es la misma. Para ello, en el tubo de mayor sección transversal (punto 1), la magnitud de la velocidad del líquido es menor a la que adquiere al pasar al punto 2, donde la reducción del área se compensa con el aumento en la magnitud de la velocidad del líquido. Por tanto, el gasto en el punto 1 es igual al gasto en el punto 2.

$$G_1 = G_2 = \text{constante}$$

$A_1v_1 = A_2v_2$ Ecuación de continuidad

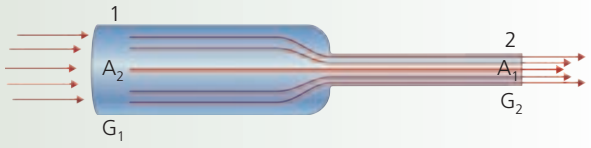


figura 9.3

La cantidad de líquido que pasa por el punto 1 es la misma que pasa por el punto 2; por tanto, $G_1 = G_2$, o bien, $A_1v_1 = A_2v_2$: (ecuación de continuidad).

3 Teorema de Bernoulli

El físico suizo Daniel Bernoulli (1700-1782), al estudiar el comportamiento de los líquidos, descubrió que la presión de un líquido que fluye por una tubería es baja si la magnitud de su velocidad es alta y, por el contrario, es alta si la magnitud de su velocidad es baja. Por tanto, la ley de la conservación de la energía también se cumple cuando los líquidos están en movimiento. Con base en sus estudios, Bernoulli enunció el siguiente teorema que lleva su nombre:

En un líquido ideal cuyo flujo es estacionario, la suma de las energías cinética, potencial y de presión que tiene el líquido en un punto, es igual a la suma de estas energías en otro punto cualquiera (figura 9.4).

El líquido tiene, tanto en el punto 1 como en el 2, tres tipos de energía:

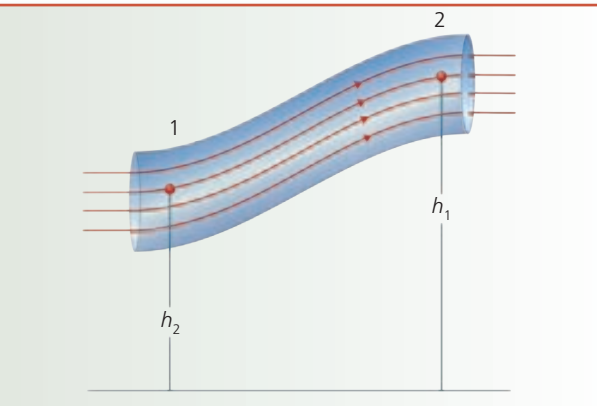


figura 9.4

El teorema de Bernoulli se basa en la ley de la conservación de la energía; por ello, en los puntos 1 y 2 ésta es la misma.

a) Energía cinética, debido a la velocidad y a la masa del líquido: $Ec = \frac{1}{2}mv^2$.

b) Energía potencial, debido a la altura del líquido, respecto a un punto de referencia: $Ep = mgh$.

c) Energía de presión, originada por la presión que las moléculas del líquido ejercen entre sí, por lo cual el trabajo realizado para el desplazamiento de las moléculas es igual a la energía de presión. Para comprender la expresión matemática de esta energía veamos la figura 9.5.

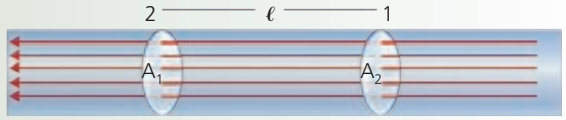


figura 9.5

La energía de presión es igual al trabajo realizado para que las moléculas del líquido se desplacen del punto 1 al 2, una distancia ℓ originada por la fuerza que se genera entre una molécula y otra.

Puesto que la energía de presión es igual al trabajo realizado, tenemos:

$$E_{\text{presión}} = T = F\ell \qquad (1)$$

como:

$$P = \frac{F}{A}$$

$$\therefore F = PA \qquad (2)$$

Sustituyendo 2 en 1:

$$E_{\text{presión}} = PA\ell \qquad (3)$$

El área de la sección transversal del tubo multiplicada por la distancia ℓ recorrida por el líquido nos da el volumen de éste que pasa del punto 1 al 2, $A\ell = V$, de donde la ecuación 1 queda:

$$E_{\text{presión}} = PV \qquad (4)$$

como:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\therefore V = \frac{m}{\rho} \qquad (5)$$

Sustituyendo 5 en 4:

$$E_{\text{presión}} = P\frac{m}{\rho}$$

donde: $E_{\text{presión}}$ = energía de presión en joules *(J)*

P = presión en N/m^2

m = masa del líquido en kilogramos (kg)

ρ = densidad del líquido en kg/m^3

Así, de acuerdo con el teorema de Bernoulli, la suma de las energías cinética, potencial y de presión en el punto 1 es igual a la suma de estas energías en el punto 2 (figura 9.4):

$$Ec_1 + Ep_1 + E_{\text{presión}_1} = Ec_2 + Ep_2 + E_{\text{presión}_2}$$

al sustituir dichas energías por sus respectivas expresiones, tenemos:

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 + \frac{P_1 m}{\rho_1} = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 + \frac{P_2 m}{\rho_2}$$

Si dividimos la expresión anterior entre la masa se obtiene la ecuación correspondiente al teorema de Bernoulli para expresar la energía por unidad de masa:

$$\frac{v_1^2}{2} + gh_1 + \frac{P_1}{\rho_1} = \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + \frac{P_2}{\rho_2}$$

Aunque el teorema de Bernoulli parte de la consideración de que el líquido es ideal (por lo cual se desprecian las pérdidas de energía causadas por la viscosidad de todo líquido en movimiento), su ecuación permite resolver con facilidad muchos problemas sin incurrir en errores graves por despreciar esas pérdidas de energía, pues resultan insignificantes comparadas con las otras energías.

4 Aplicaciones del teorema de Bernoulli

El descubrimiento de Bernoulli: **a medida que es mayor la magnitud de la velocidad de un fluido, menor es su presión y viceversa**, ha permitido al hombre encontrarle varias aplicaciones prácticas, algunas de las cuales explicaremos en las siguientes secciones, pero antes de ello le sugerimos realizar el siguiente experimento para comprobar que la presión disminuye al aumentar la magnitud de la velocidad: coloque un embudo en posición invertida junto a un grifo de agua, como se ve en la figura 9.6, abra la llave de tal forma que salga un chorro regular de agua. Coloque una pelota de tenis de mesa hasta el fondo del embudo y suéltela, observará que queda suspendida en la corriente de agua sin caer. Esto sucede porque al fluir el agua y encontrarse con el obstáculo de la pelota, aumenta magnitud de su velocidad al pasar alrededor de ella disminuyendo su presión. La pelota no cae, pues recibe la presión que la atmósfera ejerce sobre ella y ésta es mayor que la presión del agua.

Ahora, realice lo siguiente: sostenga una hoja de papel como se observa en la figura 9.7 y sople fuertemente encima

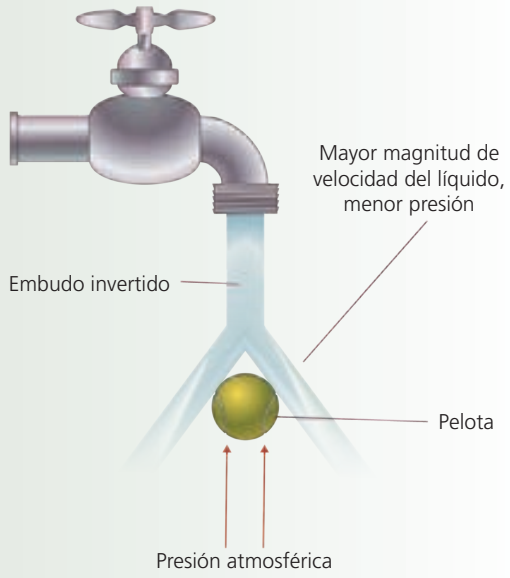


figura 9.6

Demostración de que la presión disminuye al aumentar la magnitud de la velocidad de un fluido.



figura 9.7

La presión encima de la hoja disminuye cuando al soplar sobre ella se incrementa la magnitud de la velocidad del aire.

de ella. Observe que al soplar sobre la hoja se provoca una corriente de aire, por lo que al aumentar la magnitud de la velocidad de éste, disminuye la presión sobre la hoja y la presión atmosférica empuja la hoja hacia arriba.

Es importante reflexionar que al aumentar la magnitud de la velocidad de un fluido, la presión que se reduce es la que el fluido ejerce sobre el ducto o tubería por la que circula, ya que la presión que ejerce sobre los cuerpos u objetos que se interponen en su camino tiene un valor que puede ser bastante considerable. Por ejemplo: al utilizar una manguera por la que circula agua e insertarle otra manguera de menor diámetro, en esta parte, el agua aumentará la magnitud de su velocidad y disminuirá su presión, pero al dirigir el chorro sobre algunos cuerpos se observará que la presión que reciben es mayor que si no se le hubiera insertado la manguera de menor diámetro.

Teorema de Torricelli

Una aplicación del teorema de Bernoulli se tiene cuando se desea conocer la magnitud de velocidad de salida de un líquido a través de un orificio en un recipiente, como el ilustrado en la figura 9.8.

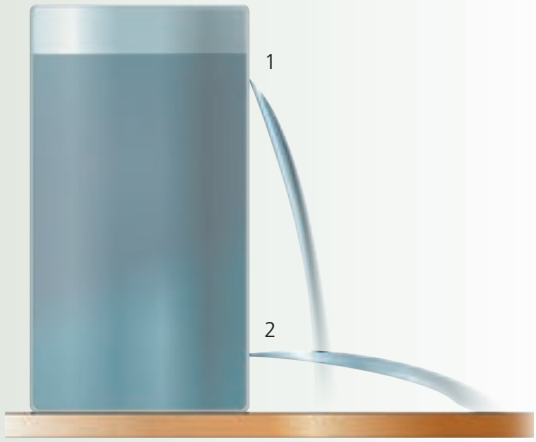


figura 9.8

La magnitud de la velocidad con la que sale un líquido por un orificio es mayor conforme aumenta la profundidad (teorema de Torricelli).

Aplicando la ecuación del teorema de Bernoulli, para el punto 1 ubicado sobre la superficie libre del líquido (figura 9.8) y para el punto 2 localizado en el fondo del recipiente donde se encuentra el orificio de salida, tenemos:

$$\frac{v_1^2}{2} + gh_1 + \frac{P_1}{\rho_1} = \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + \frac{P_2}{\rho_2}$$

Sin embargo, podemos hacer las siguientes consideraciones:

1. Como la magnitud de velocidad del líquido en el punto 1 es despreciable si la comparamos con la magnitud de velocidad de salida del líquido en el punto 2, se puede eliminar el término correspondiente a la energía cinética en el punto 1, es decir: $\frac{v_1^2}{2}$.

2. Como el punto 2 se encuentra en el fondo del recipiente, a una altura cero sobre la superficie, podemos eliminar el término que indica la energía potencial en el punto 2, esto es: gh_2.

3. Como la energía de presión es provocada por la presión atmosférica y ésta es la misma en los dos puntos,

se pueden eliminar los términos que corresponden a la energía de presión en dichos puntos, esto es:

$$\frac{P_1}{\rho_1} \text{ y } \frac{P_2}{\rho_2}$$

De acuerdo con lo antes señalado, de la ecuación de Bernoulli sólo quedan los siguientes términos:

$$gh_1 = \frac{v_2^2}{2}$$

Puesto que deseamos calcular la magnitud de la velocidad de salida en el orificio, la despejamos de la ecuación anterior:

$$v = \sqrt{2gh}$$

donde: v = magnitud de la velocidad del líquido por el orificio en m/s

g = magnitud de la aceleración de la gravedad = 9.8 m/s^2

h = profundidad a la que se encuentra el orificio de salida en metros (m)

La ecuación anterior fue desarrollada por el físico italiano **Evangelista Torricelli** (1608-1647), quien enunció el siguiente teorema que lleva su nombre:

La magnitud de velocidad con la que sale un líquido por el orificio de un recipiente es igual a la que adquiriría un cuerpo que se dejara caer libremente desde la superficie libre del líquido hasta el nivel del orificio.

Tubo de Pitot

Para medir en una forma sencilla la magnitud de la velocidad de la corriente de un río se usa el llamado tubo de Pitot, figura 9.9. La forma del tubo es la de una L; al introducirlo en la corriente, por la presión de ésta, el agua se elevará a cierta altura sobre la superficie. Conociendo dicha altura, la magnitud de la velocidad de la corriente puede calcularse si se emplea la fórmula del teorema de Torricelli:

$$v = \sqrt{2gh}$$

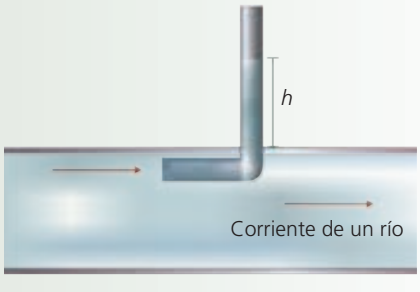


figura 9.9

La altura que alcanzará el agua en el tubo de Pitot sobre la superficie aumentará si es mayor la magnitud de la velocidad.

Tubo de Venturi

El tubo de Venturi se emplea para medir la velocidad de un líquido que circula a presión dentro de una tubería.

Su funcionamiento se basa también en el teorema de Bernoulli. Dicho tubo tiene un estrechamiento como se aprecia en la figura 9.10; cuando el líquido pasa por esta sección aumenta la magnitud de su velocidad, pero disminuye su presión. Al medir la presión en la parte ancha y en la estrecha, por medio de dos manómetros acoplados en esos puntos, y conociendo el valor de las áreas de sus respectivas secciones transversales, se puede calcular la magnitud de la velocidad del líquido a través de la tubería por la cual circula, si se utiliza la siguiente expresión, obtenida a partir de la ecuación de Bernoulli:

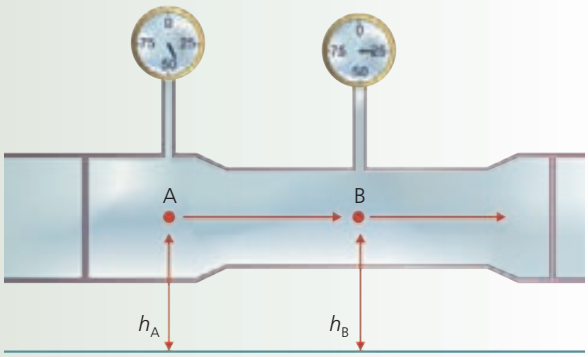


figura 9.10

Al intercalar un tubo de Venturi en una tubería, la magnitud de la velocidad del líquido se determina por la disminución de la presión en el punto B, ocasionada por el aumento de la magnitud de la velocidad al reducirse el área en el estrechamiento.

$$v_A = \sqrt{\frac{\frac{2}{\rho}(P_A - P_B)}{\left(\frac{A_A}{A_B}\right)^2 - 1}}$$

donde: v_A = magnitud de velocidad del líquido a través de la tubería en m/s

P_A = presión del líquido en la parte ancha del tubo en N/m^2

P_B = presión del líquido en el estrechamiento del tubo de Venturi en N/m^2

ρ = densidad del líquido en kg/m^3

A_A = área de la sección transversal de la parte ancha del tubo en metros cuadrados (m^2)

A_B = área de la sección transversal en el estrechamiento del tubo en metros cuadrados (m^2)

Grupo Editorial Patria

Por considerarlo de interés, haremos la deducción de la ecuación usada para calcular la magnitud de la velocidad en el tubo de Venturi:

De acuerdo con la ecuación de Bernoulli, la suma de las energías cinética, potencial y de presión en los puntos A y B de la figura 9.10 es:

$$\frac{v_A^2}{2} + gh_A + \frac{P_A}{\rho} = \frac{v_B^2}{2} + gh_B + \frac{P_B}{\rho} \quad (1)$$

Como la altura a la que se encuentra el punto A y el B es la misma, podemos eliminar los términos correspondientes a su energía potencial, gh_A y gh_B, por lo que la ecuación 1 queda:

$$\frac{v_A^2}{2} + \frac{P_A}{\rho} = \frac{v_B^2}{2} + \frac{P_B}{\rho} \quad (2)$$

Reagrupando términos:

$$\frac{P_A}{\rho} - \frac{P_B}{\rho} = \frac{v_B^2}{2} - \frac{v_A^2}{2} \quad (3)$$

Multiplicando por 2 la ecuación 3:

$$2\left(\frac{P_A}{\rho} - \frac{P_B}{\rho}\right) = 2\left(\frac{v_B^2}{2} - \frac{v_A^2}{2}\right)$$

obtenemos:

$$\frac{2}{\rho}(P_A - P_B) = v_B^2 - v_A^2 \quad (4)$$

De acuerdo con la ecuación de continuidad, sabemos que el gasto en A es igual al gasto en B, de donde:

$$G_A = G_B$$

esto es:

$$v_A A_A = v_B A_B \quad (5)$$

$$\therefore v_B = \frac{v_A A_A}{A_B} \quad (6)$$

Sustituyendo la ecuación 6 en la 4:

$$\frac{2}{\rho}(P_A - P_B) = \left(\frac{v_A A_A}{A_B}\right) - v_A^2$$

Que es igual a:

$$\frac{2}{\rho}(P_A - P_B) = \frac{v_A^2 A_A^2}{A_B^2} - v_A^2 \quad (7)$$

Utilizando como factor común a v_A^2:

$$\frac{2}{\rho}(P_A - P_B) = v_A^2\left(\frac{A_A^2}{A_B^2} - 1\right) \quad (8)$$

Finalmente, al despejar de la ecuación anterior la velocidad en el punto A nos queda la ecuación para calcular la magnitud de la velocidad de un líquido mediante el empleo del tubo de Venturi.

Otra aplicación interesante del teorema de Bernoulli se tiene en la fuerza de sustentación que posibilita el vuelo de los aviones; al observar la forma del ala de un avión, notamos que su cara superior es curvada y la inferior plana. Cuando el avión está en movimiento, la magnitud de la velocidad del aire que pasa por la superficie del ala es mayor que la que pasa por la parte inferior para no retrasarse respecto a la demás masa de aire (figura 9.11). Este aumento de la magnitud de su velocidad en la parte superior origina la disminución de la presión en esa cara, por eso, al ser mayor la presión en la cara inferior del ala, el avión recibe una fuerza que lo impulsa en forma ascendente, permitiendo que pueda sostenerse en el aire al aumentar la magnitud de su velocidad.

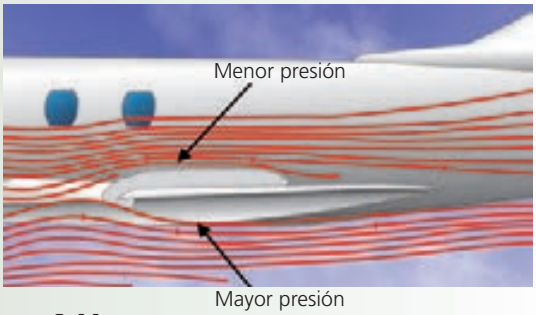


figura 9.11

La fuerza de sustentación que se genera al ser mayor la presión en la parte inferior del ala, posibilita que un avión se eleve.

5 Movimiento de los cuerpos sólidos en los fluidos

Cuando un cuerpo sólido se mueve en un fluido, como puede ser aire, agua, aceite, etc., experimenta una resistencia que se opone a su movimiento, es decir, se presenta una fuerza en sentido contrario al del movimiento del cuerpo. Dicha fuerza recibe el nombre de fuerza de fricción viscosa, y depende de la velocidad del sólido, de la viscosidad del fluido, así como de la forma o figura geométrica del cuerpo. Por tanto, si una persona se mueve en una motocicleta, recibirá una mayor magnitud de fuerza viscosa si viaja a 70 km/h que si va a 50 km/h. Si se desplaza en una alberca, la magnitud de fuerza viscosa será mayor que si se desplaza en el aire, ya que la viscosidad de éste es menor a la del agua. Finalmente, la magnitud de fuerza viscosa que recibe un automóvil que viaje a 70 km/h será menor a la magnitud de fuerza viscosa sobre un camión que viaje a la misma magnitud de velocidad, debido a que, por su forma, éste presenta una mayor resistencia que se opone a su movimiento al estar expuesto al contacto con el aire.

Un automóvil que se desplaza a una velocidad cuya magnitud es de 100 km/h consume hasta 30% de la potencia del motor para vencer la resistencia del aire, es decir, su fuerza de fricción viscosa, misma que incrementa su magnitud en una relación directamente proporcional con el cuadrado de la magnitud de su velocidad, de tal manera que si la magnitud de la velocidad del automóvil se duplica, la magnitud de fuerza de fricción viscosa se cuadruplica (figura 9.12).

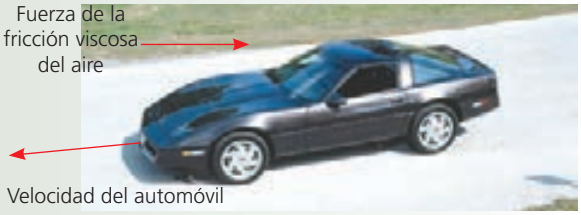


figura 9.12

La fuerza de fricción viscosa del aire que se produce cuando un móvil se desplaza por él, cuadruplica su magnitud si la magnitud de la velocidad del móvil se duplica.

También, por supuesto, se incrementa el consumo de gasolina.

Cuando el movimiento de un fluido se presenta de manera desordenada, el desplazamiento de sus capas no sigue trayectorias paralelas, por lo que describe trayectorias sinuosas, produciéndose las llamadas **turbulencias**. En los aviones, trenes, automóviles y todo tipo de vehículos aéreos o terrestres, se estudian cuidadosamente las mejores posibilidades de reducir que su paso por el aire produzca turbulencia, y con ello una intensa fuerza de fricción viscosa (figura 9.13).

La aerodinámica es la ciencia que estudia los fenómenos producidos por el movimiento relativo del aire y de un cuerpo fijo o móvil en su seno. La aerodinámica estudia las formas más adecuadas para que el móvil que se proyecta construir disminuya la magnitud de la fuerza de fricción viscosa del aire. Si se trata de un avión, los estudios y ensayos aerodinámicos determinarán las formas que, además de garantizar la seguridad del vuelo, contribuirán a transportar la mayor carga posible en las condiciones más económicas y con la mayor rapidez posible. Al construir lanchas, barcos de velas, de pasajeros o militares, se buscan las formas más adecuadas, ya sean curvadas o lisas, que reduzcan la magnitud de la fuerza de fricción viscosa del agua (figura 9.14).



figura 9.14

Para reducir la magnitud de la fuerza de fricción viscosa del agua, los barcos se construyen dándole las formas más convenientes.

En lo relativo a los deportes, también se aplica la aerodinámica, no sólo en carreras de autos o en regatas de barcos de vela, sino también para determinar por medio de túneles aerodinámicos la postura más conveniente de los esquiadores (figura 9.15).



figura 9.13

Los aviones se diseñan de tal manera que durante su vuelo se reduzca la magnitud de la fuerza de fricción viscosa del aire.



figura 9.15

Para alcanzar una mayor magnitud de velocidad, los esquiadores estudian y practican la postura que deben mantener para reducir la magnitud de la fuerza de fricción viscosa del aire.

Resolución de problemas de hidrodinámica

1 Calcular el gasto de agua por una tubería al circular 1.5 m^3 en 1/4 de minuto.

Solución:

Datos

$G = ?$

$V = 1.5\ m^3$

$t = 15\ s$

Fórmula

$$G = \frac{V}{t}$$

Sustitución y resultado

$$G = \frac{1.5\ m^3}{15\ s} = 0.1\ m^3/s$$

2 Calcular el tiempo que tardará en llenarse un tanque cuya capacidad es de 10 m^3 al suministrarle un gasto de 40 ℓ/s.

Solución:

Datos

$t = ?$

$V = 10\ m^3$

$G = 40\ \ell/s$

Fórmula

$$G = \frac{V}{t} \therefore t = \frac{V}{G}$$

Transformación de unidades

$$40\frac{\ell}{s} \times \frac{1\ m^3}{1000\ \ell} = 0.04\ m^3/s$$

Sustitución y resultado

$$t = \frac{10\ m^3}{0.04\ m^3/s} = 250\ s$$

3 Calcular el gasto de agua por una tubería de diámetro igual 5.08 cm, cuando la magnitud de la velocidad del líquido es de 4 m/s.

Solución:

Datos

$G = ?$

$d = 5.08\ cm = 0.0508\ m$

$v = 4\ m/s$

Fórmulas

$G = vA$

$A = \frac{\pi}{4}d^2$

Cálculo del área

$$A = \frac{3.1416}{4}(0.0508\ m)^2 = 0.002\ m^2$$

Sustitución y resultado

$$G = 4\ m/s \times 0.002\ m^2 = 0.008\ m^3/s$$

4 Determinar el diámetro que debe tener una tubería, para que el gasto de agua sea de 0.3 m^3/s a una velocidad cuya magnitud es de 8 m/s.

Solución:

Datos

$d = ?$

$G = 0.3\ m^3/s$

$v = 8\ m/s$

Fórmulas

$$G = vA \therefore A = \frac{G}{v}$$

$$A = \frac{\pi}{4}d^2 \therefore d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Sustitución y resultado

$$A = \frac{0.3\ m^3/s}{8\ m/s} = 0.0375\ m^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0.0375\ m^2}{3.1416}} = 0.218\ m$$

5 Por una tubería fluyen 1 800 litros de agua en un minuto, calcular:

a) El gasto

b) El flujo

Dato: densidad del agua 1 000 kg/m^3

Solución:

Datos

$V = 1\,800\ \ell = 1.8\ m^3$

$t = 1\ min = 60\ s$

$\rho_{H_2O} = 1000\ kg/m^3$

a) $G = ?$

b) $F = ?$

Fórmulas

a) $G = \frac{V}{t}$

b) $F = G\rho$

Sustitución y resultados

a) $$G = \frac{1.8\ m^3}{60\ s} = 0.03\ m^3/s$$

b) $F = 0.03\ m^3/s \times 1000\ kg/m^3 = 30\ kg/s$

6 Por una tubería de 3.81 cm de diámetro circula agua a una velocidad cuya magnitud es de 3 m/s. En una parte de la tubería hay un estrechamiento y el diámetro es de 2.54 cm, ¿qué magnitud de velocidad llevará el agua en este punto?

Solución:

Datos

$d_1 = 3.81\ cm = 0.0381\ m$

$v_1 = 3\ m/s$

Fórmulas

$G_1 = G_2$

o bien:

$d_2 = 2.54 \text{ cm} = 0.0254 \text{ m}$

$v_2 = ?$

$A_1 v_1 = A_2 v_2$

$\therefore v_2 = \dfrac{A_1 v_2}{A_2}$

$A = \dfrac{\pi}{4} d^2$

Sustitución y resultado

$$v_2 = \frac{\frac{\pi}{4} d_1^2 v_1}{\frac{\pi}{4} d_2^2} = \frac{d_1^2 v_1}{d_2^2}$$

$$v_2 = \frac{(0.0381 \text{ m})^2 \times 3 \text{ m/s}}{(0.0254 \text{ m})^2} = 6.74 \text{ m/s}$$

7 ¿Con qué magnitud de velocidad sale un líquido por un orificio que se encuentra a una profundidad de 0.9 m?

Solución:

Datos

$v = ?$

$h = 0.9 \text{ m}$

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$

Fórmula

$v = \sqrt{2gh}$

Sustitución y resultado

$$v = \sqrt{2 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.9 \text{ m}} = 4.2 \text{ m/s}$$

8 Un tubo de Pitot se introduce en la corriente de un río; el agua alcanza una altura de 0.15 m en el tubo. ¿A qué magnitud de velocidad va la corriente?

Solución:

Datos

$h = 0.15 \text{ m}$

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$

$v = ?$

Fórmula

$v = \sqrt{2gh}$

Sustitución y resultado

$$v = \sqrt{2 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.15 \text{ m}} = 1.71 \text{ m/s}$$

9 Un tubo de Venturi tiene un diámetro de 0.1524 m y una presión de 4.2×10^4 N/m² en su parte más ancha. En el estrechamiento, el diámetro es de 0.0762 m y la presión es de 3×10^4 N/m². ¿Cuál es la magnitud de la velocidad del agua que fluye a través de la tubería?

Datos

$d_A = 0.1524 \text{ m}$

$P_A = 4.2 \times 10^4 \text{ N/m}^2$

$d_B = 0.0762 \text{ m}$

$P_B = 3 \times 10^4 \text{ N/m}^2$

$\rho_{H_2O} = 1\,000 \text{ kg/m}^3$

$v_A = ?$

Fórmula

$$v_A = \sqrt{\frac{\frac{2}{\rho}(P_A - P_B)}{\left(\frac{A_A}{A_B}\right)^2 - 1}}$$

Sustitución y resultado

$$v_A = \sqrt{\frac{\frac{2}{1000 \text{ kg/m}^3}(4.2 \times 10^4 \text{ N/m}^2 - 3 \times 10^4 \text{ N/m}^2)}{\left(\frac{\frac{\pi}{4}(0.1524 \text{ m})^2}{\frac{\pi}{4}(0.0762 \text{ m})^2}\right)^2 - 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.002 \text{ m}^3/\text{kg} \times 1.2 \times 10^4 \text{ kg m/s}^2\text{m}^2}{15.99 - 1}} = 1.26 \text{ m/s}$$

Ejercicios propuestos

1. Calcular el gasto de agua por una tubería, así como el flujo, al circular 4 m^3 en 0.5 minutos.

$$\rho_{H_2O} = 1\,000 \text{ kg/m}^3$$

2. Para llenar un tanque de almacenamiento de gasolina se envió un gasto de 0.1 m^3/s durante un tiempo de 200 s. ¿Qué volumen tiene el tanque?

3. Calcular el tiempo que tardará en llenarse una alberca, cuya capacidad es de 400 m^3 si se alimenta recibiendo un gasto de 10 ℓ/s. Dar la respuesta en minutos y horas.

4. Determine el gasto de petróleo crudo que circula por una tubería de área igual a 0.05 m^2 en su sección transversal y la velocidad del líquido tiene una magnitud de 2 m/s.

5. ¿Cuál es el gasto de agua en una tubería que tiene un diámetro de 3.81 cm, cuando la magnitud de velocidad del líquido es de 1.8 m/s?

6. Calcular el diámetro que debe tener una tubería para que el gasto sea de 0.02 m^3/s a una velocidad cuya magnitud es de 1.5 m/s.

7. Por una tubería de 5.08 cm de diámetro, circula agua a una velocidad cuya magnitud es de 1.6 m/s. Calcular la magnitud de la velocidad que llevará el agua, al pasar por un estrechamiento de la tubería donde el diámetro es de 4 cm.

8. Determinar la magnitud de la velocidad con la que sale un líquido por un orificio localizado a una profundidad de 2.6 m en un tanque de almacenamiento.

9. Para medir la magnitud de la velocidad de la corriente en un río se introduce en él un tubo de Pitot, la altura a la que llega el agua dentro del tubo es de 0.2 m. ¿A qué magnitud de velocidad va la corriente?

10. En la parte más ancha de un tubo de Venturi hay un diámetro de 10.16 cm y una presión de 3×10^4 N/m^2. En el estrechamiento del tubo, el diámetro mide 5.08 cm y tiene una presión de 1.9×10^4 N/m^2.

    a) ¿Cuál es la magnitud de la velocidad del agua que fluye a través de la tubería?

    b) ¿Cuál es el gasto?

    c) ¿Cuál es el flujo?

Actividad experimental 16

Principio de Bernoulli

Objetivo

Medir la magnitud de la velocidad de un líquido que circula a presión dentro de una tubería utilizando el tubo de Venturi, cuyo funcionamiento se basa en el principio de Bernoulli.

Consideraciones teóricas

La **hidrodinámica** es la parte de la Física que estudia los líquidos en movimiento. Para ello considera, entre otras cosas: la velocidad, la presión, el flujo y el gasto del líquido. Las aplicaciones de la hidrodinámica se evidencian en el diseño de canales, puertos, presas, casco de los barcos, hélices, turbinas y ductos en general. El **gasto** de un líquido se define como la relación existente entre el volumen de líquido que fluye por un conducto y el tiempo que tarda en fluir: $G = \frac{V}{t}$. El **gasto** también se determina multiplicando el área de la sección transversal del tubo por la magnitud de la velocidad del líquido, de donde: $G = Av$.

La ecuación de continuidad señala que en una tubería cuya sección transversal se reduce considerablemente entre el punto 1 y el 2 (figura 9.16), la cantidad de líquido que pasa por los puntos 1 y 2 es la misma, por ello $G_1 = G_2$, o bien, $A_1v_1 = A_2v_2$ (ecuación de continuidad).

Bernoulli descubrió que **la presión de un líquido que fluye por una tubería es baja si la magnitud de su velocidad es alta y viceversa**. Con ello se demuestra el cumplimiento de la Ley de la Conservación de la Energía en los líquidos en movimiento. El principio de Bernoulli dice: en un líquido ideal



figura 9.16
Ecuación de continuidad: $G_1 = G_2$ o bien, $A_1v_1 = A_2v_2$.

cuyo flujo es estacionario, la suma de las energías cinética, potencial y de presión que tiene el líquido en un punto es igual a la suma de estas energías en otro punto cualquiera.

El tubo de Venturi se emplea para medir la magnitud de la velocidad de un líquido que circula a presión dentro de una tubería. Dicho tubo tiene un estrechamiento como se aprecia en la figura 9.17, cuando el líquido pasa por esta sección aumenta la magnitud de su velocidad, pero disminuye su presión. Al medir la presión en la parte ancha y en la estrecha, y conociendo el valor de las áreas de sus respectivas secciones transversales, se puede calcular la magnitud de la velocidad del líquido a través de la tubería por la cual circula, si se utiliza la siguiente expresión:

$$v_A = \sqrt{\frac{\frac{2}{\rho}(P_A - P_B)}{\left(\frac{A_A}{A_B}\right)^2 - 1}}$$

Material empleado

Un tubo de Venturi, dos manómetros de mercurio en forma de U con escala graduada en centímetros, un soporte metálico, unas pinzas de sujeción, dos tramos de tubo de hule látex de 2 m y dos tramos de 50 cm, un vernier y agua.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Determine con el vernier el diámetro interior de las secciones ancha y estrecha del tubo de Venturi; para ello, considere el espesor del tubo. Exprese el resultado en centímetros.
2. Calcule las áreas de las secciones transversales ancha y estrecha del tubo de Venturi. Recuerde que: $A = \pi r^2$ o bien, $A = \frac{\pi}{4}d^2$. Exprese el resultado en cm^2.
3. Monte un dispositivo como el de la figura 9.17. Para ello, conecte en cada extremo del tubo de Venturi los tubos de hule látex de 2 m de longitud, uno de ellos irá conectado a la toma de agua y el otro al desagüe.Con mucho cuidado, ponga 10 cm^3 de mercurio dentro de cada manómetro en forma de U. Conecte los tubos de hule látex de 50 cm a cada manómetro, uno se conecta a la parte ancha del tubo de Venturi (A) y el otro a la parte estrecha (B).
4. Abra la llave del agua manteniendo una salida uniforme de ésta. Observe los niveles de mercurio en las columnas de cada manómetro, cuando se hayan estabilizado tome la lectura de la altura del mercurio en la columna del manómetro A, el que mide la

presión en la parte ancha del tubo, y la altura del mercurio en la columna del manómetro B, el que mide la presión en la parte estrecha del tubo. Registre sus datos en centímetros de mercurio.

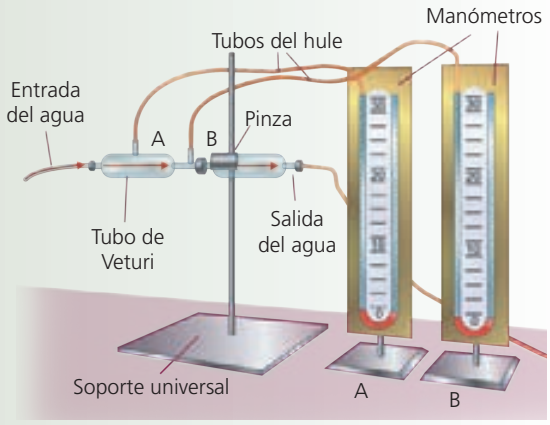


figura 9.17

Dispositivo para medir la magnitud de la velocidad de un fluido que circula a presión dentro de una tubería.

5. Calcule la presión en cada manómetro, expresada en dinas/cm^2. Para ello, recuerde que la presión *(P)* es igual a: $P_h = \rho gh$. Donde: ρ = densidad del mercurio = 13.6 g/cm^3; g = magnitud de la aceleración de la gravedad igual a 980 cm/s^2; h = altura en cm que alcanza el mercurio en la columna de cada manómetro.
6. Determine la magnitud de la velocidad que lleva el agua en la parte ancha del tubo de Venturi (v_A), utilizando la ecuación respectiva. Exprese el resultado en cm/s.
7. Utilice la ecuación de continuidad para determinar la magnitud de la velocidad del agua en la parte estrecha del tubo.
8. Calcule el gasto de agua que se tiene a través del tubo de Venturi.

Cuestionario

1. Dónde es mayor la magnitud de la velocidad del agua, en la parte ancha o en la estrecha. Justifique su respuesta.
2. Dónde es mayor la presión, en la parte ancha o en la estrecha. ¿Por qué?
3. ¿Cómo es el valor de la energía total del agua en cualquier parte del tubo de Venturi?
4. Al disminuir la energía de presión del agua en un punto determinado, ¿qué energía de las que presenta el agua al fluir se incrementa?
5. ¿El gasto de agua en el punto A es el mismo que en el punto B? ¿Por qué?
6. ¿Se comprobó el principio de Bernoulli? Justifique su respuesta.

Nota: Si el laboratorio escolar no cuenta con tinaco y el agua llega por bombeo, utilice una cubeta grande colocada a una altura conveniente para que con un sifón se suministre un volumen uniforme de agua y la salida del agua que alimenta al tubo de Venturi sea uniforme.

Resumen

1. La *hidrodinámica* es la parte de la Física que estudia los líquidos en movimiento. Sus aplicaciones se observan en el diseño de canales, puertos, presas, cascos de los barcos, hélices, turbinas y ductos en general.

2. Para facilitar el estudio de los líquidos en movimiento, generalmente se hacen las siguientes consideraciones: **a)** Los líquidos son completamente incompresibles; **b)** se considera despreciable la viscosidad, y **c)** se supone que el flujo de los líquidos es estacionario o de régimen estable.

3. El *gasto de un líquido* se define como la relación entre el volumen del líquido que fluye por un conducto y el tiempo que tarda en fluir: $G = \frac{V}{t}$. El gasto también se calcula multiplicando la magnitud de la velocidad que lleva el líquido por el área de la sección transversal de la tubería: $G = Av$.

4. El *flujo de un líquido* se define como la cantidad de masa de líquido que fluye a través de una tubería en un segundo. $F = \frac{m}{t}$. La relación entre el flujo y el gasto se tiene con la expresión $F = G\rho$ donde: ρ es la densidad del líquido.

5. La *ecuación de continuidad* establece que la cantidad de líquido que pasa por un punto de una tubería es la misma que pasa por cualquier punto de la misma: $G_1 = G_2$, o bien, $A_1 v_1 = A_2 v_2$.

6. Daniel Bernoulli estudió el comportamiento de los líquidos y descubrió que la presión de un líquido que fluye por una tubería es baja si la magnitud de su velocidad es alta y la presión es alta si la magnitud de su velocidad es baja. Con ello demostró que la Ley de la Conservación de la Energía también se cumple cuando los líquidos están en movimiento. Con base en sus estudios, Bernoulli enunció su *teorema*: en un líquido ideal cuyo flujo es estacionario, la suma de las energías cinética, potencial y de presión que tiene el líquido en un punto es igual a la suma de estas energías en otro punto cualquiera. La ecuación que corresponde al teorema de Bernoulli para expresar la energía por unidad de masa es:

$$\frac{v_1^2}{2} + gh_1 + \frac{P_1}{\rho_1} = \frac{v_2^2}{\rho_2} + gh_2 + \frac{P_2}{\rho_2}$$

7. Una aplicación del teorema de Bernoulli es la hecha por el físico italiano Evangelista Torricelli, quien encontró una ecuación que permite calcular la magnitud de la velocidad de salida de un líquido a través de un orificio en un recipiente: $v = \sqrt{2gh}$ y enunció su teorema en los siguientes términos: la magnitud de la velocidad con la que sale un líquido por el orificio de un recipiente es igual a la que adquiriría un cuerpo que se dejara caer libremente desde la superficie libre del líquido hasta el nivel del orificio.

8. Para medir la magnitud de la velocidad de la corriente de un río se usa el llamado *tubo de Pitot*, cuya forma es la de una *L*. Para ello, el tubo se introduce en la corriente y según la altura que alcanza el agua, la magnitud de la velocidad se calcula con la expresión: $v = \sqrt{2gh}$.

9. Otra aplicación del teorema de Bernoulli se tiene en el llamado tubo de Venturi; dicho dispositivo se emplea para medir la magnitud de la velocidad de un líquido que circula a presión dentro de una tubería. También se utiliza para obtener la fuerza de sustentación que permite el vuelo de los aviones.

Autoevaluación

Escriba en su cuaderno las respuestas a las siguientes preguntas. Si se le presentan dudas al responder vuelva a leer la sección correspondiente del libro, la cual viene señalada al final de cada pregunta para su fácil localización.

1. Explique qué estudia la hidrodinámica y cuáles son sus aplicaciones. *(Introducción de la unidad 9 y sección 1)*
2. Mencione las tres consideraciones que generalmente se hacen para facilitar el estudio de los líquidos en movimiento. *(Sección 1)*
3. Defina el concepto de: **a)** gasto y **b)** flujo. Escriba también la fórmula y las unidades. *(Sección 2)*
4. Explique por medio de un ejemplo, el significado de la ecuación de continuidad. *(Sección 2)*
5. Explique qué pasa con la presión y la magnitud de la velocidad de un líquido que fluye a través de una tubería cuando ésta disminuye su sección transversal. *(Sección 2)*
6. Enuncie el teorema de Bernoulli. *(Sección 3)*
7. Escriba el concepto de energía: cinética, potencial y de presión, para un líquido en movimiento. *(Sección 3)*
8. De acuerdo con el teorema de Bernoulli, escriba la ecuación utilizada para expresar la energía de un líquido por unidad de masa. *(Sección 3)*
9. Enuncie el teorema de Torricelli y escriba la ecuación matemática para calcular la magnitud de la velocidad de un líquido por un orificio de un recipiente. *(Sección 4)*
10. Explique cómo se mide la magnitud de la velocidad de la corriente en un río o canal, utilizando el tubo de Pitot. *(Sección 4)*
11. Explique cómo funciona el tubo de Venturi para determinar la magnitud de la velocidad que lleva un líquido por una tubería. *(Sección 4)*
12. Explique cómo es posible que un avión se mantenga en el aire. *(Sección 4)*

Coevaluación

Instrucciones: Consolide su aprendizaje, para ello lea y conteste en una hoja las siguientes preguntas. Luego, intercambie con un(a) compañero(a) sus respuestas. Coméntenlas, pónganse de acuerdo y den respuestas comunes. Discútanlas con las demás parejas y enriquezcan sus conocimientos con las aportaciones de todos.

1. ¿Por qué los barcos se construyen con forma curva en la proa y la popa?
2. ¿Cómo le recomendaría a una persona medir la rapidez de las aguas de un río de una manera sencilla?
3. Pedro dice que conduce un automóvil en la carretera a más de 140 km/h para economizar combustible. Ángel comenta que prefiere manejar cuando mucho a 120 km/h, ya que además de evitar accidentes, ahorra combustible. ¿Cuál ahorra más combustible? ¿Por qué?
4. ¿Cómo le explicaría a una persona la razón por la cual al viajar en un automóvil y ser rebasado por un camión que viaja con gran rapidez, el conductor siente que el automóvil es empujado hacia el camión?

Glosario

Flujo

Es la cantidad de masa del líquido que fluye a través de una tubería en un segundo.

Fuerza de fricción viscosa

Se presenta cuando un cuerpo sólido se mueve en un fluido como puede ser aire, agua, aceite, entre otros.

Gasto

Es la relación existente entre el volumen del líquido que fluye por un conducto y el tiempo que tarda en fluir.

Hidrodinámica

Parte de la hidráulica que estudia el comportamiento de los líquidos en movimiento.

Teorema de Bernoulli

En un líquido ideal cuyo flujo es estacionario, la suma de las energías cinética, potencial y de presión que tiene el líquido en un punto, es igual a la suma de estas energías en otro punto cualquiera.

Teorema de Torricelli

La magnitud de la velocidad con la que sale un líquido por el orificio de un recipiente es igual a la que adquiriría un cuerpo que se dejara caer libremente desde la superficie libre del líquido hasta el nivel del orificio.

UNIDAD 10

CONTENIDO

- Ondas longitudinales y transversales
- Tren de ondas, frente de onda y rayo o vector de propagación
- Ondas lineales, superficiales y tridimensionales
- Características de las ondas
- Reflexión de las ondas
- Principio de superposición de las ondas
- Interferencia de ondas
- Ondas estacionarias
- Refracción de ondas
- Difracción de ondas
- Ondas sonoras
- Ondas sísmicas
- Ultrasonido
- Actividad experimental 17: *Ondas superficiales*
- Resumen
- Autoevaluación
- Coevaluación
- Glosario

Un movimiento ondulatorio es un proceso por medio del cual se transmite energía de una parte a otra, sin que exista transferencia de materia, ya sea por medio de **ondas mecánicas** o de ondas **electromagnéticas**. En cualquier punto de la trayectoria de propagación de una onda, se realiza un desplazamiento periódico, vibración u oscilación, en torno de la posición de equilibrio.

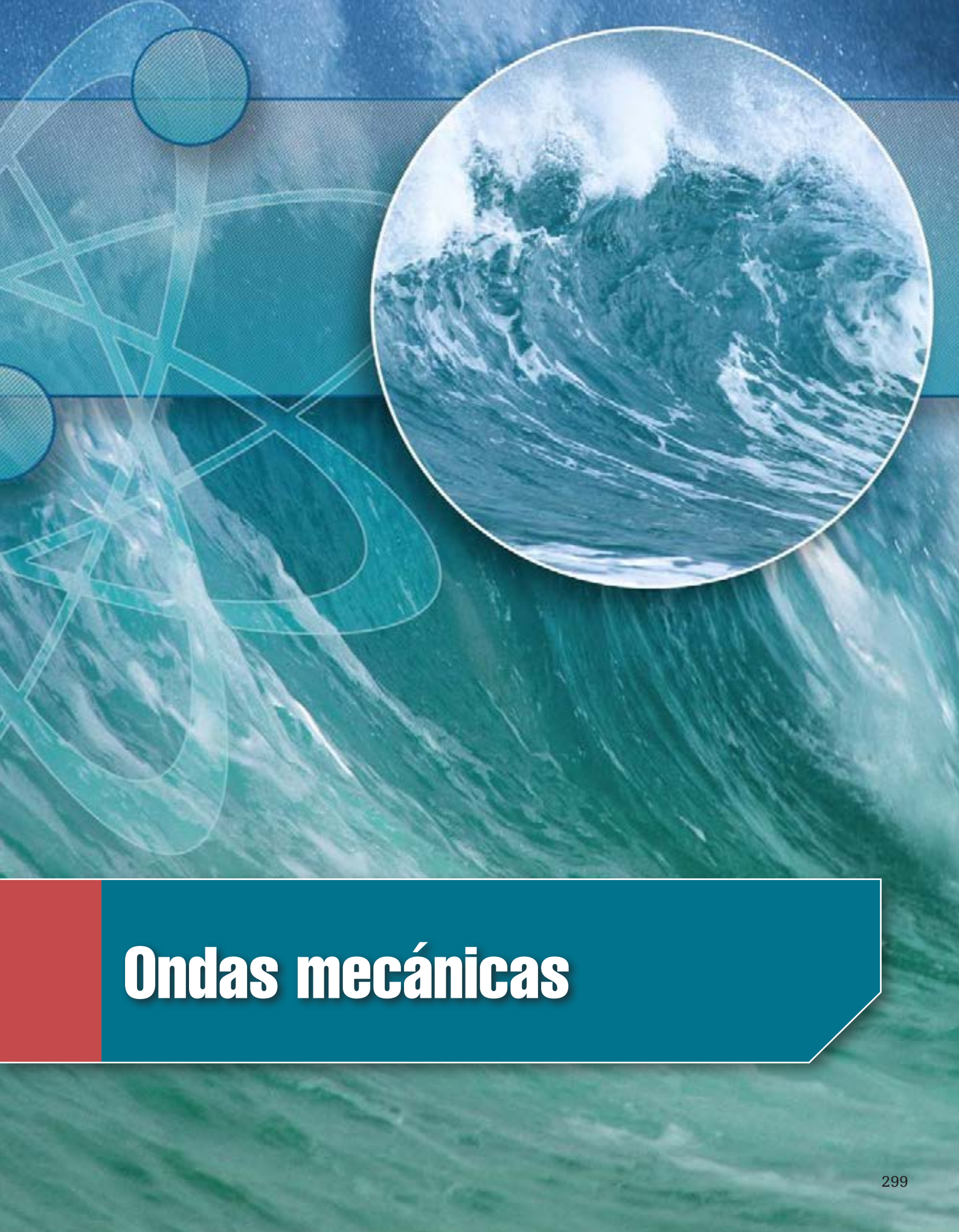
En esta unidad nos ocuparemos únicamente de las **ondas mecánicas**, que son aquellas ocasionadas por una vibración o perturbación inicial y que para su propagación en forma de oscilaciones periódicas requieren de un medio material. Tal es el caso de las ondas producidas en un resorte, una cuerda, en el agua, o en algún medio por el sonido.

Otro tipo de onda son las llamadas **electromagnéticas**, mismas que no necesitan de un medio material para su propagación, pues se difunden aun en el vacío, por ejemplo, las **ondas luminosas, caloríficas y de radio**.

Una onda mecánica representa la forma como se propaga una vibración o perturbación inicial, transmitida de una molécula a otra en los medios elásticos. Al punto donde se genera la perturbación inicial se le llama **foco o centro emisor de las ondas**. Así, cuando una perturbación ocasiona que una partícula elástica pierda su posición de equilibrio y se aleje de otras a las que estaba unida elásticamente, las fuerzas existentes entre ellas originarán que la partícula separada intente recuperar su posición original, produciéndose las llamadas **fuerzas de restitución.** Ello provocará un movimiento vibratorio de la partícula, el cual se transmitirá a las más cercanas, primero y a las más alejadas, después.

Los movimientos ondulatorios son longitudinales cuando las partículas del medio material vibran de manera paralela a la dirección de propagación de la onda, y serán transversales si las partículas del medio material vibran perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda. Las ondas también se clasifican según la forma como se propaguen, ya sea en una, dos o tres dimensiones. Las principales características de las ondas son su **longitud, frecuencia, periodo, nodo, elongación, amplitud y rapidez de propagación.**

Es importante distinguir entre el **movimiento vibratorio u oscilatorio** de las particulas de un determinado medio material, como son los casos de una cuerda, un resorte, el agua, etcétera, al moverse hacia abajo y hacia arriba en un movimiento periódico, del **movimiento ondulatorio** que se produce como resultado de la vibración, oscilación o perturbación producida en el medio material.



Ondas mecánicas

1 Ondas longitudinales y transversales

De acuerdo con la dirección en la que una onda hace vibrar a las partículas del medio material, los movimientos ondulatorios se clasifican en: longitudinales y transversales.

Ondas longitudinales

Se presentan cuando las partículas del medio material vibran paralelamente a la dirección de propagación de la onda. Tal es el caso de las ondas producidas en un resorte, como el de la figura 10.1, el cual se comporta como un oscilador armónico cuando se tira del cuerpo suspendido en su parte inferior y comienza a oscilar de abajo hacia arriba, produciendo ondas longitudinales.

Al tirar del cuerpo hacia abajo, el resorte se estira y al soltarlo, las fuerzas de restitución del resorte tratan de recuperar su posición de equilibrio, pero al pasar por ella, debido a la velocidad que lleva, sigue su movimiento por inercia comprimiendo al resorte. Por consiguiente, vuelven a actuar las fuerzas de restitución ahora hacia abajo y nuevamente el cuerpo pasa por su posición de equilibrio; sin embargo, por la inercia no se detiene, se estira de nuevo y otra vez actúan las fuerzas de restitución que lo jalan hacia arriba. Estos movimientos de abajo hacia arriba se repiten sucesivamente y el resorte se comporta como un oscilador armónico, generador de ondas longitudinales, pues las partículas de aire que se encuentran alrededor del resorte vibrarán en la misma dirección en la cual se propagan las ondas. Otro ejemplo de ondas longitudinales son las que se producen en la propagación del sonido, del cual hablaremos más adelante.

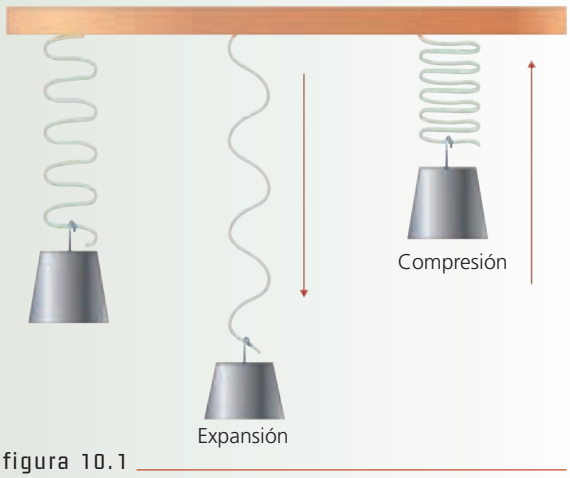


figura 10.1

Las ondas de expansión y compresión producidas a lo largo del resorte, al comportarse como un oscilador armónico, hacen que las partículas vibren hacia abajo y hacia arriba en la misma dirección en la cual se propaga la onda.

Ondas transversales

Se presentan cuando las partículas del medio material vibran perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda.

Éstas se producen, por ejemplo, cuando se arroja una piedra en un estanque; al entrar en el agua, expulsa el líquido en todas direcciones; por tanto, unas moléculas empujan a otras, formándose prominencias y depresiones circulares alrededor de la piedra. Como las moléculas de agua vibran (oscilan), hacia arriba y hacia abajo, en forma perpendicular a la dirección en la que se propaga la onda, ésta recibe el nombre de transversal (figura 10.2).

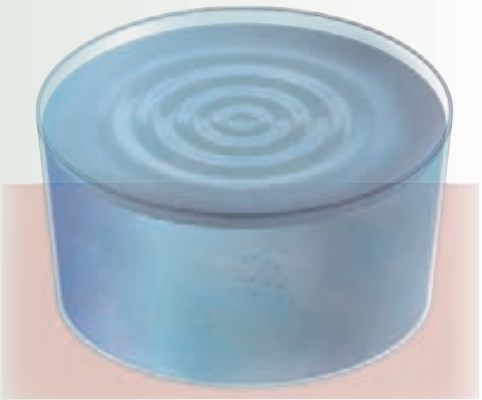


figura 10.2

Al arrojar una piedra en un estanque se forman ondas transversales. Cada onda está constituida por una prominencia o cresta y una depresión o valle.

Al mover hacia arriba y hacia abajo una cuerda o un resorte, fijos en uno de sus extremos, también se generarán ondas transversales que se propagan de un extremo a otro (figura 10.3).

En las ondas mecánicas la que se desplaza o avanza es la energía de la onda y no las partículas del medio, pues éstas únicamente vibran u oscilan transmitiendo la energía, pero conservan sus posiciones alrededor de puntos más o menos fijos. Esto puede comprobarse fácilmente si se colocan barquitos de papel en un estanque y a una distancia prudente de ellos se arroja una piedra; se observará que los barquitos ascienden y descienden por la propagación de la onda, pero no cambian de lugar.

En general, las ondas mecánicas transmiten la energía por medio de la materia, debido a las perturbaciones ocasionadas en ella, pero sin que implique un desplazamiento total de la materia.

2 Tren de ondas, frente de onda y rayo o vector de propagación

Tren de ondas

Si a una cuerda tensa y sujeta por uno de sus extremos se le da un impulso moviéndola hacia arriba, se produce una onda que avanza por las partículas de la cuerda, éstas se moverán al llegarles el impulso y recobrarán su posición de reposo cuando la onda pase por ellas. Si la cuerda se sigue moviendo hacia arriba y hacia abajo, producirá un tren de ondas periódico si el movimiento también lo es (figura 10.3).

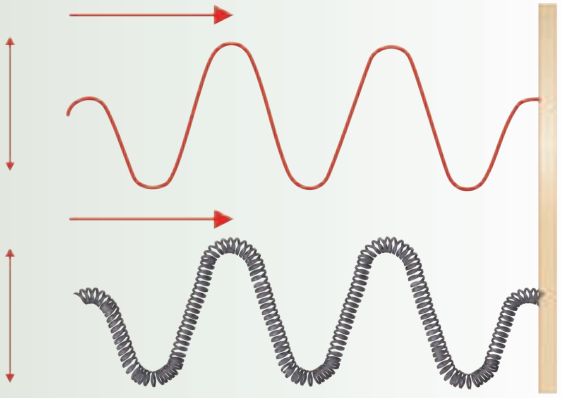


figura 10.3
Tren de ondas transversales en una cuerda y en un resorte.

Frente de onda

Al dejar caer una piedra en un estanque, como ya mencionamos, se forman ondas transversales; cada onda tiene una cresta y un valle. Si los círculos de la figura 10.4 representan todos los puntos de una onda que experimentan la misma fase, ya sea una cresta o un valle, al propagarse la onda los círculos se desplazarán generando otros de mayor tamaño. Cada círculo representa un frente de onda formado por todos los puntos de la onda con la misma fase, por eso puede decirse que cada punto de un frente de onda es un nuevo generador de ondas.

A partir del centro emisor de las ondas, es decir, del lugar donde cayó la piedra, los diferentes frentes de una onda avanzan al mismo tiempo y con una magnitud de velocidad constante.

Rayo o vector de propagación

Es la línea que señala la dirección en que avanza cualquiera de los puntos de un frente de onda. Cuando el medio en que se propaga la onda es homogéneo, la dirección de los rayos siempre es perpendicular o normal al frente de onda (figura 10.4).

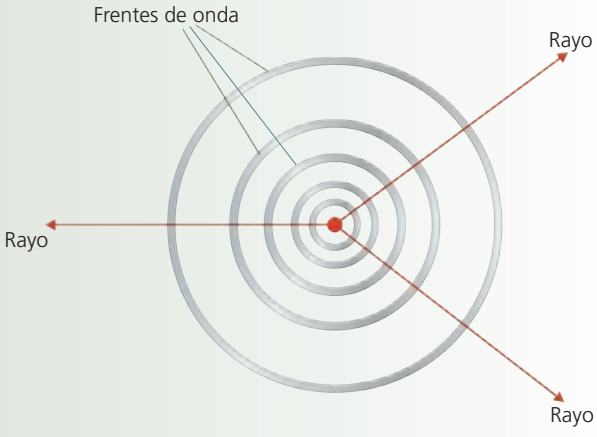


figura 10.4
Cada círculo representa un frente de onda formado por todos los puntos que se encuentran en la misma fase del movimiento, ya sea una cresta o un valle. El rayo señala la dirección de cualquiera de los puntos de un frente de onda.

3 Ondas lineales, superficiales y tridimensionales

Las ondas también se clasifican según la forma en que se propaguen, ya sea en una dimensión (unidimensionales), en dos (bidimensionales), o en tres (tridimensionales).

Ondas lineales

Son las que se propagan en una sola dimensión o rayo. Tal es el caso de las ondas producidas en una cuerda o un resorte. En la figura 10.5 se ejemplifican ondas lineales, tanto transversales como longitudinales, que avanzan en una sola dimensión. Usted puede producir este tipo de ondas por medio de un resorte o espiral de plástico o metal de los que se venden en ferias, mercados o jugueterías.

Ondas superficiales

Son las que se difunden en dos dimensiones, como las ondas producidas en una lámina metálica o en la superficie de un líquido como sucede cuando una piedra cae en un estanque. En éstas los frentes de onda son circunferencias

concéntricas al foco o centro emisor, las cuales aumentan de tamaño conforme se alejan de él.

Ondas tridimensionales

Son las que se propagan en todas direcciones, como el sonido. Los frentes de una onda sonora son esféricos y los rayos salen en todas direcciones a partir del centro emisor. Las ondas electromagnéticas como la luz y el calor también se propagan tridimensionalmente.

Para referirnos a las características de las ondas, nos basaremos en las ondas transversales (figura 10.6), la diferencia será que para las ondas longitudinales en lugar de crestas se tienen compresiones y en lugar de valles, expansiones.

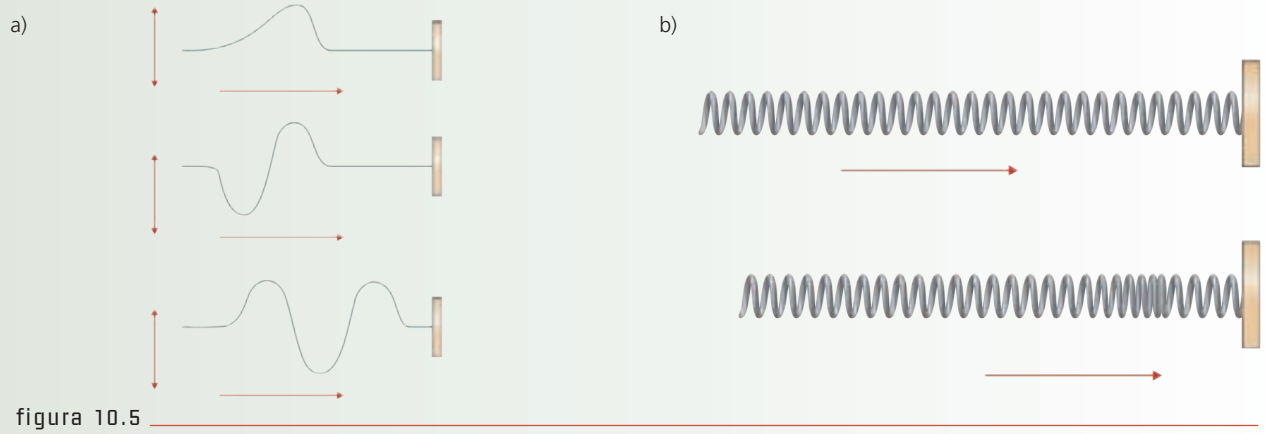


figura 10.5

a) Ondas lineales producidas en una cuerda que se mueve de abajo hacia arriba, por tanto, el movimiento ondulatorio es transversal y se propaga en una sola dimensión o rayo; en este caso, a la derecha. b) Ondas lineales producidas al comprimir un resorte, el movimiento ondulatorio es longitudinal y se propaga en una sola dimensión.

4 Características de las ondas

Longitud de onda

Es la distancia entre dos frentes de onda que están en la misma fase. Por ejemplo, la distancia entre dos crestas o dos valles consecutivos. La longitud de onda se representa por la letra griega λ (lambda) y se mide en m/ciclo.

Frecuencia

Es el número de veces por segundo en el cual se realiza un ciclo completo de una onda. Se mide comúnmente en ciclos/s, esto es, en hertz (Hz).

1 hertz = 1 ciclo/s

Periodo

Es el tiempo que tarda en realizarse un ciclo de la onda. Como puede notarse, el periodo es igual al inverso de la frecuencia y la frecuencia es igual al inverso del periodo, por consiguiente:

$$T = \frac{1}{f} \text{ y } f = \frac{1}{T}$$

donde: T = periodo en s/ciclo

f = frecuencia en ciclos/s = hertz (Hz)

Nodo

Es el punto donde la onda cruza la línea de equilibrio.

Elongación

Es la distancia entre cualquier punto de una onda y su posición de equilibrio.

Amplitud de onda

Es la máxima elongación o alejamiento de su posición de equilibrio que alcanzan las partículas vibrantes.

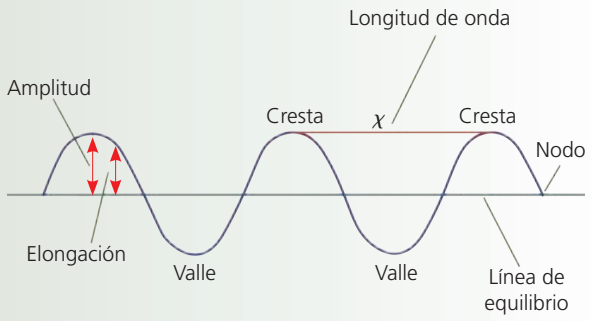


figura 10.6
Características de las ondas.

Rapidez o magnitud de la velocidad de propagación

Es aquella con la cual se propaga un pulso a través de un medio. En otras palabras, es la distancia que una determinada cresta o valle recorren en un determinado tiempo, que generalmente es un segundo.

La rapidez o magnitud de la velocidad con la que se propaga una onda está en función de la elasticidad y de la densidad del medio; mientras éste es más elástico y menos denso, la rapidez de propagación será mayor. En general, dicha rapidez en un medio específico siempre es la misma y puede calcularse con la expresión:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

donde: v = rapidez o magnitud de la velocidad de propagación en m/s
λ = longitud de onda en m/ciclo
T = periodo en s/ciclo

como $T = \frac{1}{f}$

$$v = \lambda f$$

La rapidez o magnitud de la velocidad de propagación de una onda cualesquiera, trátese de ondas en una cuerda, un resorte, en el agua, sonoras, luminosas, de radio, etcétera, se determina mediante el producto de su frecuencia por su longitud de onda. La magnitud de la velocidad de propagación de una onda es constante para cada medio, lo cual significa que para una onda de mayor frecuencia que incida en un determinado medio, el valor de su longitud de onda debe disminuir, de tal forma que el producto λF sea el mismo y viceversa.

5 Reflexión de las ondas

La reflexión de las ondas se presenta cuando éstas encuentran un obstáculo que les impide propagarse, chocan y cambian de sentido sin modificar sus demás características. En la figura 10.7 vemos cómo se refleja una onda lineal producida en un resorte fijo por uno de sus extremos.

Una onda producida en un estanque también se refleja al chocar. El ángulo de reflexión de la onda es igual al ángulo de choque.

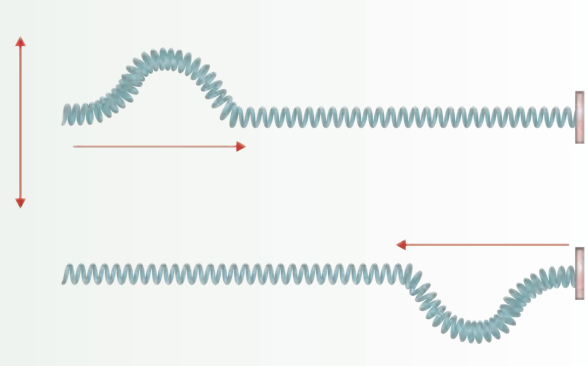


figura 10.7
Reflexión. Al chocar una onda lineal se refleja con una elongación contraria.

6 Principio de superposición de las ondas

Experimentalmente se ha comprobado que al producirse dos o más trenes de onda al mismo tiempo, en medios elásticos que conservan una proporcionalidad entre la deformación y la fuerza restauradora, cada onda se propaga en forma independiente. Por tanto, la superposición es el desplazamiento que experimenta una partícula vibrante, equivalente a la suma vectorial de los desplazamientos que cada onda le produce. Una aplicación útil de este principio se presenta cuando desea estudiarse un movimiento ondulatorio formado por muchos trenes de onda para lo cual se descompone en cada uno de sus trenes constituyentes.

7 Interferencia de ondas

La interferencia se produce cuando se superponen simultáneamente dos o más trenes de onda; este fenómeno se emplea para comprobar si un movimiento es ondulatorio o no.

Interferencia constructiva

La interferencia constructiva se presenta al superponerse dos movimientos ondulatorios de la misma frecuencia y longitud de onda, que llevan el mismo sentido. Las dos ondas superpuestas se representan por medio de líneas punteadas en la figura 10.8.



figura 10.8

Interferencia constructiva de dos ondas con la misma frecuencia y longitud, representadas por las líneas punteadas, cuya onda resultante es de mayor amplitud.

Al encontrarse las crestas y sumar sus amplitudes se obtiene una cresta mayor y al sumar las amplitudes negativas, en las cuales se encuentran los valles, se obtiene un valle mayor. Por eso, la onda resultante (línea continua) tiene mayor amplitud, pero conserva la misma frecuencia.

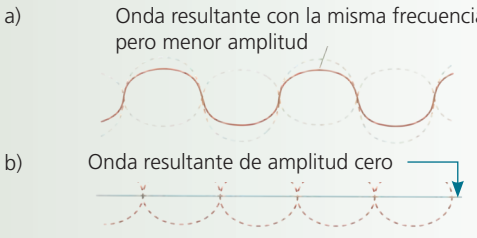


figura 10.9

a) Interferencia destructiva de dos ondas con diferente amplitud y diferencia de fase de 180°.
b) Interferencia destructiva de dos ondas con la misma amplitud y diferencia de fase de 180°.

Interferencia destructiva

La interferencia destructiva se manifiesta cuando se superponen dos movimientos ondulatorios con una diferencia de fase. Por ejemplo, al superponerse una cresta y un valle de diferente amplitud con una diferencia de fase igual a media longitud de onda, la onda resultante tendrá menor amplitud, ver figura 10.9(a). Pero si se superponen dos ondas de la misma amplitud con una diferencia de fase equivalente a media longitud de onda, es decir 180º, la suma vectorial de sus amplitudes contrarias será igual a cero, por consiguiente, la onda resultante tendrá una amplitud nula. Esto sucede cuando la cresta de una onda coincide con el valle de la otra y ambas son de la misma amplitud, como se aprecia en la figura 10.9(b).

8 Ondas estacionarias

Las ondas estacionarias se producen cuando interfieren dos movimientos ondulatorios de la misma frecuencia y amplitud que se propagan en diferente sentido a lo largo de una línea con una diferencia de fase de media longitud de onda.

Podemos hacer ondas estacionarias utilizando una reata o cuerda. Para ello dos personas deben tomar los extremos opuestos de una cuerda, si cada uno mueve bruscamente

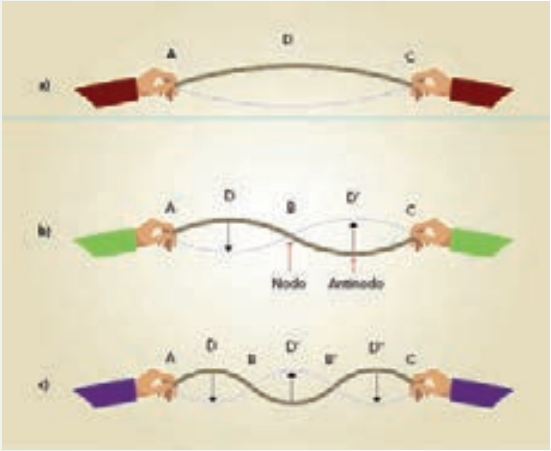


figura 10.10

En (a) se observa en el punto D un máximo desplazamiento de la cuerda al interferirse constructivamente dos ondas. En (b) se aprecia la formación de una onda estacionaria, los nodos se observan en los puntos A, B y C, mientras que en D y D' hay antinodos. En (c) al vibrar más rápidamente la cuerda se forman nodos en los puntos A, B, B' y C y los antinodos en D, D' y D".

la mano hacia arriba, en el mismo instante, producirán dos peturbaciones. Las crestas que formaron se encontrarán en el centro y producirán ahí un máximo desplazamiento. Si después mueven los dos extremos de la cuerda hacia abajo, los dos valles así formados provocarán un mayor desplazamiento hacia abajo en el punto central figura 10.10(a). Despues las personas pondrán a vibrar los extremos de la cuerda en sentidos opuestos, de modo que de A sale una cresta cuando de C sale un valle. Las dos ondas o peturbaciones se interferirán y se anularán una a otra en el punto B, que será un nodo, es decir, el **punto de la onda en el cual la amplitud es nula** figura 10.10(b). Mientras tanto, en los puntos D y D′ se formarán antinodos, éstos son aquellos puntos de la onda que vibran con la mayor elongación. Si las personas ponen a vibrar los extremos más rápidamente, se producirán más nodos y antinodos figura 10.10(c). **En cada antinodo se produce una interferencia constructiva, mientras que en cada nodo una interferencia destructiva.**

Una cuerda tensa de guitarra se puede poner a oscilar de manera semejante para producir ondas estacionarias, dándole un tirón en el centro de la misma. De esta manera avanzarán dos crestas hacia los extremos. Como los extremos están fijos, las crestas se reflejarán como valles entonces se moverán hacia los extremos opuestos, en donde se reflejarán como crestas. La interferencia de las ondas dará como resultado la formación de ondas estacionarias, en las que ciertos puntos de la cuerda permanecen inmóviles (nodos).

9 Refracción de ondas

La refracción de ondas se presenta cuando éstas pasan de un medio a otro de distinta densidad, o bien, cuando el medio es el mismo, pero se encuentra en condiciones diferentes, por ejemplo, el agua a distintas profundidades. Ello origina que las ondas cambien su magnitud de velocidad de propagación y su longitud de onda, **conservando constante su frecuencia**.

Mediante un experimento sencillo puede demostrarse que la magnitud de la velocidad de propagación de una onda en el agua es mayor a medida que aumenta la profundidad: en un extremo de una tina con agua, sumerja un ladrillo, de tal forma que el agua en esa parte sea menos profunda; produzca un tren de ondas en el extremo profundo, mediante pulsos regulares que se obtienen al introducir y sacar un clavo con movimientos constantes. Observará que cuando las ondas pasan a la parte menos profunda, la longitud de onda, o sea, la distancia entre una cresta y otra o entre dos valles, es de menor magnitud. Como las ondas en la parte menos profunda se obtuvieron por el avance de las ondas generadas en la parte más profunda, la frecuencia en ambas regiones es la misma y ya que la longitud de onda ha disminuido en la parte menos profunda, la magnitud de la velocidad de propagación también deberá disminuir en la misma proporción para que la frecuencia permanezca constante.

$$\left(f = \frac{\nu}{\lambda}, \text{ ya que } \nu = \lambda f \right)$$

10 Difracción de ondas

Cuando una onda encuentra un obstáculo en su camino y lo rodea o lo contornea se produce la difracción de ondas. Este fenómeno es más notorio a medida que son mayores las longitudes de onda, y si el tamaño de la abertura por la que atravesará la onda es menor; en la figura 10.11 las ondas generadas en el agua inciden en la abertura.

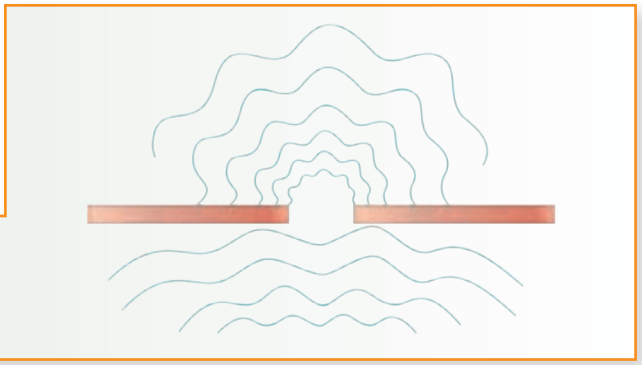


figura 10.11

Fenómeno de difracción en el cual la parte del frente de onda que atraviesa la pequeña abertura se convierte en un nuevo emisor de ondas. La longitud de onda es la misma en ambos lados de la abertura.

11 Ondas sonoras

El sonido es el fenómeno físico que estimula al oído. En los seres humanos, el sonido se percibe cuando un cuerpo vibra a una frecuencia comprendida entre 15 y 20 000 ciclos/s y llega al oído interno: gama denominada de frecuencias del espectro audible.



figura 10.12

El sonido se produce cuando un cuerpo vibra. Se propaga por medio de ondas mecánicas longitudinales, ya que las partículas vibran en la dirección de propagación de la onda. El sonido se transmite en todas direcciones y por eso es una onda tridimensional o espacial.

Cuando la frecuencia de una onda sonora es inferior al límite audible, se dice que es infrasónica y si es mayor es ultrasónica.

Las ondas sonoras son ondas mecánicas longitudinales (figura 10.12), toda vez que las partículas del medio material vibran paralelamente a la dirección de propagación de la onda. Como el sonido se transmite en todas las direcciones en forma de ondas, por medio de cualquier material elástico, se trata de ondas tridimensionales o espaciales.

Cuando percibimos un sonido, el medio elástico que lo transmite generalmente es el aire, es decir, un gas. Sin embargo, también se transmite en los líquidos como seguramente habrá comprobado al escuchar voces, música u otros sonidos cuando se sumerge en una alberca o río, así como en los sólidos como placas, barras, rieles, o en las vibraciones de la corteza terrestre cuando se presentan sismos o terremotos.

Un sonido, por intenso que sea, no se propaga en el vacío porque no existe en éste un material por el cual se transmita la vibración (figura 10.13).



figura 10.13

Al funcionar la alarma del reloj que está dentro de la campana, sólo se oye mientras existe aire, pero al extraerlo, el sonido ya no se propaga en el vacío.

Rapidez o magnitud de velocidad de propagación del sonido

La rapidez con la que se propaga un sonido depende del medio elástico y de su temperatura. El siguiente cuadro muestra algunos de estos valores, obsérvese que la rapidez o magnitud de la velocidad es mayor en los sólidos que en los líquidos y gases.

cuadro 10.1	Rapidez del sonido	
Medio elástico	Rapidez m/s	Temperatura K
Aire	331.4	273
Aire	340	288
Agua	1 435	281
Oxígeno	317	273
Hierro	5 130	293
Aluminio	5 100	293
Vidrio	4 500	293

Fenómenos acústicos: reflexión, eco, resonancia y reverberación

La acústica es la parte de la Física que se encarga del estudio de los sonidos. Los fenómenos acústicos, consecuencia de algunos efectos auditivos provocados por el sonido, son:

Reflexión

Este fenómeno se produce cuando las ondas sonoras se reflejan al chocar contra una pared dura. Si el vector de propagación sonoro incide perpendicularmente a una superficie, se refleja en sentido contrario; pero si incide en forma oblicua, los ángulos de incidencia y de reflexión son iguales.

Eco

Se origina por la repetición de un sonido reflejado. Éste se escucha claramente en salones amplios en donde la pared se encuentra a unos 17 metros como mínimo de distancia del oyente, ya que para oír separadamente el sonido original y el reflejado se requieren 0.1 segundos, tiempo necesario para que el oído distinga dos sonidos distintos. Así, en 0.1 segundos el sonido recorrerá 34 m (17 m de ida y 17 m de regreso), si consideramos una rapidez de propagación del sonido en el aire de 340 m/s. Una aplicación del eco se tiene al medir la profundidad del mar, usando un aparato llamado sonar.

Resonancia

Se presenta cuando la vibración de un cuerpo hace vibrar a otro con la misma frecuencia. Este fenómeno se aplica en las llamadas cajas de resonancia que tienen



figura 10.14
Las cajas de resonancia aumentan la intensidad del sonido.

algunos instrumentos musicales para aumentar la intensidad del sonido original (figura 10.14).

Reverberación

Dicho fenómeno se produce si después de escucharse un sonido original, éste persiste dentro de un local como consecuencia del eco. En una sala amplia una reverberación excesiva ocasiona que no se escuchen claramente los sonidos producidos por instrumentos musicales, o la voz de las personas. La reverberación se reduce con el empleo de cortinas, o bien, recubriendo las paredes con materiales que absorben el sonido, como el corcho.

Cualidades del sonido: intensidad, tono y timbre

Intensidad

Esta cualidad determina si un sonido es fuerte o débil. La intensidad de un sonido depende de la amplitud de la onda, ya que a medida que ésta aumenta, la intensidad también aumenta; de la distancia existente entre la fuente sonora y el oyente, pues a mayor distancia, menor intensidad, y finalmente, la intensidad es mayor si la superficie que vibra también lo es.

La intensidad de un sonido expresa la cantidad de energía acústica que en un segundo pasa a través de una superficie de un centímetro cuadrado, perpendicular a la dirección en la cual se propaga la onda. Las unidades de intensidad sonora (Is) son:

$$Is = \frac{\text{joules/s}}{1\ \text{cm}^2} = \frac{\text{watt}}{\text{cm}^2}$$

El sonido más débil que el oído humano puede percibir tiene una intensidad de 1×10^{-16} watt/cm^2, valor considerado como el nivel cero de la intensidad sonora. La máxima intensidad audible equivale a 1×10^{-4} watt/cm^2, nivel denominado umbral del dolor.

El intervalo de intensidades que el oído humano es capaz de percibir es muy grande, por eso se creó una escala logarítmica para medirlas, usando como unidades el bel (B) y el decibel (dB). Dicha escala se fundamenta en la comparación de distintos sonidos, de tal forma que si la intensidad I de un sonido es 10 veces mayor a la intensidad I' de otro, se dice que la relación entre sus intensidades es de un bel. De donde:

$$B = \log \frac{I}{I'}$$

donde: B = relación entre las intensidades en bel (B)
I = intensidad de un sonido en watt/cm^2
I' = intensidad del otro sonido en watt/cm^2

Como el bel es una unidad muy grande, se usa el decibel equivalente a la décima parte del bel.

$$1\ \text{dB} = 0.1\ \text{B}$$

El intervalo de intensidades audibles por el hombre queda comprendido en un rango de 0 a 120 *dB*. El cuadro 10.2 indica una serie de valores para los niveles de intensidad de diferentes sonidos medidos en decibeles (*dB*).

cuadro 10.2 Niveles de intensidad del sonido en decibeles

Sonido	Nivel de intensidad en dB
Umbral de audición	0
Murmullo	20
Conversación común	60
Calle con tránsito	85
Sirena de ambulancia	110
Umbral del dolor	120

Tono

Esta cualidad del sonido depende de la frecuencia con la que vibra el cuerpo emisor del sonido. A mayor frecuencia, el sonido es más alto o agudo; a menor frecuencia, el sonido es más bajo o grave.

Timbre

Cualidad que posibilita identificar la fuente sonora, aunque distintos instrumentos produzcan sonidos con el mismo tono e intensidad. Lo anterior es posible, pues el tono fundamental siempre va acompañado de tonos armónicos llamados sobretonos, éstos le dan el timbre característico a un instrumento musical o a la voz. Por eso, podemos identificar las voces de personas conocidas, así como los instrumentos que producen un sonido (figura 10.15).



figura 10.15
El timbre es la cualidad del sonido que posibilita identificar qué instrumento emite un sonido.

Efecto Doppler

El efecto Doppler consiste en un cambio aparente en la frecuencia de un sonido, durante el movimiento relativo entre el observador y la fuente sonora.

Este fenómeno se aprecia claramente al escuchar la sirena de una ambulancia, pues notamos que el tono se hace agudo a medida que se aproxima y después se hace grave al alejarse. Cuando la fuente sonora se acerca al observador, las ondas que emite tienden a alcanzar a las que se desplazan delante de ellas, reduciendo la longitud de onda, o distancia entre cresta y cresta, lo cual provoca un aumento en la frecuencia del sonido; por esta razón se escucha un sonido agudo (figura 10.16). Al alejarse, la distancia entre crestas aumenta y origina una disminución en la frecuencia; debido a ello se escucha un sonido grave (figura 10.17).

Sucede un efecto similar si la fuente sonora permanece fija y el observador es quien se acerca; éste percibe una frecuencia mayor porque le llegan más ondas sonoras por unidad de tiempo, reduciéndose la longitud de onda. Cuando el observador se aleja ocurre el efecto contrario.

Para calcular la frecuencia aparente de un sonido que escucha un observador, tenemos las siguientes situaciones:

a) Cuando la fuente sonora está en movimiento y el observador se encuentra en reposo, se usa la expresión:

$$f' = \frac{fV}{V \pm v}$$

donde:

f' = frecuencia aparente escuchada por el observador en ciclos/s

f = frecuencia real del sonido emitido por la fuente sonora en ciclos/s

V = rapidez o magnitud de la velocidad a la que se propaga el sonido en el aire en m/s

v = rapidez o magnitud de la velocidad a la que se mueve la fuente sonora en m/s

El signo menos de la expresión se utiliza si la fuente sonora se acerca al observador, y el signo más cuando se aleja de él.



figura 10.16

Cuando una ambulancia se acerca a nosotros el tono de la sirena se hace más agudo.

b) Si la fuente sonora permanece en reposo y el observador es quien se acerca o aleja de ella, se usa la expresión:

$$f' = \frac{f(V \pm v)}{V}$$

donde:

V = rapidez o magnitud de la velocidad a la que se propaga el sonido en el aire.

v = rapidez o magnitud de la velocidad con la cual se mueve el observador.

El signo más de la expresión se utiliza si el observador se acerca a la fuente sonora, y el signo menos cuando se aleja de ella.



figura 10.17

Cuando una ambulancia se aleja de nosotros el tono de la sirena se hace más grave.

12 Ondas sísmicas

La corteza terrestre se encuentra sujeta a vibraciones constantes de escasa amplitud, llamadas microsismos, que son imperceptibles para nuestros sentidos, pero son registradas por sismógrafos de alta sensibilidad. Un sismógrafo se funda en la inercia de una masa suspendida elásticamente de un bastidor o armazón sujeto al suelo de una manera rígida. Cuando el suelo se mueve, la masa conserva su posición y, por tanto, la distancia entre dos elementos experimenta una variación que se registra en un papel que es conducido por un mecanismo de relojería. De acuerdo con la forma como se suspenda y disponga la masa, el aparato será sensible a cualquiera de los movimientos del suelo, ya sea longitudinal,

transversal o vertical. Una estación sismológica requiere cuando menos tres sismógrafos o más, de ser posible, toda vez que un sismógrafo sensible a las oscilaciones de corto periodo no sirve para detectar las de largo periodo y viceversa. El sismograma es el gráfico obtenido con los sismógrafos y en él aparecen, en el caso de un sismo, las ondas *P* en primer término, luego las ondas *S* y por último las ondas *L*, las cuales se describirán más adelante.

Los sismos o terremotos se originan por alguna de las tres causas siguientes: **a)** hundimiento o desplome de grandes cavidades subterráneas; **b)** obturación de los conductos naturales que dan salida a los vapores volcánicos, lo que provoca los llamados golpes de ariete al interactuar térmicamente el vapor con vapor condensado; **c)** la dislocación o separación de una roca que alcanza su límite de elasticidad y que se encuentra cerca de una falla o grieta de la corteza terrestre, lo que origina la fractura de dicha roca, o bien, cuando se establece un nuevo **equilibrio isostático**. Cabe aclarar que, según la **teoría de la isostasia**, la corteza terrestre flota sobre una capa de magma o masa de materiales que se encuentran en estado líquido por su **alta temperatura**.

Los terremotos de hundimiento pueden producirse en cualquier parte y sus efectos se sienten sólo en el lugar donde ocurren. Los terremotos volcánicos generalmente se presentan cuando un volcán se encuentra en un periodo de actividad, aunque no entre en erupción porque en ocasiones el terremoto es el resultado de una erupción interrumpida.

Por lo general, estos terremotos no son muy intensos (figura 10.18).



figura 10.18

Los terremotos volcánicos generalmente se presentan cuando un volcán se encuentra en un periodo de actividad, aunque no entre en erupción.

Los terremotos tectónicos son los más numerosos e importantes y ocurren a lo largo de las fallas o grandes fracturas de la corteza terrestre y en las profundas depresiones oceánicas. Las zonas de mayor sismicidad de nuestro planeta son: la costa occidental del continente americano en la cual destaca la República de Chile y las costas asiáticas del Pacífico, principalmente Japón.

El punto de la corteza en que se origina el fenómeno recibe el nombre de foco o hipocentro y el punto de la superficie situado respecto a la vertical del hipocentro se denomina epicentro. Generalmente, el foco de los sismos se localiza a menos de 50 km de profundidad. Cuando se produce un terremoto tectónico, la perturbación que engendra se propaga en forma de ondas mecánicas clasificadas en tres tipos:

1. Ondas *P*, internas y longitudinales, que son las primeras en llegar a la superficie en los lugares alejados.
2. Ondas *S*, internas y transversales, que se detectan en segundo lugar.
3. Ondas *L* o largas, que se propagan por la superficie con longitud de onda mayor de las dos anteriores.

La rapidez de propagación de las ondas *P* y *S* depende de la elasticidad de la roca y como la rapidez de propagación es mayor si la profundidad también lo es, dichas ondas son refractadas y su trayectoria es cóncava. Las ondas *P* se propagan a una rapidez que varía en un rango de 7.5 a 14 km/s, las *S* lo hacen de 4 a 7.5 km/s y las *L* a unos 4 km/s.

De acuerdo con el tiempo transcurrido entre la llegada de las ondas *P*, *S* y *L* a las estaciones sismográficas, es posible estimar con mucha precisión el lugar del epicentro y la profundidad del foco.

Los sismos intensos abren grietas en el suelo cuya longitud puede ser de varias centenas de kilómetros. También producen hundimientos y levantamientos del terreno. Debido a las vibraciones de las ondas sísmicas y a la interferencia que se produce entre ellas, muchas construcciones resultan seriamente dañadas y aún se llegan a caer (figura 10.19).



figura 10.19

Debido a las vibraciones de las ondas sísmicas y a la interferencia que se produce entre ellas, muchas construcciones resultan seriamente dañadas e incluso se llegan a caer.

Cuando se produce, un terremoto submarino, se generan las llamadas olas sísmicas (tsunamis o maremotos). Cuando éstos son muy intensos producen olas muy altas, que al llegar a las costas destruyen embarcaciones e inundan las poblaciones cercanas, provocando enormes pérdidas materiales e incluso humanas.

En muchas ocasiones, un sismo está precedido por pequeños temblores de tierra, que pueden servir de alarma. Sin embargo, aún no es posible asegurar que un sismo producido dará como resultado otro de mayor intensidad, certeza que posibilitará evacuar casas y edificios y salvar muchas vidas. Después de presentarse un sismo intenso, es común que le sigan otros de menor intensidad denominados réplicas o sacudidas secundarias, hasta lograrse un nuevo equilibrio en la parte de la corteza terrestre afectada.

En la ciudad de México se ha instalado un Sistema de Alerta Sísmica el cual nos avisa con una anticipación de unos 50 segundos que ocurrirá un sismo cuyo epicentro se localiza en las costas del estado de Guerrero. Un mecanismo de alarma se basa en la amplificación eléctrica de los movimientos relativos entre la masa y el bastidor en un sismógrafo; uno de ellos lleva un imán y el otro una bobina. La acción introductoria del imán dentro de la bobina, genera en la bobina una corriente proporcional a la amplitud del movimiento y hace sonar la alarma, si el sismo es de una intensidad mayor a 6 grados en la escala de Richter.

Ciertos sectores de la población han solicitado desconectar la alarma sísmica, pues ya ha tenido un error en su funcionamiento al sonar sin que existiera ningún peligro, provocando sólo histeria y no pocos desmayos en personas que la escucharon por radio o televisión. En fin, como todo, tiene sus pros y sus contras. Sin embargo, si se mejora su eficiencia, en caso de un sismo tendremos la oportunidad de ponernos en un lugar seguro si escuchamos la alarma y con ello evitaremos en lo posible algún riesgo de accidente grave.

Cabe señalar que el Sistema de Alerta Sísmica está constituido por 12 estaciones instaladas a lo largo de 300 kilómetros de la costa de Guerrero, pues en ese estado se ubica la principal falla de la placa de Cocos, en donde se acumula energía que después se disipa por ondas mecánicas que provocan los temblores de la tierra en el Distrito Federal.

13 Ultrasonido

Los ultrasonidos son engendrados por fuentes sonoras que vibran a una frecuencia superior a 20 000 ciclos/s. El oído humano no puede percibir el ultrasonido porque el tímpano, empujado por la presión de la onda, no dispone del tiempo necesario para recuperar su tensión normal cuando lo requiere la depresión de la onda en sentido contrario y así sucesivamente. Sin embargo, los perros sí perciben los ultrasonidos y los cazadores emplean un silbato que emite ultrasonidos para llamar a estos animales.

Los murciélagos están provistos de un órgano emisor de ultrasonido y otro receptor que funcionan juntos como un radar detector de obstáculos, el cual les permite volar en la oscuridad en medio de los obstáculos, así como detectar a sus presas y atraparlas sin verlas. Los delfines y las ballenas también se comunican entre sí por medio de ultrasonido (figura 10.20).



figura 10.20

Las ballenas y los delfines se comunican con sus manadas a través de sonidos ultrasónicos.

Los aparatos generadores de ultrasonidos basan su funcionamiento en la denominada piezoelectricidad, fenómeno que consiste en producir electricidad en algunos cristales como el cuarzo, cuando son sometidos a presiones o a deformaciones mecánicas. Las ondas ultrasonoras se propagan mejor en el agua y los medios sólidos que en el aire y, como toda onda, se reflejan al chocar contra un obstáculo. Asimismo, en el corto espacio existente entre la semionda donde el aire se halla comprimido y la semionda sometida a depresión, se producen diferencias de presión de varias atmósferas, por lo cual estas ondas pueden ejercer efectos mecánicos en la materia finamente dividida. El ultrasonido tiene múltiples aplicaciones y a continuación describiremos algunas de ellas:

a) Sondas para medir la profundidad del mar y detectar submarinos o bancos de peces. Actualmente se usa mucho el aparato llamado **sonar**, basado en la reflexión de las ondas ultrasonoras. El sonar se coloca en la parte inferior del casco de un barco y consta de un emisor de sonidos; las ondas que envía se reflejan en el fondo del mar o en el banco de peces y un colector recoge su eco. La distancia a la que se halla el obstáculo se calcula en función de la magnitud de la

velocidad del sonido en el agua y en el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción (veáse la figura 2.11 en la segunda unidad de este libro).

b) Aparatos detectores de deformaciones, agrietamientos, burbujas u otras imperfecciones externas o internas de piezas metálicas o reactores atómicos. Cualquier defecto se detecta al variar la intensidad del ultrasonido cuando pasa por alguna grieta o burbuja, pues el aire atrapado en una masa de una pieza modelada refleja el ultrasonido, que pasa libremente en las partes sanas de la pieza.

c) Limpieza total de cualquier pieza sucia o grasosa, al lograr que el ultrasonido fragmente y disperse toda suciedad.

d) Aplicaciones terapéuticas en las que el ultrasonido posibilita realizar estudios del cuerpo humano para detectar tumores o diferentes irregularidades en los órganos, a fin de atender oportunamente una enfermedad curable. El ultrasonido también se emplea para verificar que el feto se está desarrollando sin peligro y para conocer el sexo del futuro recién nacido (figura 10.21).





figura 10.21

El ultrasonido se utiliza para verificar el desarrollo del feto y el sexo del futuro recién nacido.

Resolución de problemas de ondas mecánicas

1 Calcular la rapidez o magnitud de la velocidad con la que se propaga una onda longitudinal cuya frecuencia es de 120 ciclos/s y su longitud de onda es de 10 m/ciclo.

Solución:

Datos

$v = ?$

$f = 120$ ciclos/s

$\lambda = 10$ m/ciclo

Fórmula

$v = \lambda f$

Sustitución y resultado

$v = 10 \text{ m/ciclo} \times 120 \text{ ciclos/s} = 1\,200 \text{ m/s}$

2 Una lancha sube y baja por el paso de las olas cada 3.2 segundos, entre cresta y cresta hay una distancia de 24.5 m. ¿Cuál es la magnitud de la velocidad con que se mueven las olas?

Solución:

Datos

$T = 3.2$ s/ciclo

Fórmulas

$f = \frac{1}{T}$

$\lambda = 24.5$ m/ciclo

$v = \lambda f$

$v = ?$

Sustitución y resultado

$$f = \frac{1}{3.2 \text{ s/ciclo}} = 0.31 \text{ ciclo/s}$$

$v = 24.5 \text{ m/ciclo} \times 0.31 \text{ ciclo/s} = 7.6 \text{ m/s}$

3 La cresta de una onda producida en la superficie libre de un líquido avanza 0.4 m/s. Si tiene una longitud de onda de 6×10^{-3} m/ciclo, calcular su frecuencia.

Solución:

Datos

$v = 0.4$ m/s

$\lambda = 6 \times 10^{-3}$ m/ciclo

$f = ?$

Fórmula

$v = \lambda f \quad \therefore \quad f = \frac{v}{\lambda}$

Sustitución y resultado

$$f = \frac{0.4 \text{ m/s}}{6 \times 10^{-3} \text{ m/ciclo}} = 0.066 \times 10^{3} \text{ ciclo/s}$$

4 Por una cuerda tensa se propagan ondas con una frecuencia de 200 hertz y una rapidez de propagación de 130 m/s. ¿Cuál es su longitud de onda?

Solución:

Datos

$f = 200$ Hz

$v = 130$ m/s

$\lambda = ?$

Fórmula

$v = \lambda f \quad \therefore \quad \lambda = \dfrac{v}{f}$

Sustitución y resultado

$$\lambda = \frac{130 \text{ m/s}}{200 \text{ ciclos/s}} = 0.65 \text{ m/ciclo}$$

5 Calcular la frecuencia y el periodo de las ondas producidas en una cuerda de guitarra, si tienen una rapidez de propagación de 140 m/s y su longitud de onda es de 0.3 m/ciclo.

Solución:

Datos

$f = ?$

$T = ?$

$v = 140$ m/s

$\lambda = 0.3$ m/ciclo

Fórmulas

$v = \lambda f \quad \therefore \quad f = \dfrac{v}{\lambda}$

$T = \dfrac{1}{f}$

Sustitución y resultados

$$f = \frac{140 \text{ m/s}}{0.3 \text{ m/ciclo}} = 466.66 \text{ ciclos/s}$$

$$T = \frac{1}{466.66 \text{ ciclos/s}} = 0.002 \text{ s/ciclo}$$

6 Un barco provisto de sonar emite una señal ultrasónica para determinar la profundidad del mar en un punto. Si la señal tarda 1.2 segundos en regresar al barco, a una rapidez de 1 450 m/s, ¿cuál es la profundidad del mar en ese lugar?

Solución:

Datos

$t = 1.2$ s

$v = 1\,450$ m/s

$p = ?$

Fórmula

$v = \dfrac{d}{t} \quad \therefore \quad d = vt$

$p = \dfrac{d}{2}$

Sustitución y resultado

$d = 1\,450 \text{ m/s} \times 1.2 \text{ s} = 1\,740 \text{ m} \quad \therefore$

$$p = \frac{1\,740}{2} = 870 \text{ m}$$

Nota: La señal recorre una distancia de 1 740 m en ir y regresar al barco, entonces la profundidad del mar es igual a la mitad de esa distancia, esto es, 870 m.

7 Calcular las longitudes de onda de dos sonidos cuyas frecuencias son 250 Hz y 2 400 Hz si:

a) Se propagan en el aire a una rapidez de 340 m/s.

b) Se propagan en el agua a una rapidez de 1 435 m/s.

Solución:

Datos

$f_1 = 250$ Hz

$f_2 = 2\,400$ Hz

a) $v = 340$ m/s

$\lambda_1 = ?$ $\quad \lambda_2 = ?$

b) $v = 1\,435$ m/s

$\lambda_1 = ?$ $\quad \lambda_2 = ?$

Fórmula

$v = \lambda f \quad \therefore \quad \lambda = \dfrac{v}{f}$

Sustitución y resultados

a)
$$\lambda_1 = \frac{340 \text{ m/s}}{250 \text{ ciclos/s}} = 1.36 \text{ m/ciclo}$$
$$\lambda_2 = \frac{340 \text{ m/s}}{2\,400 \text{ ciclos/s}} = 0.14 \text{ m/ciclo}$$

b)
$$\lambda_1 = \frac{1\,435 \text{ m/s}}{250 \text{ ciclos/s}} = 5.74 \text{ m/ciclo}$$
$$\lambda_2 = \frac{1\,435 \text{ m/s}}{2\,400 \text{ ciclos/s}} = 0.59 \text{ m/ciclo}$$

8 En una varilla de hierro se genera una onda compresiva con una frecuencia de 320 *Hz*; la onda después pasa de la varilla al aire. La rapidez de propagación de la onda es de 5 130 m/s en el hierro y de 340 m/s en el aire. Calcular la longitud de onda en el hierro y en el aire.

Solución:

Datos

$f = 320$ Hz

$v_{Fe} = 5\,130$ m/s

$v_{aire} = 340$ m/s

$\lambda_{Fe} = ?$

$\lambda_{aire} = ?$

Fórmula

$v = \lambda f \quad \therefore \quad \lambda = \dfrac{v}{f}$

Sustitución y resultados

$$\lambda_{Fe} = \frac{5\,130 \text{ m/s}}{320 \text{ ciclos/s}} = 16.03 \text{ m/ciclo}$$

$$\lambda_{aire} = \frac{340 \text{ m/s}}{320 \text{ ciclos/s}} = 1.06 \text{ m/ciclo}$$

9 Se percibe el resplandor de un rayo y 5 segundos después se escucha el ruido del trueno, calcular

a qué distancia del observador cayó el rayo. La rapidez del sonido en el aire es de 340 m/s.

Solución:

Datos

$t = 5$ s

$v = 340$ m/s

$d = ?$

Fórmula

$$v = \frac{d}{t} \quad \therefore \quad d = vt$$

Sustitución y resultado

$d = 340 \text{ m/s} \times 5 \text{ s} = 1700 \text{ m}$

10. Una ambulancia lleva una velocidad cuya magnitud es de 70 km/h y su sirena suena con una frecuencia de 830 Hz. Qué frecuencia aparente escucha un observador que está parado, cuando:

a) La ambulancia se acerca a él.

b) La ambulancia se aleja de él. Considere la velocidad del sonido en el aire con una magnitud de 340 m/s.

Solución:

Datos

$v = 70$ km/h

$f = 830$ Hz

$f' = ?$

$V = 340$ m/s

Fórmula

$$f' = \frac{fV}{V \pm v}$$

Transformación de unidades

$$70\frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 19.44 \text{ m/s}$$

Sustitución y resultados

a) $f' = \dfrac{830 \text{ ciclos/s} \times 340 \text{ m/s}}{340 \text{ m/s} - 19.44 \text{ m/s}} = 880.33 \text{ Hz}$

b) $f' = \dfrac{830 \text{ ciclos/s} \times 340 \text{ m/s}}{340 \text{ m/s} + 19.44 \text{ m/s}} = 785.11 \text{ Hz}$

Ejercicios propuestos

1. Determinar la frecuencia de las ondas que se transmiten por una cuerda tensa, cuya rapidez de propagación es de 200 m/s y su longitud de onda es de 0.7 m/ciclo.

2. ¿Cuál es la rapidez o magnitud de la velocidad con que se propaga una onda longitudinal en un resorte, cuando su frecuencia es de 180 Hz y su longitud de onda es de 0.8 m/ciclo?

3. Se produce un tren de ondas en una cuba de ondas, entre cresta y cresta hay una distancia de 0.03 m, con una frecuencia de 90 Hz. ¿Cuál es la magnitud de la velocidad de propagación de las ondas?

4. En una cuerda tensa se producen ondas con una frecuencia de 240 Hz, a una velocidad de propagación cuya magnitud es de 150 m/s. ¿Qué longitud de onda tienen?

5. Determinar cuál es la frecuencia y el periodo de las ondas producidas en una cuerda de violín si la velocidad de propagación tiene una magnitud de 220 m/s y su longitud de onda es de 0.2 m/ciclo.

6. Una fuente sonora produce un sonido con una frecuencia de 750 Hz, calcular su longitud de onda en:

a) El aire.

b) El agua.

Considere la magnitud de la velocidad del sonido en el aire de 340 m/s y en el agua de 1 435 m/s.

7. Un submarino emite una señal ultrasónica detectando un obstáculo en su camino; la señal tarda 2 segundos en ir y regresar al submarino. ¿A qué distancia se encuentra el obstáculo? Considere la magnitud de la velocidad de propagación del sonido en el agua igual a 1 435 m/s.

8. Un cañón dispara un proyectil y 3.5 segundos después de ser expulsado se escucha el ruido de la explosión. ¿A qué distancia del cañón se encuentra el observador? Considere la magnitud de la velocidad de propagación del sonido en el aire de 340 m/s.

9. En una varilla de aluminio se produce una onda compresiva con una frecuencia de 450 Hz, misma que es transmitida del aluminio a un tanque lleno con agua. Calcular la longitud de onda en la varilla y en el agua, su magnitud de velocidad de propagación es de 5 100 m/s en el aluminio y de 1 435 m/s en el agua.

10. Una patrulla de caminos se mueve a una velocidad cuya magnitud es de 110 km/h, haciendo sonar su sirena con una frecuencia de 900 Hz. Encontrar la frecuencia aparente escuchada por un observador en reposo cuando:

a) La patrulla se acerca a él.
b) La patrulla se aleja de él.

Considere la magnitud de la velocidad de propagación del sonido en el aire de 340 m/s.

11 Un automovilista que viaja a una velocidad cuya magnitud es de 80 km/h escucha el silbato de una fábrica cuya frecuencia es de 1 100 Hz. Calcular la frecuencia aparente escuchada por el automovilista cuando:

a) Se acerca a la fuente.
b) Se aleja de la fuente.

Considere la magnitud de la velocidad de propagación del sonido en el aire de 340 m/s.

Actividad experimental 17

Ondas superficiales

Objetivo

Observar las características de las ondas mecánicas producidas en la superficie de un líquido.

Consideraciones teóricas

Las **ondas mecánicas** son aquellas ocasionadas por una perturbación y que para su propagación en forma de oscilaciones periódicas **requieren de un medio material**. Tal es el caso de las ondas producidas en un resorte, una cuerda, en el agua, o en algún medio por el sonido. Las ondas pueden ser longitudinales si las partículas del medio material vibran paralelamente a la dirección de propagación de la onda; como las ondas producidas en un resorte. Son transversales si las partículas del medio material vibran en forma perpendicular a la dirección de propagación de la onda; ejemplo de éstas son las ondas que se difunden en un estanque al arrojar una piedra. Las ondas también se clasifican en lineales si se propagan en una sola dimensión, tal es el caso de un resorte; superficiales si se propagan en dos dimensiones, como sucede en la superficie de un líquido cuando una piedra cae en un estanque; tridimensionales si se propagan en todas direcciones, el sonido, por ejemplo.

Material empleado

Un tanque de ondas con fuente luminosa, una cartulina blanca o papel blanco, una cubeta grande con agua, una regla de plástico de 30 cm, dos lápices con punta, un transportador, dos bloques de madera, una piedra pequeña, un cuaderno y un pedazo de manguera semicircular.

Desarrollo de la actividad experimental

1. **Frente de onda.** Llene una cubeta con agua y deje caer una piedra pequeña en su centro. Observe las ondas que se forman.

   Nota: Repita la actividad experimental cuantas veces sea necesario, para observar con claridad las ondas que se forman.

2. **Reflexión de las ondas.** Instale un tanque de ondas como el de la figura 10.22, el cual consta de un recipiente con fondo de vidrio y una lámpara en la parte superior para que la sombra de las ondas se vea en el papel blanco colocado debajo del tanque. La lámpara también puede colocarse en la parte inferior, a fin de observar las ondas reflejadas en el techo del laboratorio a manera de pantalla. Agréguele agua al tanque de ondas, a una altura aproximadamente de 5 a 7 mm.

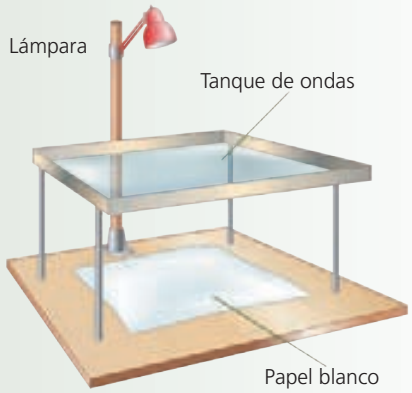


figura 10.22
Tanque de ondas con fuente luminosa.

En un extremo del tanque, toque el agua con la punta de un lápiz para producir una perturbación de fuente puntual. Después mueva el lápiz de arriba hacia abajo con movimientos regulares y observe las ondas en la pantalla. Coloque una regla a manera de barrera recta a unos 20 cm de donde se generan los pulsos con la punta del lápiz y note cómo se reflejan las ondas. Mueva la regla o barrera recta para formar un ángulo de 40º respecto al lápiz generador de los pulsos; observe

el ángulo de incidencia de las ondas reflejadas con relación al ángulo de reflexión. Finalmente, cambie la regla por un trozo de manguera, colóquelo a manera de barrera semicircular a 20 cm de donde se generan los pulsos con la punta del lápiz y vea cómo son las ondas reflejadas.

3. **Difracción de las ondas**. Como se ve en la figura 10.23(a), use su regla para generar un frente de onda recto. Dibuje la forma de la onda en su cuaderno. Ahora coloque dos bloques de madera, como se aprecia en la figura 10.23(b), separados unos 5 cm; genere un frente de onda recto con la regla y observe la forma de la onda después de pasar entre los bloques.

   Repita la experiencia con los bloques separados por distancias cada vez menores, hasta llegar a una separación de unos 5 mm.

4. **Interferencia de las ondas**. A intervalos de tiempo regulares, sumerja la punta de un lápiz en un extremo del tanque de ondas y observe la formación de las ondas. Ahora, utilice dos lápices separados por unos 10 cm; sáquelos y métalos en el agua al mismo tiempo y vea las formas que se producen en donde los frentes de onda se cruzan.

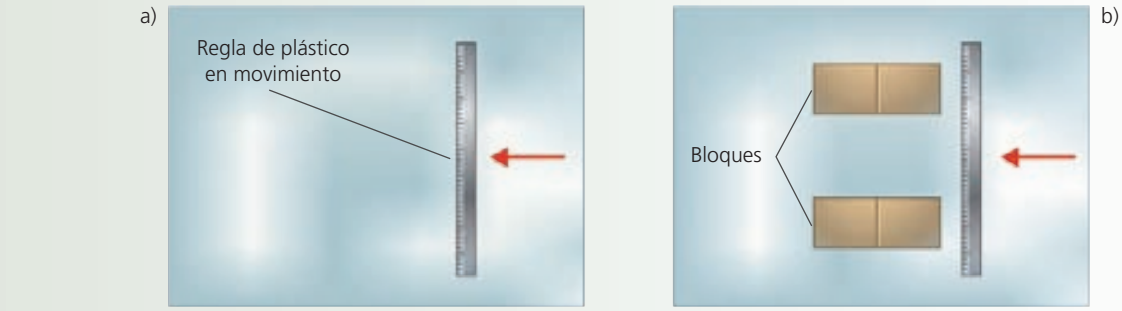


figura 10.23

En a) se aprecia cómo se genera un frente de onda recto con una regla.
En b) se observa el comportamiento de una onda cuando pasa por la abertura de dos bloques de madera.

Cuestionario

Frente de onda

1. ¿Son transversales las ondas que se formaron en la cubeta al dejar caer la piedra? ¿Por qué?
2. ¿Cada onda está formada por una prominencia o cresta y por una depresión o valle? Justifique su respuesta.
3. ¿Qué representa cada círculo formado?
4. A partir del centro emisor de las ondas, o lugar donde cayó la piedra, ¿avanzan al mismo tiempo los diferentes frentes de onda? Justifique su respuesta.

Reflexión de las ondas

5. Dibuje el modelo proyectado en la pantalla del papel blanco en el tanque de ondas, y explique el porqué de las áreas claras y oscuras.
6. ¿Cómo son las ondas cuando el lápiz se mueve de arriba hacia abajo, considerando la dirección de propagación y su forma?
7. Dibuje y describa las ondas que se generan al poner la regla como barrera.
8. Dibuje y describa las ondas generadas al cambiar la regla por un trozo de manguera semicircular.

Difracción de las ondas

9. De acuerdo con el punto 3 de la actividad experimental, ¿cómo se define el fenómeno de difracción de las ondas? Dibuje cómo son las ondas que se forman después de pasar entre los bloques.

Interferencia de las ondas

10. ¿Qué sucede al introducir los dos lápices al mismo tiempo, ¿aparece cada frente de onda como si el otro no estuviera ahí, o se interfieren de alguna manera?
11. Defina las interferencias constructiva y destructiva de las ondas.
12. ¿En la última parte de la actividad experimental se observan dichos fenómenos? Si es así, descríbalos y dibújelos.

Resumen

1. Un movimiento ondulatorio es un proceso por medio del cual se trasmite energía de una parte a otra sin que exista transferencia de materia, ya sea por medio de ondas mecánicas o de ondas electromagnéticas.
2. Las *ondas mecánicas* son ocasionadas por una vibración u oscilación, es decir, una perturbación inicial; para su propagación es necesario la existencia de un medio material. Otro tipo de ondas son las llamadas electromagnéticas, las cuales no necesitan de un medio material para su propagación, pues se difunden aun en el vacío.
3. Las *ondas longitudinales* se presentan cuando las partículas del medio material vibran paralelamente a la dirección de propagación de la onda.
4. Las *ondas transversales* se manifiestan cuando las partículas del medio material vibran en forma perpendicular a la dirección de propagación de la onda.
5. En las ondas mecánicas la que se desplaza o avanza es la energía de la onda y no las partículas del medio, éstas únicamente vibran transmitiendo la energía, pero conservan sus posiciones alrededor de puntos más o menos fijos.
6. Es importante distinguir entre el movimiento vibratorio u oscilatorio de las partículas de un determinado material eleastico, como puede ser una reata o cuerda, un resorte, el agua, etcétera, al moverse hacia abajo y hacia arriba de su posición de equilibrio en un movimiento periódico, del movimiento ondulatorio que se produce como resultado de la vibración, oscilación o perturbación producida en el medio material.
7. Un *tren de ondas* se produce, por ejemplo, cuando una cuerda tensa, sujeta por uno de sus extremos, se mueve varias veces hacia abajo y hacia arriba. Un *frente de onda* está formado por todos los puntos que se encuentran en la misma fase del movimiento, ya sea una cresta o un valle. Cada punto de un frente de onda es un nuevo generador de ondas. El *rayo* o *vector* de propagación es la línea que señala la dirección en que avanza cualquiera de los puntos de un frente de onda.
8. Las ondas también se clasifican, según su forma de propagación, en: **a)** *Lineales,* son las que se propagan en una sola dimensión o rayo, tal es el caso de las ondas producidas en una cuerda o un resorte. **b)** *Superficiales*, son las que se difunden en dos dimensiones, como las ondas producidas en una lámina metálica o en la superficie de un líquido. En éstas los frentes de onda son circunferencias concéntricas al foco o centro emisor. **c)** *Tridimensionales,* son las que se propagan en todas direcciones, como el sonido. Los frentes de una onda sonora son esféricos y los rayos salen en todas direcciones a partir del centro emisor.
9. Las características de las ondas son: **a)** *longitud de onda:* es la distancia entre dos frentes de onda en la misma fase, por ejemplo, la distancia entre dos crestas o dos valles consecutivos; **b)** *frecuencia:* es el número de veces por segundo en el cual se realiza un ciclo completo de una onda; se mide en ciclos/s = hertz; **c)** *periodo:* es el tiempo que tarda en realizarse un ciclo de la onda. El periodo es el inverso de la frecuencia y viceversa: $T = \frac{1}{f}$; $f = \frac{1}{T}$; **d)** *nodo:* punto donde la onda cruza la línea de equilibrio; **e)** *elongación:* es la distancia entre cualquier punto de una onda y su posición de equilibrio; **f)** *amplitud de onda*: es la máxima elongación o alejamiento de su posición de equilibrio que alcanzan las partículas vibrantes; **g)** *rapidez de propagación*: es aquella con la cual se propaga un pulso a través de un medio. La rapidez con la que se propaga una onda, por un medio específico, siempre es la misma y se calcula con las expresiones: $v = \lambda/T$; $v = \lambda f$.
10. La *reflexión* de las ondas se presenta cuando éstas encuentran un obstáculo que les impide propagarse, chocan y cambian de sentido sin modificar sus demás características.
11. El principio de *superposición* enuncia: el desplazamiento experimentado por una partícula vibrante equivale a la suma vectorial de los desplazamientos que cada onda le produce.
12. La *interferencia* se produce cuando se superponen simultáneamente dos o más trenes de onda; este fenómeno se emplea para comprobar si un movimiento es ondulatorio o no. *La interferencia constructiva* se presenta al superponerse dos movimientos ondulatorios de igual frecuencia y longitud de onda, que llevan el mismo sentido. La onda resultante tiene mayor amplitud, pero conserva la misma frecuencia. La *interferencia destructiva* se manifiesta cuando se superponen dos movimientos ondulatorios con una diferencia de fase. Si se superponen dos ondas de la misma amplitud y la cresta de una coincide con el valle de la otra, la onda resultante tiene una amplitud igual a cero.
13. Las *ondas estacionarias* se producen cuando interfieren dos movimientos ondulatorios de la misma frecuencia y amplitud, que se propagan en sentidos contrarios a lo largo de una línea con una diferencia de fase de media longitud de onda.

14. La *refracción de las ondas* se presenta cuando éstas pasan de un medio a otro de distinta densidad, o bien, cuando el medio es el mismo, pero se encuentra en condiciones diferentes, por ejemplo, el agua a distintas profundidades. Ello origina que las ondas cambien su rapidez o magnitud de velocidad de propagación y su longitud de onda, conservando constante su frecuencia.

15. La *difracción de las ondas* es otra característica de las ondas, se produce cuando una onda encuentra un obstáculo en su camino y lo rodea o lo contornea.

16. Las *ondas sonoras* son ondas mecánicas longitudinales. El sonido se produce cuando un cuerpo es capaz de vibrar a una frecuencia comprendida entre 15 ciclos/s y unos 20 000 ciclos/s, gama que recibe el nombre de frecuencias del espectro audible. Cuando la frecuencia de una onda es inferior al límite audible se dice que es infrasónica y si es mayor se dice que es ultrasónica.

17. El *sonido* se propaga en todas direcciones en forma de ondas a través de los medios elásticos, pero no se propaga en el vacío.

18. La magnitud de la velocidad con la que se propaga un sonido depende del medio elástico y de su temperatura. La magnitud de la velocidad de propagación del sonido es mayor en los sólidos que en los líquidos, y en éstos mayor que en los gases.

19. La *acústica* se encarga del estudio de los sonidos. Los fenómenos acústicos, consecuencia de algunos efectos auditivos provocados por el sonido son: **a)** *reflexión*, se produce cuando las ondas sonoras se reflejan al chocar con una pared dura; **b)** *eco*, se origina por la repetición de un sonido reflejado; **c)** *resonancia,* se presenta cuando la vibración de un cuerpo hace vibrar a otro con la misma frecuencia; **d)** *reverberación*, se produce cuando después de escucharse un sonido original, éste persiste dentro de un local como consecuencia del eco.

20. Las cualidades del sonido son: **a)** *Intensidad*, ésta determina si un sonido es fuerte o débil, la intensidad de un sonido aumenta si se incrementa la amplitud de onda, la intensidad es mayor si la superficie que vibra también lo es. Para medir la intensidad de un sonido se usa como unidad el bel o el decibel equivalente a 0.1 bel. El umbral de audición del oído humano equivale a 0 decibeles y el umbral del dolor es de 120 decibeles. **b)** *Tono*, esta cualidad del sonido depende de la frecuencia con la que vibra el cuerpo emisor del sonido. A mayor frecuencia, el sonido es más alto o agudo; a menor frecuencia, el sonido es más bajo o grave. **c)** *Timbre*, esta cualidad permite identificar la fuente sonora. Por ello, podemos identificar las voces de personas conocidas, así como los instrumentos que producen un sonido.

21. El *efecto Doppler* consiste en un cambio aparente en la frecuencia de un sonido, durante el movimiento relativo entre el observador y la fuente sonora. Este fenómeno se aprecia claramente al escuchar la sirena de una ambulancia, pues notamos que el tono se hace agudo a medida que se aproxima y después se hace grave al alejarse. Sucede un efecto similar si la fuente sonora permanece fija y el observador es quien se acerca. Para calcular la frecuencia aparente de un sonido escuchado por un observador, tenemos las siguientes situaciones:

a) Cuando la fuente sonora está en movimiento y el observador está en reposo se usa la expresión:

$$f' = \frac{fV}{V \pm v},$$

b) Cuando la fuente sonora permanece en reposo y el observador es quien se acerca o aleja de ella se usa la expresión:

$$f' = \frac{f(V \pm v)}{V}$$

Autoevaluación

Escriba en su cuaderno las respuestas a las siguientes preguntas. Si se le presentan dudas al responder vuelva a leer la sección correspondiente del libro, la cual viene señalada al final de cada pregunta para su fácil localización.

1. Explique por medio de ejemplos observables en su entorno, qué es una onda mecánica y qué es una onda electromagnética. *(Introducción de la unidad 10)*
2. ¿Qué origina una onda mecánica? *(Introducción de la unidad 10)*
3. Explique con un ejemplo de su entorno cuáles son las ondas longitudinales. *(Sección 1)*
4. Explique con un ejemplo de su entorno cuáles son las ondas transversales. *(Sección 1)*

5. ¿Sufren algún desplazamiento considerable las partículas de un medio material cuando se desplaza una onda? Fundamente con un ejemplo su respuesta. *(Sección 1)*
6. Explique cómo se produce un tren de ondas en una cuerda atada por uno de sus extremos. *(Sección 2)*
7. Defina qué es un frente de onda. *(Sección 2)*
8. ¿Qué señala el rayo o vector de propagación de una onda? *(Sección 2)*
9. Explique con un ejemplo de su vida cotidiana cuáles son las ondas lineales. *(Sección 3)*
10. Explique con un ejemplo de su vida cotidiana cuáles son las ondas superficiales. *(Sección 3)*
11. ¿Por qué son tridimensionales las ondas sonoras? *(Sección 3)*
12. Explique los siguientes conceptos:
    - **a)** Longitud de onda.
    - **b)** Frecuencia.
    - **c)** Periodo.
    - **d)** Nodo.
    - **e)** Elongación.
    - **f)** Amplitud de onda.
    - **g)** Rapidez de propagación de una onda. *(Sección 4)*
13. Puesto que la velocidad de propagación de una onda es de una magnitud constante para cada medio material, ¿qué sucede si llega al medio una onda de alta frecuencia? *(Sección 4)*
14. Explique con un ejemplo de su entorno cuándo se presenta el fenómeno de reflexión de una onda y qué sucede con sus características. *(Sección 5)*
15. Explique el principio de superposición de las ondas. *(Sección 6)*
16. ¿Cuándo se produce la interferencia de las ondas? *(Sección 7)*
17. ¿Qué ocasiona una interferencia constructiva? *(Sección 7)*
18. Describa mediante un dibujo cómo se produce una interferencia destructiva. *(Sección 7)*
19. ¿Cómo se pueden producir ondas estacionarias? *(Sección 8)*
20. Explique con un ejemplo de su entorno, cuándo se presenta la refracción de las ondas. *(Sección 9)*
21. Explique con un ejemplo de su entorno, qué sucede con la frecuencia de las ondas cuando se refractan. *(Sección 9)*
22. Describa en qué consiste el fenómeno de difracción de las ondas. *(Sección 10)*
23. ¿Qué tipo de ondas son las sonoras y por qué? *(Sección 11)*
24. Explique cuándo se dice que una onda es infrasónica y cuándo es ultrasónica. *(Sección 11)*
25. ¿Qué produce un cuerpo cuando vibra? *(Sección 11)*
26. Explique dónde es mayor la magnitud de la velocidad del sonido cuando se transmite en los sólidos, los líquidos o en los gases. *(Sección 11)*
27. Explique los siguientes fenómenos acústicos: reflexión, eco, resonancia y reverberación. *(Sección 11)*
28. Describa las cualidades del sonido: intensidad, tono y timbre. *(Sección 11)*
29. ¿Cuál es el intervalo de intensidades que el oído humano puede escuchar? *(Sección 11)*
30. ¿Por medio de un ejemplo de su vida cotidiana, explique en qué consiste el efecto Doppler? *(Sección 11)*

Coevaluación

Instrucciones: Consolide su aprendizaje, para ello lea y conteste en una hoja las siguientes preguntas. Una vez contestadas, intercambie con un compañero(a) sus respuestas. Coméntenlas, pónganse de acuerdo y ahora den respuestas comunes. Discútanlas con las demás parejas y enriquezcan sus conocimientos con las aportaciones de todos.

1. Adriana llena un recipiente con agua y después introduce la punta de un lápiz varias veces, para producir ondas. ¿Qué sucede con la longitud de onda si sumerge la punta del lápiz con una mayor frecuencia?
2. Sofía y Gabriel desean demostrar a sus compañeros las características de las ondas produciendo ondas transversales. ¿Qué material les sugeriría para producir ondas transversales y observar sus características?
3. ¿Por qué los perros si perciben ultrasonidos y el oído humano no?
4. En las películas de ficción, es común ver escenas en las cuales naves que se encuentran en el espacio intergaláctico disparan sus potentes armas y se escuchan los fuertes sonidos producidos. ¿Cómo le explicaría a alguien que es imposible escuchar un sonido en el espacio intergaláctico por más fuerte que sea?
5. Si le dieran la oportunidad de decidir si se autoriza o no la instalación de un sistema de alerta sísmica en su localidad, ¿qué decidiría y por qué?

6. Un policía federal de caminos se encuentra vigilando una autopista. ¿De qué manera se apoya en el efecto Doppler para detectar que un automóvil es conducido a una gran rapidez?

7. ¿Cómo puede diferenciar una onda mecánica de una onda electromagnética?

Glosario

- **Amplitud de onda**
  Es la máxima elongación o alejamiento de su posición de equilibrio que alcanzan las partículas vibrantes.
- **Acústica**
  Se encarga de estudiar el sonido.
- **Difracción de las ondas**
  Se produce cuando las ondas encuentran un obstáculo en su camino y lo rodean o lo contornean.
- **Eco**
  Es la repetición de un sonido.
- **Efecto Doppler**
  Consiste en un cambio aparente en la frecuencia de un sonido, durante el movimiento relativo entre el observador y la fuente sonora.
- **Elongación**
  Distancia entre cualquier punto de una onda y su posición de equilibrio.
- **Frecuencia**
  Número de veces por segundo en el cual se realiza un ciclo completo de una onda.
- **Frente de onda**
  Se forma por todos los puntos que se encuentran en la misma fase del movimiento, ya sea una cresta o un valle.
- **Intensidad**
  Cualidad del sonido que determina si un sonido es fuerte o débil.
- **Interferencia de ondas**
  Se produce cuando se superponen simultáneamente dos o más trenes de onda.
- **Longitud de onda**
  Es la distancia entre dos crestas o dos valles consecutivos.
- **Nodo**
  Punto donde la onda cruza la línea de equilibrio.
- **Ondas electromagnéticas**
  Son las que no necesitan de un medio material para su propagación, ya que se difunden aun en el vacío, tal es el caso de las luminosas, caloríficas y de radio.
- **Ondas lineales**
  Son las que se propagan en una sola dimensión o dirección.
- **Ondas longitudinales**
  Se presentan cuando las partículas del medio material vibran paralelamente a la dirección de propagación de la onda.
- **Ondas mecánicas**
  Son aquellas ocasionadas por una perturbación y que para su propagación requieren de un medio material.
- **Ondas sísmicas**
  Se producen porque la corteza terrestre se encuentra sujeta a vibraciones constantes debido al hundimiento de cavidades subterráneas, obturación de vapores volcánicos y dislocación de una roca.
- **Ondas sonoras**
  Son ondas mecánicas longitudinales que se producen cuando un cuerpo es capaz de vibrar a una frecuencia comprendida entre 15 ciclos/s y unos 20 000 ciclos/s.
- **Ondas superficiales**
  Son las que se propagan en dos dimensiones o dos direcciones.
- **Ondas transversales**
  Se presentan cuando las partículas del medio material vibran perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda.
- **Ondas tridimensionales**
  Son las que se propagan en tres dimensiones, es decir, en el espacio.
- **Periodo**
  Tiempo que tarda en producirse un ciclo de la onda.
- **Rapidez de propagación**
  Es aquella con la cual se propaga un pulso a través de un medio. Su magnitud es igual al producto de la frecuencia por la longitud de onda.
- **Rayo o vector de propagación**
  Línea que señala la dirección en que avanza cualquiera de los puntos de un frente de onda.
- **Reflexión de las ondas**
  Se produce cuando encuentran un obstáculo que les impide propagarse.
- **Refracción de las ondas**
  Se presenta cuando las ondas pasan de un medio a otro de distinta densidad.
- **Resonancia**
  Se presenta cuando la vibración de un cuerpo hace vibrar a otro con la misma frecuencia.
- **Tono**
  Cualidad del sonido que depende de la frecuencia con que vibra el cuerpo emisor del sonido.
- **Ultrasonido**
  Es provocado por fuentes sonoras que vibran a una frecuencia superior a 20 000 ciclos/s.

UNIDAD 11

CONTENIDO

- Diferencia entre calor y temperatura
- Medida de la temperatura
- Diferentes escalas termométricas: Celsius, Kelvin y Fahrenheit
- Dilatación de los cuerpos
- Formas de propagación del calor
- Energía solar, su medida y transformación
- Unidades para medir el calor
- Capacidad calorífica
- Calor específico
- Calor latente
- Calor cedido y absorbido por los cuerpos
- Los gases y sus leyes
- Termodinámica
- Actividad experimental 18: *Calor cedido y absorbido por los cuerpos. Uso del calorímetro*
- Resumen
- Autoevaluación
- Coevaluación
- Glosario

La sensación de calor o de frío está estrechamente relacionada con nuestra vida cotidiana. En el siglo XVIII los físicos consideraban erróneamente, que el calor era un fluido invisible sin sabor, olor ni peso; lo llamaban calórico y de él sólo conocían sus efectos: cuanto más caliente estaba un cuerpo, más fluido o calórico tenía. Cuando el calórico fluía en una sustancia, ésta se expandía debido a que ocupaba un lugar en el espacio, y cuando el calórico salía, la sustancia se enfriaba y se contraía. Finalmente, consideraron que el calórico no podía ser creado ni destruido, razón por la cual no era posible formarlo a partir de alguna cosa ni podía ser sustituido por otra.

A finales del siglo XVIII Benjamín Thompson descubrió, al barrenar un cañón, que la fricción produce calor. Más adelante, Joule demostró que cuando se proporciona energía, ya sea por fricción, corriente eléctrica, radiación o cualquier otro medio, para producir trabajo mecánico, éste puede ser transformado en una cantidad equivalente de calor. Con estas investigaciones se desechó la teoría del calórico para explicar qué era el calor. Actualmente, **se interpreta al calor como una energía en tránsito que fluye de cuerpos a mayor temperatura a los de menor temperatura.**

Cuando tocamos un cuerpo lo podemos sentir caliente o frío según la temperatura que tenga, así como de su capacidad para conducir calor. Es por ello que, si tocamos un cuerpo que sea un buen conductor del calor como lo es el metal, lo sentiremos aparentemente más frío, que si tocamos un trozo de madera que se encuentra a la misma temperatura que el metal, pero es un mal conductor de calor. Nuestro organismo no detecta la temperatura, sino pérdidas o ganancias de calor. Si sentimos que un cuerpo está muy frío es porque nuestro organismo le está transmitiendo mucho calor.

La temperatura es una magnitud física que indica qué tan caliente o fría está una sustancia y se mide con un termómetro.

Al suministrarle calor a una sustancia no sólo se eleva la temperatura, también se producen alteraciones en varias de sus propiedades físicas. Por tanto, al variar la temperatura, las sustancias se dilatan o se contraen, su resistencia eléctrica cambia y si se trata de un gas, su presión varía.

La temperatura es una de las magnitudes físicas o parámetros que contribuyen a describir el estado de un sistema. Al conocer su valor y el de otros parámetros, tales como la presión o el volumen, se puede tener una información valiosa para predecir los cambios que se producirán en un sistema cuando interactúa con otro.



Termología

1 Diferencia entre calor y temperatura

La temperatura y el calor están muy ligados, pero no son lo mismo. Cuando tocamos un cuerpo lo podemos sentir caliente o frío según la temperatura que tenga, así como de su capacidad para conducir el calor. Es por ello que, si coloca sobre una mesa un bloque de madera y una placa de metal, al tocar la placa de metal la siente más fría porque conduce mejor el calor de su cuerpo que la madera, no obstante, los dos tienen la misma temperatura (figura 11.1). La magnitud física que indica qué tan caliente o fría es una sustancia respecto a un cuerpo que se toma como base o patrón es la temperatura. Cuando se suministra calor a una sustancia, no sólo se eleva su temperatura, sintiéndose más caliente, también se producen alteraciones en varias de sus propiedades físicas. Por tanto, al variar la temperatura, las sustancias se dilatan o se contraen, su resistencia eléctrica cambia y si se trata de un gas, su presión varía.

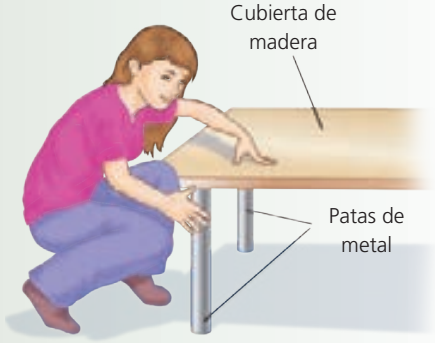


figura 11.1

Al tocar con la mano un metal se siente, aparentemente, más frío que si se toca un trozo de madera, debido a que el metal conduce mejor el calor de nuestro cuerpo.

La temperatura de un cuerpo o un sistema es una propiedad intensiva, ya que no depende de la cantidad de materia ni de su naturaleza, sino del ambiente en el que se encuentren. Por tanto, una piedra, un trozo de metal o de madera, etc., que se localizan en un mismo lugar, por ejemplo, en una habitación, tendrán la misma temperatura (figura 11.2).

Sin embargo, la temperatura sí depende del estado de agitación o movimiento desordenado de las moléculas, o sea, del valor de la energía cinética media o promedio de las moléculas del cuerpo o del sistema. Por ello, se considera que sus moléculas no tendrían energía cinética traslacional a la temperatura denominada cero absoluto y que corresponde a cero Kelvin o −273 °C.

Es muy importante recordar que nuestro organismo no detecta la temperatura, sino pérdidas o ganancias de



figura 11.2

La temperatura de los cuerpos no depende de la cantidad de materia sino del lugar en que se encuentren, ya que la temperatura que alcancen será la misma que tenga el medio donde se ubiquen.

calor. Cuando sentimos que un cuerpo está muy frío es porque nuestro organismo le está transfiriendo mucho calor; sin embargo, otra persona que esté a menor temperatura, puede sentirlo sólo frío al transferirle una menor cantidad de calor.

Se denomina calor a la transferencia de energía de una parte a otra de un cuerpo o entre distintos cuerpos que se encuentran a diferente temperatura. El calor es energía en tránsito y siempre fluye de cuerpos de mayor

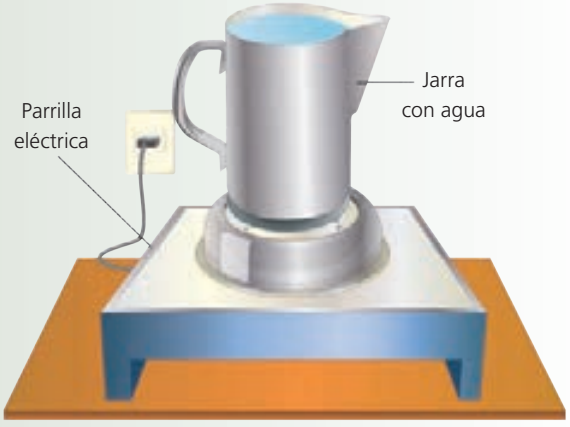


figura 11.3

El calor es energía en tránsito y fluye de los cuerpos con mayor temperatura a los de menor temperatura, hasta que igualen sus valores.

temperatura a los de menor temperatura (figura 11.3). El calor no fluye desde un cuerpo de temperatura menor a otro de temperatura mayor a menos que se realice un trabajo, tal es el caso del refrigerador que revisaremos más adelante. Actualmente, los físicos señalan que un cuerpo no posee calor, sino que tiene energía interna, de tal manera que **el calor es la energía calorífica que se transfiere de los cuerpos que están a mayor temperatura a los de menor temperatura, hasta que los cuerpos tienen la misma temperatura**. Después de que la transferencia de calor a un cuerpo o sustancia cesa, ya no se le denomina calor y se interpreta como la energía interna del cuerpo o sustancia de la que se trate.

La energía interna de un cuerpo o sustancia se define como la suma de las energías cinética y potencial de todas las moléculas individuales que lo constituyen. Al suministrar calor a un cuerpo o sustancia, se provoca un aumento en la energía de agitación de sus moléculas, se produce entonces un incremento en la energía interna y, por consiguiente, un aumento en la temperatura.

El calor es la magnitud física o parámetro que describe las interacciones de un sistema con otro, dado que corresponde a la cantidad de energía que se transfiere de un sistema a otro.

En conclusión: Todo cuerpo o sistema, debido a su temperatura, tiene la capacidad de transferir energía calorífica a otro cuerpo o sistema que esté a temperatura más baja. No olvide que el medio ambiente es un sistema intercambiador de calor muy importante en nuestras actividades cotidianas, no sólo por el calor que cede a nuestro cuerpo en un día soleado sino el que nuestro cuerpo, como sistema, le cede al ambiente en un día frío; y si no usamos ropa gruesa que nos permita conservar parte del calor de nuestro cuerpo, podemos sufrir las consecuencias de una disminución de la temperatura normal llamada hipotermia (figura 11.4).



figura 11.4

La hipotermia se presenta cuando la temperatura corporal disminuye considerablemente. Puede provocar que se pierda la conciencia e incluso la vida; por ello, los alpinistas usan ropa especial.

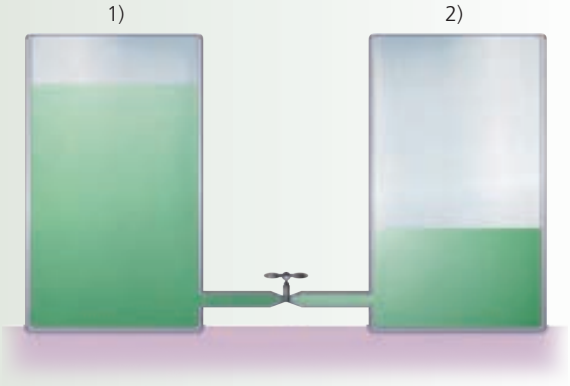


figura 11.5

Analogía hidráulica: el tanque 1) dejará pasar el agua al tanque 2) hasta que tengan el mismo nivel.

Potencial térmico y energía calorífica

Si colocamos un cuerpo caliente junto a uno frío notaremos que al transcurrir el tiempo el primero se enfría y el segundo se calienta.
Cuando un cuerpo se encuentra demasiado caliente su temperatura o potencial térmico es alto, esto le permite ceder calor o energía calorífica a otro cuerpo de menor temperatura que se encuentre cercano a él, de esta manera ambos tendrán igual potencial térmico. Lo mismo sucede cuando se conectan dos tanques con agua, uno lleno y otro semivacío, el lleno le pasará agua al otro hasta que igualen su contenido (figura 11.5).

2 Medida de la temperatura

Para medir la temperatura se utiliza el termómetro. Su funcionamiento se basa en el hecho que se presenta cuando se ponen en contacto dos cuerpos que están a distinta temperatura, después de cierto tiempo alcanzan la misma temperatura, es decir, están en equilibrio térmico.
El fenómeno de la dilatación de los fluidos se utiliza en la construcción de los termómetros. Existen diferentes tipos de termómetros y el más común es el de mercurio (figura 11.6). Dicho instrumento consiste en un tubo capilar que

lleva en la parte inferior un bulbo con mercurio, el cual al calentarse se dilata de manera directamente proporcional al aumento de la temperatura, por lo que el ascenso que experimenta el nivel del mercurio por el tubo capilar es el mismo cada vez que se incrementa en un grado su temperatura. De igual modo, el mercurio se contrae en la misma proporción cada vez que desciende un grado su temperatura. La escala de un termómetro de mercurio puede ser de −39 °C a 357 °C. Cuando se requiere medir temperaturas menores de −39 °C hasta de −130 °C se utiliza el termómetro de alcohol. Para temperaturas aún menores, se usa el termómetro de tolueno o de éteres de petróleo.

Cuando se necesita medir temperaturas altas se emplean los termómetros de resistencia. Su funcionamiento se basa en el hecho de que la resistencia eléctrica de un conductor metálico aumenta de manera directamente proporcional al aumento de su temperatura.

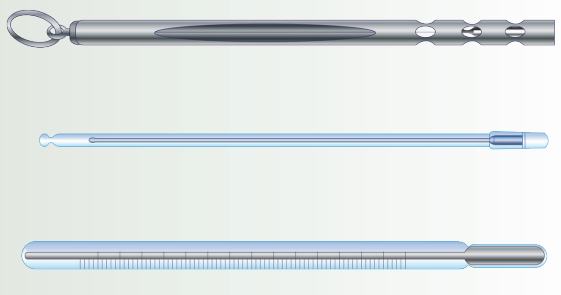


figura 11.6

La dilatación regular del mercurio se utiliza para la construcción de termómetros.

3 Diferentes escalas termométricas: Celsius, Kelvin y Fahrenheit

El alemán Gabriel Fahrenheit (1686-1736), soplador de vidrio y fabricante de instrumentos, construyó en 1714 el primer termómetro. Para ello, lo colocó a la temperatura más baja que pudo obtener, mediante una mezcla de hielo y cloruro de amonio, marcó el nivel que alcanzaba el mercurio; después, al registrar la temperatura del cuerpo humano, volvió a marcar el termómetro y entre ambas señales hizo 96 divisiones iguales. Más tarde, observó que al colocar su termómetro en una mezcla de hielo en fusión y agua, registraba una lectura de 32 °F y al colocarlo en agua hirviendo leía 212 °F.

En 1742 el biólogo sueco Andrés Celsius (1701-1744) basó su escala en el punto de fusión del hielo (0 °C) y en el punto de ebullición del agua (100 °C) a la presión de una atmósfera, o sea, 760 mm de Hg, es decir, dividió su escala en 100 partes iguales cada una de 1 °C.

Años después el inglés William Kelvin (1824-1907) propuso una nueva escala de temperatura, en la cual el cero corresponde a lo que tal vez sea la menor temperatura posible llamada cero absoluto, en esta temperatura la energía cinética de las moléculas es cero. El tamaño de un grado de la escala Kelvin es igual al de un grado Celsius y el valor de cero grados en la escala de Celsius equivale a 273 K, tal como se muestra en la figura 11.7. Cuando la temperatura se da en Kelvin se dice que es absoluta y ésta es la escala aceptada por el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Existe un límite mínimo de temperatura: 0 K = −273 °C = −460 °F, pero no hay límite máximo de ella, pues en forma experimental se obtienen en los laboratorios temperaturas de miles de grados, mientras que en una explosión atómica se alcanzan temperaturas de millones de grados. Se supone que la temperatura en el interior del Sol alcanza los mil millones de grados.

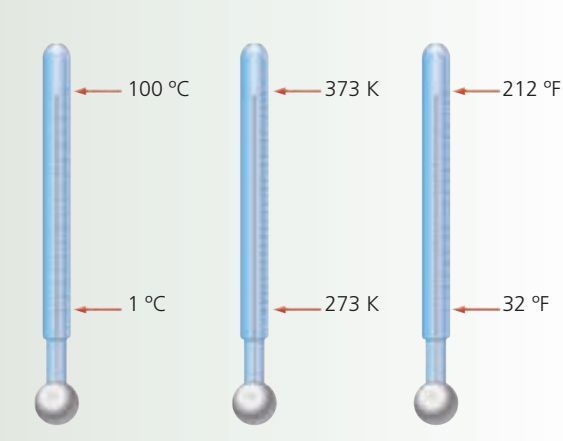


figura 11.7

Comparación de las escalas Celsius, Kelvin y Fahrenheit, para el punto de fusión y ebullición del agua. En el SI se usa la escala Kelvin para medir la temperatura.

Transformación de temperaturas de una escala a otra

Aunque la escala Kelvin es la usada por el SI para medir temperaturas, aún se emplea la escala Celsius o centígrada y la escala Fahrenheit, por tanto, es conveniente manejar sus equivalencias de acuerdo con las siguientes expresiones:

1. Para transformar de grados Celsius a Kelvin:

$$K = {}^{\circ}C + 273$$

2. Para transformar de Kelvin a grados Celsius:

$$°C = K - 273$$

3. Para transformar de grados Celsius a grados Fahrenheit:

$$°F = 1.8\ °C + 32$$

4. Para transformar de grados Fahrenheit a grados Celsius:

$$°C = \frac{°F - 32}{1.8}$$

Resolución de problemas de transformación de temperaturas de una escala a otra

1 Transformar 100 °C a K.

Solución:

$K = 100\ °C + 273 = 373\ K$

2 Transformar 273 K a °C.

Solución:

$°C = 273\ K - 273 = 0\ °C$

3 Transformar 0 °C a °F.

Solución:

$°F = 1.8 \times 0\ °C + 32 = 32\ °F$

4 Transformar 212 °F a °C.

Solución:

$$°C = \frac{212\ °F - 32}{1.8} = 100\ °C$$

Ejercicios propuestos

Transformar:

1 50 °C a K

2 120 °C a K

3 380 K a °C

4 210 K a °C

Transformar:

5 60 °C a °F

6 98 °C a °F

7 50 °F a °C

8 130 °F a °C

4 Dilatación de los cuerpos

Los cambios de temperatura afectan el tamaño de los cuerpos, pues la mayoría de ellos se dilatan al calentarse y se contraen si se enfrían. El agua y el hule manifiestan un comportamiento contrario. Los gases se dilatan mucho más que los líquidos y éstos más que los sólidos.

En los gases y líquidos las partículas chocan unas contra otras en forma continua; pero si se calientan, chocarán violentamente rebotando a mayores distancias y provocarán la dilatación. En los sólidos las partículas vibran alrededor de posiciones fijas; sin embargo, al calentarse aumentan su movimiento y se alejan de sus centros de vibración dando como resultado la dilatación. Por el contrario, al bajar la temperatura las partículas vibran menos y el sólido se contrae (figura 11.8).



figura 11.8

Para evitar que la dilatación levante las vías férreas siempre se deja un espacio libre entre los rieles.

Dilatación lineal y su coeficiente de dilatación

Una barra de cualquier metal al ser calentada sufre un aumento en sus tres dimensiones: largo, ancho y alto, por lo que su dilatación es cúbica. Sin embargo, en los cuerpos sólidos, como alambres, varillas o barras, lo más importante es el aumento de longitud que experimentan al elevarse la temperatura, es decir, su dilatación lineal.

Coeficiente de dilatación lineal

Es el incremento de longitud que presenta una varilla de determinada sustancia, con un largo inicial de un metro, cuando su temperatura se eleva un grado Celsius. Por ejemplo: una varilla de aluminio de un metro de longitud aumenta 0.0000224 metros (22.4×10^{-6} m) al elevar su temperatura 1 ºC. A este incremento se le llama coeficiente de dilatación lineal y se representa con la letra griega alfa (α).

Algunos coeficientes de dilatación lineal de diferentes sustancias se dan en el cuadro 11.1.

Cuadro 11.1	Coeficientes de dilatación lineal
Sustancia	α (1/ºC)
Hierro	11.7×10^{-6}
Aluminio	22.4×10^{-6}
Cobre	16.7×10^{-6}
Plata	18.3×10^{-6}
Plomo	27.3×10^{-6}
Níquel	12.5×10^{-6}
Acero	11.5×10^{-6}
Zinc	35.4×10^{-6}
Vidrio	7.3×10^{-6}

Para calcular el coeficiente de dilatación lineal se emplea la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{L_f - L_0}{L_0\left(T_f - T_0\right)}$$

donde:

- α = coeficiente de dilatación lineal en 1/ºC o en $ºC^{-1}$
- L_f = longitud final medida en metros (m)
- L_0 = longitud inicial expresada en metros (m)
- T_f = temperatura final medida en grados Celsius (ºC)
- T_0 = temperatura inicial expresada en grados Celsius (ºC)

Si conocemos el coeficiente de dilatación lineal de una sustancia y queremos calcular la longitud final que tendrá un cuerpo al variar su temperatura, despejamos la longitud final de la ecuación anterior:

$$L_f = L_0\left[1 + \alpha\left(T_f - T_0\right)\right]$$

Resolución de problemas de dilatación lineal

1 A una temperatura de 15 °C una varilla de hierro tiene una longitud de 5 m. ¿Cuál será su longitud al aumentar la temperatura a 25 °C?

Solución:

Datos

$\alpha_{Fe} = 11.7 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$

$L_0 = 5\ m$

$T_0 = 15\ °C$

$T_f = 25\ °C$

$L_f = ?$

Fórmula

$L_f = L_0\left[1 + \alpha\left(T_f - T_0\right)\right]$

Sustitución y resultado

$L_f = 5\ m\ [1 + 0.0000117\ °C^{-1}\ (25\ °C - 15\ °C)]$
$= 5.000585\ m$

Su dilatación es igual a:

$L_f - L_0 = 5.000585\ m - 5\ m$
$= 0.000585\ m$

2 ¿Cuál es la longitud de un cable de cobre al disminuir la temperatura a 14 °C, si con una temperatura de 42 °C mide 416 m?

Solución:

Datos

$L_f = ?$

$T_f = 14\ °C$

$T_0 = 42\ °C$

$L_0 = 416\ m$

$\alpha Cu = 16.7 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$

Fórmula

$L_f = L_0\left[1 + \alpha\left(T_f - T_0\right)\right]$

Sustitución y resultado

$L_f = 416\ m\ [1 + 0.0000167\ °C^{-1}(14\ °C - 42\ °C)]$
$= 415.80547\ m$

Se contrajo 0.19453 m, es decir,
$L_f - L_0 = 415.80547\ m - 416\ m$
$= -0.19453\ m$

El signo (−) indica una disminución en la longitud.

Ejercicios propuestos

1 Un puente de acero de 100 m de largo a 8 °C, aumenta su temperatura a 24 °C. ¿Cuánto medirá su longitud?

2 ¿Cuál es la longitud de un riel de hierro de 50 m a 40 °C, si desciende la temperatura a 6 °C? ¿Cuánto se contrajo?

Consideraciones prácticas sobre la dilatación

Como la temperatura ambiente cambia en forma continua durante el día, cuando se construyen vías de ferrocarril, puentes de acero, estructuras de concreto armado, y en general cualquier estructura rígida, se deben dejar huecos o espacios libres que permitan a los materiales dilatarse libremente para evitar rupturas o deformaciones que pongan en peligro la estabilidad de lo construido. Por ello, se instalan en lugares convenientes las llamadas juntas de dilatación, articulaciones móviles que absorben las variaciones de longitud. En los puentes se usan rodillos en los cuales se apoya su estructura para que al dilatarse no se produzcan daños por rompimientos estructurales resultado de los cambios de temperatura y de la dilatación no controlada. También en la fabricación de piezas para maquinaria, sobre todo en las móviles, se debe considerar la dilatación con el objetivo de evitar desgastes prematuros o rompimientos de partes.

Dilatación de área y coeficiente de dilatación de área

Dilatación de área

Cuando un área o superficie se dilata, lo hace incrementando sus dimensiones en la misma proporción. Por ejemplo, una lámina metálica aumenta su largo y ancho, lo que significa un incremento de área. La dilatación de área se diferencia de la dilatación lineal porque implica un incremento de área.

Coeficiente de dilatación de área

Es el incremento de área que experimenta un cuerpo de determinada sustancia, de área igual a la unidad, al elevarse su temperatura un grado centígrado. Este coeficiente se representa con la letra griega gamma (γ). El coeficiente de dilatación de área se usa para los sólidos. Si se conoce el coeficiente de dilatación lineal de

un sólido, su coeficiente de dilatación de área será dos veces mayor:

$$\gamma = 2\alpha$$

Por ejemplo: el coeficiente de dilatación lineal del acero es $34.5 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$, por tanto, su coeficiente de dilatación de área es:

$$\gamma = 2\alpha = 2 \times 34.5 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$$
$$= 69 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$$

En el cuadro 11.2 se dan algunos valores de coeficiente de dilatación de área para diferentes sólidos.

Al conocer el coeficiente de dilatación de área de un cuerpo sólido se puede calcular el área final que tendrá al variar su temperatura con la siguiente expresión:

$$A_f = A_0\left[1 + \gamma\left(T_f - T_0\right)\right]$$

donde:

A_f = área final determinada en m^2

A_0 = área inicial expresada en m^2

γ = coeficiente de dilatación de área determinada en 1/ °C o $°C^{-1}$

T_f = temperatura final medida en grados centígrados (°C)

T_0 = temperatura inicial medida en grados centígrados (°C)

cuadro 11.2	Coeficientes de dilatación de área
Sustancia	$\gamma\ (°C^{-1})$
Hierro	23.4×10^{-6}
Aluminio	44.8×10^{-6}
Cobre	33.4×10^{-6}
Plata	36.6×10^{-6}
Plomo	54.6×10^{-6}
Níquel	25.0×10^{-6}
Acero	23.0×10^{-6}
Vidrio	14.6×10^{-6}

Resolución de problemas de dilatación de área

1 A una temperatura de 17 °C una ventana de vidrio tiene un área de 1.6 m^2. ¿Cuál será su área final al aumentar su temperatura a 32 °C?

Solución:

Datos **Fórmula**

$\gamma_{vidrio} = 14.6 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$ $A_f = A_0\left[1 + \gamma\left(T_f - T_0\right)\right]$

$A_0 = 1.6\ m^2$

$T_0 = 17\ °C$

$T_f = 32\ °C$

$A_f = ?$

Sustitución y resultado

$A_f = 1.6\ m^2\ [1 + 14.6 \times 10^{-6}\ °C^{-1}\ (32\ °C - 17\ °C)]$

$A_f = 1.6\ m^2\ (1 + 219 \times 10^{-6})$

$= 1.6\ m^2 \times 1.000219$

$= 1.6003504\ m^2$

2 A una temperatura de 23 °C una puerta de aluminio mide 2 m de largo y 0.9 m de ancho. ¿Cuál será su área final al disminuir su temperatura a 12 °C?

Solución:

Datos **Fórmulas**

$\gamma_{A\ell} = 44.8 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$ $A = \ell \cdot \ell$

$A_0 = \ell \cdot \ell$

$= 2\ m \times 0.9\ m$

$= 1.8\ m^2$

$T_0 = 23\ °C$ $A_f = A_0\left[1 + \gamma\left(T_f - T_0\right)\right]$

$T_f = 12\ °C$

$A_f = ?$

Sustitución y resultado

$A_f = 1.8\ m^2\ [1 + 44.8 \times 10^{-6}\ °C^{-1}\ (12\ °C - 23\ °C)]$

$A_f = 1.8\ m^2\ (1 - 0.0004928) = 1.79911296\ m^2$

Ejercicios propuestos

1 Una lámina de acero tiene un área de 2 m^2 a una temperatura de 8 °C. ¿Cuál será su área final al elevarse su temperatura a 38 °C?

2 A una temperatura de 33.5 °C un portón de hierro tiene un área de 10 m^2. ¿Cuál será su área final al disminuir su temperatura a 9 °C?

Dilatación cúbica y su coeficiente de dilatación

Dilatación cúbica

Implica el aumento en las dimensiones de un cuerpo: largo, ancho y alto, lo que significa un incremento de volumen. La dilatación cúbica se diferencia de la dilatación lineal porque además implica un incremento de volumen.

Coeficiente de dilatación cúbica

Es el incremento de volumen que experimenta un cuerpo de determinada sustancia, de volumen igual a la unidad, al elevar su temperatura un grado Celsius. Este coeficiente se representa con la letra griega beta (β). Por lo general, el coeficiente de dilatación cúbica se emplea para los líquidos. Sin embargo, si se conoce el coeficiente de dilatación lineal de un sólido, su coeficiente de dilatación cúbica será tres veces mayor:

$$\beta = 3\alpha$$

Por ejemplo, el coeficiente de dilatación lineal del hierro es $11.7 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$, por tanto, su coeficiente de dilatación cúbica es:

$$\beta = 3\alpha = 3 \times 11.7 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$$
$$= 35.1 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$$

En el cuadro 11.3 se dan algunos valores de coeficientes de dilatación cúbica para diferentes sustancias.

Al conocer el coeficiente de dilatación cúbica de una sustancia se puede calcular el volumen que tendrá al variar su temperatura con la siguiente expresión:

$$V_f = V_0\left[1 + \beta\left(T_f - T_0\right)\right]$$

donde:

V_f = volumen final determinado en metros cúbicos (m^3)
V_0 = volumen inicial expresado en metros cúbicos (m^3)
β = coeficiente de dilatación cúbica determinado en $1/\ °C$ o $°C^{-1}$
T_f = temperatura final medida en grados Celsius (°C)
T_0 = temperatura inicial medida en grados Celsius (°C)

Notas: 1. En el caso de sólidos huecos la dilatación cúbica se calcula considerando al sólido como si estuviera lleno del mismo material, es decir, como si fuera macizo.

2. Para la dilatación cúbica de los líquidos debemos tomar en cuenta que cuando se ponen a calentar, también se calienta el recipiente que los contiene, el cual al dilatarse aumenta su capacidad. Por ello, el aumento real del volumen del líquido, será igual al incremento de volumen del recipiente más el aumento del volumen del líquido en el recipiente graduado.

3. El coeficiente de dilatación cúbica es igual para todos los gases. Es decir, cualquier gas, al ser sometido a una presión constante, por cada grado Celsius que cambie su temperatura variará 1/273 el volumen que ocupaba a 0 °C.

$$\beta = \frac{1}{273}\,°C^{-1} \text{ para cualquier gas}$$

En otras palabras, si tomamos 273 litros de cualquier gas, por ejemplo, oxígeno a 0 °C, y sin cambiar la presión (proceso isobárico), lo calentamos 1 °C, el nuevo volumen será de 274 litros. Un incremento de 2 °C lo aumentará a 275 litros. Si lo calentamos 3 °C el gas ocupará un volumen de 276 litros y así sucesivamente.

cuadro 11. 3 Coeficientes de dilatación cúbica

Sustancia	$\beta\ (°C^{-1})$
Hierro	35.1×10^{-6}
Aluminio	67.2×10^{-6}
Cobre	50.1×10^{-6}
Acero	34.5×10^{-6}
Vidrio	21.9×10^{-6}
Mercurio	182×10^{-6}
Glicerina	485×10^{-6}
Alcohol etílico	746×10^{-6}
Petróleo	895×10^{-6}
Gases a 0° C	1/273

Resolución de problemas de dilatación cúbica

1 Una barra de aluminio de 0.01 m^3 a 16 °C se calienta a 44 °C. Calcular:

a) ¿Cuál será el volumen final?
b) ¿Cuál fue su dilatación cúbica?

Solución:

Datos
$\beta = 67.2 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$
$V_0 = 0.01\ m^3$

Fórmulas
a) $V_f = V_0\left[1 + \beta\left(T_f - T_0\right)\right]$
b) $\Delta V = V_f - V_0$

$T_0 = 16\ ^\circ C$

$T_f = 44\ ^\circ C$

a) $V_f = ?$

b) $\Delta V = ?$

Sustitución y resultados

a) $V_f = 0.01\ m^3\ [1 + 0.0000672\ ^\circ C^{-1}\ (44\ ^\circ C - 16\ ^\circ C)] = 0.0100188\ m^3$

b) $\Delta V = V_f - V_0 = 0.0100188\ m^3 - 0.01\ m^3 = 0.0000188\ m^3 = 1.88 \times 10^{-5}\ m^3$

2 Una esfera hueca de acero a 24 °C tiene un volumen de 0.2 m^3. Calcular:

a) ¿Qué volumen final tendrá a −4 °C en m^3 y en litros?

b) ¿Cuánto disminuyó su volumen en litros?

Solución:

Datos	Fórmulas
$\beta = 34.5 \times 10^{-6}\ ^\circ C^{-1}$	**a)** $V_f = V_0\left[1 + \beta\left(T_f - T_0\right)\right]$
$V_0 = 0.2\ m^3$	**b)** $\Delta V = V_f - V_0$
$T_0 = 24\ ^\circ C$	
$T_f = -4\ ^\circ C$	
a) $V_f = ?$	
b) $\Delta V = ?$	

Sustitución y resultados

a) $V_f = 0.2\ m^3\ [1 + 0.0000345\ ^\circ C^{-1}\ (-4\ ^\circ C - 24\ ^\circ C)] = 0.1998068\ m^3$

Transformación de unidades

$$0.1998068\ m^3 \times \frac{1000\ \ell}{1\ m^3}$$

$V_f = 199.8068\ \ell$

b) $$0.2\ m^3 \times \frac{1000\ \ell}{1\ m^3} = 200\ \ell$$

$\Delta V = 199.8068\ \ell - 200\ \ell = -0.1932\ \ell$

3 ¿Cuál será el volumen final de 2 litros de alcohol etílico si sufre un calentamiento de 18 °C a 45 °C? Diga también cuánto varió su volumen en litros y en cm^3.

Solución:

Datos	Fórmulas
$\beta = 746 \times 10^{-6}\ ^\circ C^{-1}$	$V_f = V_0\left[1 + \beta\left(T_f - T_0\right)\right]$
$V_f = ?$	$\Delta V = V_f - V_0$
$V_0 = 2\ \ell$	
$T_0 = 18\ ^\circ C$	
ΔV en litros y $cm^3 = ?$	
$T_f = 45\ ^\circ C$	

Sustitución y resultado

$V_f = 2\ \ell\ [1 + 0.000746\ ^\circ C^{-1}\ (45\ ^\circ C - 18\ ^\circ C)] = 2.040284\ \ell$

$\Delta V = 2.040284\ \ell - 2\ \ell = 0.040284\ \ell$

Transformación de unidades.

$$0.040284\ \ell \times \frac{1000\ cm^3}{1\ \ell}$$

$\Delta V = 40.284\ cm^3$

4 A una temperatura de 15 °C un matraz de vidrio con capacidad de 1 litro se llena de mercurio y se calientan ambos a 80 °C. Calcular:

a) ¿Cuál es la dilatación cúbica del matraz?

b) ¿Cuál es la dilatación cúbica del mercurio?

c) ¿Cuánto mercurio se derramará en litros y en cm^3?

Solución:

Datos	Fórmulas
$\beta_{vidrio} = 21.9 \times 10^{-6}\ ^\circ C^{-1}$	$\Delta V = V_f - V_0$
$\beta_{Hg} = 182 \times 10^{-6}\ ^\circ C^{-1}$	$V_f = V_0\left[1 + \beta\left(T_f - T_0\right)\right]$
$V_0 = 1\ \ell$	
$T_0 = 15\ ^\circ C$	
$T_f = 80\ ^\circ C$	
a) $\Delta V_{matraz} = ?$	
b) $\Delta V_{Hg} = ?$	
c) Hg derramado = ?	

Sustitución y resultados

a) Dilatación cúbica del matraz

$V_f = 1\ \ell\ [1 + 0.0000219\ ^\circ C^{-1}\ (80\ ^\circ C - 15\ ^\circ C)] = 1.0014235\ \ell$

$\Delta V = 1.0014235\ \ell - 1\ \ell = 0.0014235\ \ell$

b) Dilatación cúbica del mercurio

$V_f = 1\ \ell\ [1 + 0.000182\ ^\circ C^{-1}\ (80\ ^\circ C - 15\ ^\circ C)] = 1.01183\ \ell$

$\Delta V = 1.01183\ \ell - 1\ \ell = 0.01183\ \ell$

c) Mercurio derramado en ℓ y cm^3. Puesto que el vidrio se dilató 0.0014235 ℓ y el mercurio 0.01183 ℓ, la diferencia entre los dos volúmenes equivaldrá al mercurio derramado:

$0.01183\ \ell - 0.0014235\ \ell = 0.0104065\ \ell$

Transformación de unidades

$$0.0104065\ \ell \times \frac{1000\ cm^3}{1\ \ell} = 10.4065\ cm^3$$

5 A una temperatura de 0 °C un gas ocupa un volumen de 330 litros, si se incrementa su temperatura a 50 °C calcular:

a) ¿Cuál será su volumen final si su presión permanece constante?

b) ¿Cuál fue su dilatación cúbica?

Solución:

Datos

$\beta = \frac{1}{273}\,°C^{-1}$

$T_0 = 0\ °C$

$T_f = 50\ °C$

$V_0 = 300\ \ell$

$V_f = ?$

Fórmulas

a) $V_f = V_0\left[1 + \beta\left(T_f - T_0\right)\right]$

b) $\Delta V = V_f - V_0$

Sustitución y resultados

a) $V_f = 330\ \ell\left[1 + \frac{1}{273}\,°C^{-1}\left(50\ °C - 0\ °C\right)\right]$

$= 390.44\ \ell$

b) $\Delta V = V_f - V_0 = 390.44\ \ell - 330\ \ell$

$= 60.44\ \ell$

Ejercicios propuestos

1. Un tubo de cobre tiene un volumen de 0.009 m^3 a 10 °C y se calienta a 200 °C. Calcular:
   a) ¿Cuál es su volumen final?
   b) ¿Cuál es su dilatación cúbica en m^3 y en litros?
2. Una barra de aluminio tiene un volumen de 500 cm^3 a 90 °C. Calcular:
   a) ¿Cuál será su volumen a 20 °C?
   b) ¿Cuánto disminuyó su volumen?
3. Calcular el volumen final de 5.5 litros de glicerina si se calienta de 4 °C a 25 °C. Determine también la variación de su volumen en cm^3.
4. Un tanque de hierro de 200 litros de capacidad a 10 °C, se llena totalmente de petróleo, si se incrementa la temperatura de ambos hasta 38 °C, calcular:
   a) ¿Cuál es la dilatación cúbica del tanque?
   b) ¿Cuál es la dilatación cúbica del petróleo?
   c) ¿Cuánto petróleo se derramará en litros y en cm^3?
5. Un gas a presión constante y a 0 °C ocupa un volumen de 25 litros. Si su temperatura se incrementa a 18 °C, calcular:
   a) ¿Cuál es su volumen final?
   b) ¿Cuál fue su dilatación cúbica?

Dilatación irregular del agua

Por regla general, un cuerpo se dilata cuando aumenta su temperatura. Sin embargo, hay algunas sustancias que en lugar de dilatarse se contraen, tal es el caso del agua: un gramo de agua a 0 °C ocupa un volumen de 1.00012 cm^3, si se calienta, en lugar de dilatarse se contrae, por lo que a la temperatura de 4 °C el agua tiene su volumen mínimo de 1.00000 cm^3 y alcanza su densidad máxima, si se sigue calentando comienza a aumentar su volumen.

Durante el invierno los peces y otras especies acuáticas conservan la vida gracias a esa dilatación irregular. A principios de la estación la superficie de los lagos y estanques se enfría; al llegar el agua a 4 °C aumenta su densidad, razón por la cual se va al fondo y es sustituida por otra más caliente estableciéndose así una recirculación hasta que toda el agua tiene una temperatura de 4 °C. Si la temperatura continúa bajando, se enfría la superficie, entonces se forma una capa de hielo flotante cuya densidad es menor a la del agua. Ello evita el enfriamiento del resto del agua, con lo cual la vida sigue su curso a una temperatura mínima de 4 °C.

5 Formas de propagación del calor

Si dos cuerpos se ponen en contacto y no manifiestan tendencia a calentarse o enfriarse es porque su temperatura y, por tanto, la energía cinética media de sus moléculas es igual, pero cuando diversas partes de un mismo cuerpo, o varios cuerpos en contacto, están más calientes, todos tenderán a alcanzar la misma temperatura y el calor se propagará de un punto a otro.

El calor o energía calorífica siempre se propaga de los cuerpos calientes a los fríos de tres maneras diferentes:

a) Conducción.
b) Convección.
c) Radiación.

Conducción

La conducción es la forma de propagación del calor a través de un cuerpo sólido, debido al choque entre moléculas.

Cuando el extremo de una varilla metálica se pone en contacto con el fuego, al cabo de cierto tiempo el otro extremo también se calienta. Esto se debe a que las moléculas del extremo calentado por el fuego vibran con mayor intensidad, es decir, con mayor energía cinética. Una parte de esa energía se transmite a las moléculas cercanas, las cuales al chocar unas con otras comunican su exceso de energía a las contiguas, así su temperatura aumenta y se distribuye en forma uniforme a lo largo de la varilla. Esta transmisión de calor continuará mientras exista una diferencia de temperatura entre los extremos, y cesará totalmente cuando sea la misma en todas las partes (figura 11.9).

Los metales son buenos conductores del calor; y el corcho, la madera, el plástico, la lana, el aire, la porcelana, el vidrio y el papel son malos conductores del mismo. En el vacío no se propaga el calor por conducción.

Las sartenes, ollas, calderas y demás objetos que requieren ser calentados con rapidez, se fabrican de metal, y los malos conductores son usados como aislantes del frío o del calor, por ejemplo, mangos de sartenes, cucharas, ollas, revestimientos para calentadores, refrigeradores y tuberías, o bien, ropa de invierno como abrigos y chamarras.

Un termo es un recipiente utilizado para conservar los líquidos calientes o fríos y su construcción se basa en dos paredes entre las cuales existe un alto vacío que evita la transmisión de calor por conducción.

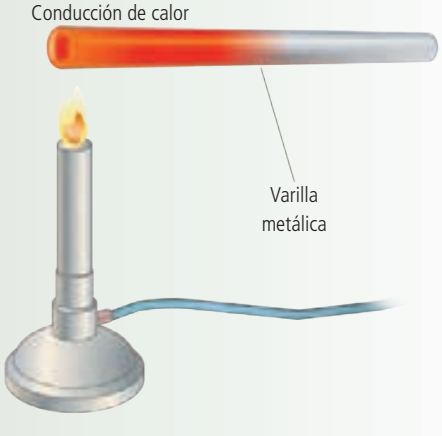


figura 11.9
Transmisión del calor por conducción a través de un cuerpo sólido.

Convección

La convección es la propagación del calor ocasionada por el movimiento de la sustancia caliente.

Al poner agua en un vaso de precipitados y calentarla posteriormente, observamos que transcurrido cierto tiempo comienza un movimiento en el seno (parte interna) del líquido. Esto se debe a que al recibir calor el líquido del fondo, la temperatura sube y provoca su dilatación, aumentando el volumen y en consecuencia disminuye la densidad de esa porción, por lo que sube a la superficie y es reemplazada por agua más fría y con mayor densidad. Este proceso se repite con la circulación de masas de agua más caliente hacia arriba y las de agua más fría hacia abajo, provocándose las llamadas corrientes de convección (figura 11.10).

El calentamiento en los líquidos y gases es por convección. Los vientos son corrientes de convección del aire atmosférico, debido a las diferencias de temperatura y densidad que se producen en la atmósfera.

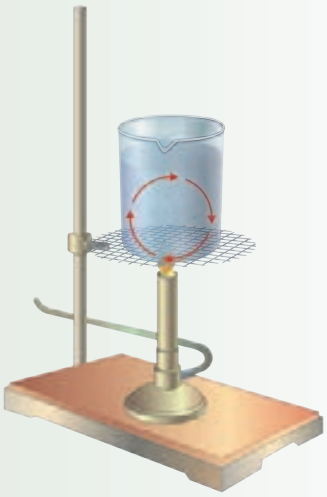


figura 11.10
Calentamiento del agua por corrientes de convección.

Radiación

La radiación es la propagación del calor por medio de ondas electromagnéticas esparcidas, incluso en el vacío, a una rapidez de aproximadamente 300 mil km/s.

El calor que nos llega del Sol es por radiación, pues las ondas caloríficas atraviesan el vacío existente entre la Tierra y el Sol. A las ondas caloríficas también se les llama rayos infrarrojos, en virtud de que su frecuencia es menor si se compara con la del color rojo.

Todos los cuerpos calientes emiten radiaciones caloríficas, es decir, ondas electromagnéticas de energía proporcional a su temperatura. Cuando la radiación de un cuerpo caliente llega a un objeto, una parte se absorbe y otra se refleja. Los colores oscuros son los que absorben más las radiaciones y los claros, como el blanco, los reflejan. Por ello, en los climas cálidos se usan con frecuencia ropas de colores claros para reflejar gran parte de las ondas infrarrojas y luminosas que provienen del Sol.

6 Energía solar, su medida y transformación

La energía radiante del Sol se genera por reacciones termonucleares de fusión. La fusión nuclear se produce debido a la unión de dos o más núcleos de átomos ligeros en un solo núcleo de mayor masa. Siempre que dos núcleos ligeros se unen para formar otro más pesado, la masa del producto es menor que la suma de los primeros. La diferencia de masa, es decir, la parte de materia faltante, se ha convertido en energía.

Intensidad de la radiación solar

La energía radiante que nos llega del Sol nos proporciona energía calorífica, ésta se aprovecha para calentar agua destinada para uso doméstico en algunos edificios o casas, y también para el funcionamiento de diversos tipos de motores provistos de celdas solares. Aproximadamente, cada centímetro cuadrado de la superficie de la Tierra que esté iluminado perpendicularmente por los rayos solares, recibe 14 calorías por minuto, equivalentes a 14 000 kilocalorías (14 kcal = 58.8 kJ) por minuto, en una supreficie de 1 m^2. Así podemos definir la intensidad de la radiación solar como la potencia de la radiación recibida del Sol en un área de 1 m^2. De donde:

$$\text{Intensidad de la radiación solar} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Área}}$$ expresada en kW/m^2.

Como la potencia es igual a la energía liberada dividida entre el tiempo tenemos:

$$\text{Potencia} = \frac{58.8\ \text{kJ}}{60\ \text{s}} = 0.98\ \text{kW}$$

Para determinar la intensidad de la radiación solar, dividimos la potencia entre el área, es decir, entre 1 m^2. Veamos:

$$\text{Intensidad de la radiación solar} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Área}}$$

$$= \frac{0.98\ \text{kW}}{1\ \text{m}^2} = 0.98\ \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$$

Cabe señalar que la intensidad de la energía solar que recibe cada m^2 de la parte externa de la atmósfera terrestre que esté iluminado perpendicularmente por los rayos solares, tienen un valor de 1.4 $\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$, pero sólo llegan a la superficie de la Tierra 0.98 $\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$, pues 0.42 kW los absorbe la atmósfera.

Si alrededor del mediodía se colocan en una mesa dos latas, una pintada interiormente de negro y otra de blanco conteniendo la misma cantidad de agua, por ejemplo, 500 mℓ (0.5 kg), y se exponen directamente a los rayos solares durante unos 10 minutos (figura 11.11), al medir la temperatura en cada lata con un termómetro, se observará que en la pintada de negro es un poco mayor. Esto se debe a que absorbe mejor la energía radiante del Sol que incide en ella, mientras que la lata pintada de blanco la refleja.



figura 11.11
Una lata pintada interiormente de negro se calienta más que una lata pintada de blanco, ya que absorbe mejor la energía radiante del Sol.

Transformación de la energía solar

Actualmente, el aprovechamiento de la energía solar por el hombre está en pleno desarrollo, pues además de los usos señalados, también se están construyendo destiladores solares para obtener agua potable a partir del agua de los mares (figura 11.12). Se han construido desecadores solares de frutos y pescados, así como baterías solares con placas semiconductoras que transforman la energía luminosa del Sol en energía eléctrica. Hoy, las baterías solares se utilizan en motores para lograr la locomoción de autos eléctricos, en el funcionamiento de receptores de radio, de calculadoras de bolsillo y en algunos dispositivos eléctricos de las naves espaciales, entre otros usos.

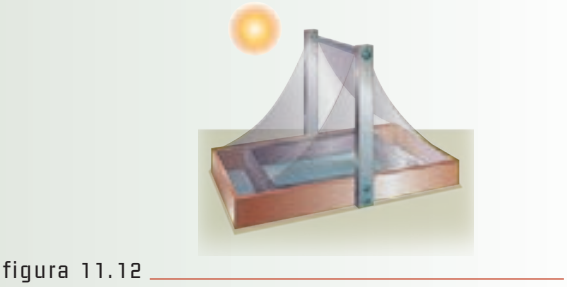


figura 11.12
En los destiladores solares se utiliza la energía calorífica proveniente del Sol para obtener agua potable a partir del agua salada de los mares.

7 Unidades para medir el calor

Como ya señalamos, el calor es una forma de energía llamada energía calorífica. Por tanto, las unidades para medir el calor son las mismas del trabajo mecánico y de la energía:

Sistema Internacional de Unidades (SI):

$$\text{joule} = \text{newton metro} = \text{N m} = \text{J}$$

Además del joule, aún se utilizan unidades como la caloría y el Btu, que a continuación describiremos.

Caloría

Es la cantidad de calor aplicado a un gramo de agua para elevar su temperatura 1 °C, de 14.5 a 15.5 °C (figura 11.13).

Kilocaloría

Es un múltiplo de la caloría y equivale a:

$$1 \text{ kcal} = 1\,000 \text{ cal}$$

Como se señaló en la segunda unidad aún se usa mucho el Sistema Inglés a pesar de los inconvenientes que presenta. Por ello, es necesario describir a la unidad de calor usada por el Sistema Inglés que es el BTU (por sus siglas en inglés: *British Thermal Unit*).

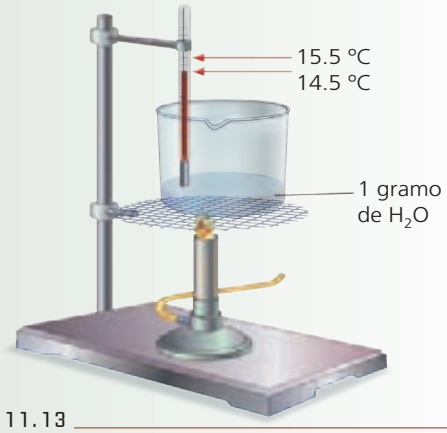


figura 11.13

Para que 1 gramo de agua aumente su temperatura 1 grado Celsius, se debe suministrar una caloría de energía térmica.

BTU

Es la cantidad de calor aplicada a una libra de agua (454 g) para que eleve su temperatura un grado Fahrenheit:

$$1 \text{ BTU} = 252 \text{ cal} = 0.252 \text{ kcal}$$

La equivalencia entre joules y calorías, es la siguiente:

$$1 \text{ joule} = 0.24 \text{ cal}$$
$$1 \text{ caloría} = 4.2 \text{ J}$$

8 Capacidad calorífica

A partir de experimentos se ha observado que al suministrar la misma cantidad de calor a dos sustancias diferentes, el aumento de temperatura no es el mismo. Por consiguiente, para conocer el aumento de temperatura que tiene una sustancia cuando recibe calor, emplearemos su capacidad calorífica, la cual se define como la relación existente entre la cantidad de calor ΔQ que recibe y su correspondiente elevación de temperatura ΔT.

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

Como el calor puede estar expresado en calorías, kcal, joule y BTU; y la temperatura en °C, K o °F; las unidades de la capacidad calorífica pueden ser en: cal/°C, kcal/°C, J/°C, J/K, BTU/°F.

En la determinación de la capacidad calorífica de una sustancia debe especificarse si se hace a presión o a volumen constante y se indicará de la siguiente manera: C_p si es a presión constante, C_v si es a volumen constante. La capacidad calorífica de una sustancia tiene un valor mayor si se lleva a cabo a presión constante, que si es realizada a volumen constante. Toda vez que al aplicar presión constante a una sustancia, ésta sufre un aumento en su volumen, lo que provoca una disminución en su temperatura y, consecuentemente, necesitará más calor para elevarla. A volumen constante, todo el calor suministrado a la sustancia pasa a aumentar la energía cinética de las moléculas, por tanto, la temperatura se incrementa con mayor facilidad, tal como sucede en una olla de presión.

Es evidente que mientras más alto sea el valor de la capacidad calorífica de una sustancia, significa que requiere mayor cantidad de calor para elevar su temperatura.

9 Calor específico

Puesto que la capacidad calorífica de una sustancia es la relación entre el calor recibido y su variación de temperatura; si calentamos diferentes masas de una misma sustancia, observaremos que su capacidad calorífica es distinta. Por ejemplo, al calentar dos trozos de hierro, uno de 2 kg y otro de 10 kg, la relación $\Delta Q/\Delta T = C$ es diferente entre los dos trozos, aunque se trata de la misma sustancia. Pero si dividimos el valor de la capacidad calorífica de cada trozo de hierro entre su masa, encontraremos que la relación: capacidad calorífica/masa, o bien, C/m para cada trozo es la misma. De donde: para un mismo material independientemente de su masa C/m = constante. A esta relación se le nombra calor específico y es una propiedad característica de la materia.

Por definición: el calor específico Ce de una sustancia es igual a la capacidad calorífica C de dicha sustancia entre su masa m:

$$Ce = \frac{C}{m}, \text{ como } C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

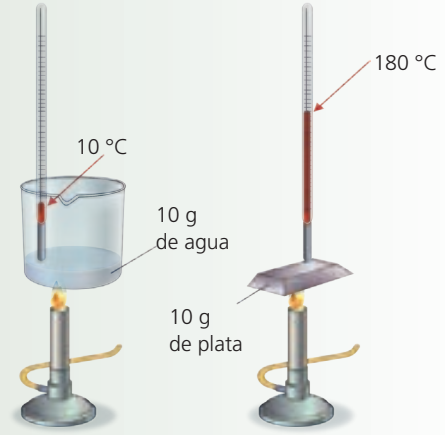


figura 11.14

Al aplicar el mismo calor a dos masas iguales de agua y plata, ésta se calienta 18 veces más rápido que el agua, pues es menor su calor específico.

$$Ce = \frac{\Delta Q}{m\Delta T} \quad \therefore \quad \Delta Q = mCe\Delta T$$

En términos prácticos, el calor específico se define como la cantidad de calor que necesita un gramo de una sustancia para elevar su temperatura un grado centígrado.

En el cuadro 11.4 se dan valores del calor específico para algunas sustancias. En el caso del agua, su valor es de 1 *cal*/g °C, esto quiere decir que un gramo de agua aumenta su temperatura un grado centígrado cuando se le suministra una cantidad de calor igual a una caloría.

Según el cuadro 11.4 el agua tiene mayor calor específico, lo cual significa que necesita más calor para elevar su temperatura. Por ejemplo, cuando se pone a calentar por separado la misma masa de dos sustancias diferentes, como el agua y la plata, se observará que al aplicarles cantidades iguales de calor, la plata se calentará aproximadamente 18 veces más rápido en comparación con el agua, por tanto, cuando ésta suba 1 °C de temperatura la plata subirá 18 °C (figura 11.14).

cuadro 11. 4	Calores específicos (a presión constante)	
Sustancia	cal /g °C	J /kg °C
Agua	1.00	4 200
Hielo	0.50	2 100
Vapor	0.48	2 016
Hierro	0.113	475
Cobre	0.093	391
Aluminio	0.217	911
Plata	0.056	235
Vidrio	0.199	836
Mercurio	0.033	139
Plomo	0.031	130

Resolución de problemas de calor específico

1 ¿Qué cantidad de calor se debe aplicar a una barra de plata de 12 kg para que eleve su temperatura de 22 °C a 90 °C?

Solución:

Datos

ΔQ = ?

m = 12 kg = 12 000 g

Fórmula

$\Delta Q = mCe\Delta T$

$T_0 = 22$ °C

$T_f = 90$ °C

$Ce_{Ag} = 0.056$ cal/g °C

Sustitución y resultado

$\Delta Q = 12\,000$ g $\times$ 0.056 cal/g °C (90 °C − 22 °C)

$= 45\,696$ cal

2 600 g de hierro se encuentran a una temperatura de 20 °C. ¿Cuál será su temperatura final si se le suministran 8 000 calorías?

Solución:

Datos	**Fórmula**
$m = 600$ g	$\Delta Q = mCe\,(T_f - T_0)$
$T_0 = 20$ °C	Despejando a T_f
$T_f = ?$	por pasos
$\Delta Q = 8\,000$ cal	$T_f - T_0 = \dfrac{\Delta Q}{mCe}$
$Ce_{Fe} = 0.113$ cal/g °C	$\therefore\ T_f = \dfrac{\Delta Q}{mCe} + T_0$

Sustitución y resultado

$$T_f = \frac{8000 \text{ cal}}{600 \text{ g} \times 0.113 \text{ cal/g °C}} + 20\,°C$$
$$= 117.99\,°C + 20\,°C = 137.99\,°C$$

3 ¿Qué cantidad de calor se necesita suministrar a 500 g de agua para que eleve su temperatura de 10 °C a 80 °C?

Solución:

Datos	**Fórmula**
$\Delta Q = ?$	$\Delta Q = mCe\Delta T$
$m = 500$ g	
$T_0 = 10$ °C	
$T_f = 80$ °C	
$Ce_{H_2O} = 1$ cal/g °C	

Sustitución y resultado

$$\Delta Q = 500 \text{ g} \times 1 \text{ cal/g °C}\,(80\,°C - 10\,°C)$$
$$= 35\,000 \text{ cal}$$

4 ¿Cuántas calorías se deben suministrar para que un trozo de hierro de 0.3 kg eleve su temperatura de 20 °C a 100 °C?

Solución:

Datos	**Fórmula**
$DQ = ?$	$Q = mCe\Delta T$
$m = 0.3$ kg $= 300$ g	
$T_0 = 20$ °C	
$T_f = 100$ °C	
$Ce_{Fe} = 0.113$ *cal*/g °C	

Sustitución y resultado

$$Q = 300 \text{ g} \times 0.113 \text{ cal/g °C} \times 80\,°C = 2\,712 \text{ cal}$$

5 Determine el calor específico de una muestra metálica de 100 g que requiere 868 calorías para elevar su temperatura de 50 °C a 90 °C. Consulte el cuadro 11.4 a fin de identificar de qué sustancia se trata.

Solución:

Datos	**Fórmula**
$Ce = ?$	$Ce = \dfrac{\Delta Q}{m/\Delta T}$
$m = 100$ g	
$\Delta Q = 868$ cal	
$\Delta T = 90\,°C - 50\,°C = 40\,°C$	

Sustitución y resultado

$$Ce = \frac{868 \text{ cal}}{100 \text{ g} \times 40\,°C} = 0.217 \text{ cal/g °C}$$

Al consultar el cuadro 11.4 encontraremos que la muestra metálica es de aluminio.

6 Determinar la cantidad de calor que cede al ambiente una barra de plata de 600 g al enfriarse de 200 °C a 50 °C.

Solución:

Datos	**Fórmula**
$\Delta Q = ?$	$\Delta Q = mCe\Delta T$
$m = 600$ g	
$T_0 = 200$ °C	
$T_f = 50$ °C	
$Ce_{Ag} = 0.056$ cal/g °C	

Sustitución y resultado

$$\Delta Q = 600 \text{ g} \times 0.056 \text{ cal/g °C}\,(50\,°C - 200\,°C)$$
$$= -5\,040 \text{ cal}$$

Nota: El signo (−) indica que la temperatura del cuerpo disminuyó al ceder calor al ambiente.

Ejercicios propuestos

1 ¿Qué cantidad de calor se debe aplicar a un trozo de plomo de 850 g para que eleve su temperatura de 18 °C a 120 °C?

Dato: $Ce_{Pb} = 0.031$ cal/g °C

2 La temperatura inicial de una barra de aluminio de 3 kg es de 25 °C. ¿Cuál será su temperatura final si al ser calentada recibe 12 000 calorías?

Dato: $Ce_{Al} = 0.217$ cal/g °C

3. ¿Qué cantidad de calor necesitan 60 g de agua para que su temperatura aumente de 25 °C a 100 °C?
4. Determine las calorías requeridas por una barra de cobre de 2.5 kg para que su temperatura aumente de 12 °C a 300 °C.
5. Determine el calor específico de una muestra metálica de 400 g, si al suministrarle 620 calorías aumentó su temperatura de 15 °C a 65 °C. Consulte el cuadro 11.4 e identifique de qué sustancia se trata.
6. 2 kg de agua se enfrían de 100 °C a 15 °C. ¿Qué cantidad de calor cedieron al ambiente?

10 Calor latente

Cuando una sustancia se funde o se evapora absorbe cierta cantidad de calor llamada calor latente, este término significa oculto, pues existe aunque no se incremente su temperatura ya que mientras dure la fusión o la evaporación de la sustancia no se registrará variación en la misma. En tanto, el calor sensible es aquel que al suministrarse a una sustancia eleva su temperatura.

Calor latente de fusión y calor latente de solidificación

Para que un sólido pase al estado líquido debe absorber la energía necesaria a fin de destruir las uniones entre sus moléculas. Por tanto, mientras dura la fusión no aumenta la temperatura. Ejemplo: para fundir el hielo o congelar el agua sin cambio en la temperatura se requiere un intercambio de 80 calorías por gramo. El calor requerido para este cambio en el estado físico del agua sin que exista variación en la temperatura, recibe el nombre de calor latente de fusión o simplemente calor de fusión del agua. Esto significa que si sacamos de un congelador, cuya temperatura es de −6 °C, un pedazo de hielo de masa igual a 100 g y lo ponemos a la intemperie, el calor existente en el ambiente elevará la temperatura del hielo, y al llegar a 0 °C y seguir recibiendo calor se comenzará a fundir. A partir de ese momento todo el calor recibido servirá para que la masa de hielo se transforme en agua. Como requiere 80 calorías por cada gramo, necesitará recibir 8 mil calorías del ambiente para fundirse totalmente. Cuando esto suceda, el agua se encontrará aún a 0 °C y su temperatura se incrementará sólo si continúa recibiendo calor, hasta igualar su temperatura con la del ambiente.

El calor de fusión es una propiedad característica de cada sustancia, pues según el material de que esté hecho el sólido requerirá cierta cantidad de calor para fundirse. Por definición: el calor latente de fusión de una sustancia es la cantidad de calor que requiere ésta para cambiar 1 g de sólido a 1 g de líquido sin variar su temperatura.

$$\lambda_f = \frac{Q}{m} \quad \therefore \quad Q = m\lambda_f$$

donde: λ_f = calor latente de fusión en cal/g
Q = calor suministrado en calorías (cal)
m = masa de la sustancia en gramos (g)

Como lo contrario de la fusión es la solidificación, la cantidad de calor requerida por una sustancia para fundirse, es la misma que cede cuando se solidifica. Por tanto, **con respecto a una sustancia el calor latente de fusión tiene un valor igual al calor latente de solidificación**.

En el cuadro 11.5 se dan algunos valores del calor latente de fusión para diferentes sustancias.

cuadro 11.5	Calor latente de fusión (a 1 atmósfera de presión)
Sustancia	λ_f en cal/g
Agua	80
Hierro	6
Cobre	42
Plata	21
Platino	27
Oro	16
Mercurio	2.8
Plomo	5.9

Resolución de un problema de calor latente de fusión

Calcular la cantidad de calor que se requiere para cambiar 100 g de hielo a −15 °C en agua a 0 °C.

Solución:

Para que el hielo eleve su temperatura de −15 °C hasta el punto de fusión a 0 °C, se necesita una cantidad de calor que se calcula con la ecuación: $\mathcal{Q} = mCe\Delta T$ y el valor del calor específico del hielo se lee en el cuadro 11.4 de donde:

$\mathcal{Q}_1 = mCe\Delta T = 100\text{ g} \times 0.50\text{ cal/g °C} \times 15\text{ °C}$
$= 750\text{ cal}$

Para que el hielo se funda y se tenga agua a 0 °C, se aplica la ecuación $\mathcal{Q} = m\lambda_f$ y el calor latente de fusión se lee en el cuadro 11.5, de donde:

$\mathcal{Q}_2 = m\lambda_f = 100\text{ g} \times 80\text{ cal/g} = 8\,000\text{ cal}$

Así, el calor total requerido es:

$\mathcal{Q}_1 + \mathcal{Q}_2 = 750\text{ cal} + 8\,000\text{ cal} = 8\,750\text{ cal}$

Calor latente de vaporización y calor latente de condensación

A una presión determinada todo líquido calentado hierve a una temperatura fija que constituye su punto de ebullición. Éste se mantiene constante independientemente del calor suministrado al líquido, pues si se le aplica mayor cantidad de calor, habrá mayor desprendimiento de burbujas sin cambio en la temperatura del mismo.

Cuando se produce la ebullición se forman abundantes burbujas en el seno (parte interna) del líquido, las cuales suben a la superficie desprendiendo vapor. Si se continúa calentando un líquido en ebullición, la temperatura ya no sube, esto provoca la disminución de la cantidad del líquido y aumenta la del vapor. Al medir la temperatura del líquido en ebullición y la del vapor se observa que ambos estados tienen la misma temperatura, es decir, coexisten en **equilibrio termodinámico**.

A presión normal (1 atm = 760 mm de Hg), el agua ebulle y el vapor se condensa a 100 °C, a esta temperatura se le da el nombre de **punto de ebullición del agua**. Si se requiere que el agua pase de líquido a vapor o viceversa sin variar su temperatura, necesita un intercambio de 540 calorías por cada gramo. Este calor necesario para cambiar de estado sin variar de temperatura se llama calor latente de vaporización del agua o simplemente calor de vaporización (figura 11.15). Por definición: el calor latente de vaporización de una sustancia es la cantidad de calor que requiere para cambiar 1 g de líquido en ebullición a 1 g de vapor, manteniendo constante su temperatura.

$$\lambda_v = \frac{\mathcal{Q}}{m} \quad \therefore \quad \mathcal{Q} = m\lambda_v$$



figura 11.15
Cuando el vapor del agua entra en contacto con un cuerpo frío se condensa al ceder su calor latente de vaporización.

donde:

λ_v = calor latente de vaporización en cal/g o J/kg
$\mathcal{Q}$ = calor suministrado en calorías (cal) o J
m = masa de la sustancia en gramos (g) o kg

Como lo contrario de la evaporación es la condensación, la cantidad de calor requerida por una sustancia para evaporarse es igual a la que cede cuando se condensa, por tanto, con respecto a una misma sustancia **el calor latente de vaporización tiene un valor igual al calor latente de condensación**.

Resolución de un problema de calor latente de vaporización

Calcular la cantidad de calor que se requiere para cambiar 100 g de hielo a −10 °C en vapor a 130 °C.

Solución:

Para que el hielo eleve su temperatura de −10 °C hasta el punto de fusión a 0 °C necesita una cantidad de calor igual a:

$$Q_1 = mCe\Delta T = 100\text{ g} \times 0.50\text{ cal/g °C} \times 10\text{ °C} = 500\text{ cal}$$

Para calcular el calor que se requiere para que el hielo se funda y se tenga agua a 0 °C, se aplica la ecuación: $Q = m\lambda_f$ y el calor latente de fusión del agua se lee en el cuadro 11.5.

$$Q_2 = m\lambda_f = 100\text{ g} \times 80\text{ cal/g} = 8\,000\text{ cal}$$

El calor que requiere el agua a fin de elevar su temperatura de 0 °C hasta el punto de ebullición a 100 °C se calcula con la ecuación $Q = mCe\Delta T$ y el calor específico del agua se lee en el cuadro 11.4.

$$Q_3 = mCe\Delta T = 100\text{ g} \times 1\text{ cal/g °C} \times 100\text{ °C} = 10\,000\text{ cal}$$

En el cálculo del calor necesario para vaporizar el agua a 100 °C se utiliza la ecuación: $Q = m\lambda_v$ y el calor latente de vaporización del agua se lee en el cuadro 11.6.

$$Q_4 = m\lambda_v = 100\text{ g} \times 540\text{ cal/g} = 54\,000\text{ cal}$$

El calor que se necesita para calentar el vapor desde 100 °C hasta 130 °C se calcula mediante la ecuación: $Q = mCe\Delta T$, y el calor específico del vapor se lee en el cuadro 11.4.

$$Q_5 = mCe\Delta T = 100\text{ g} \times 0.48\text{ cal/g °C} \times 30\text{ °C} = 1\,440\text{ cal}$$

El calor total que se requiere para el cambio de 100 g de hielo a −10 °C en vapor a 130 °C se encuentra sumando todos los calores.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

$$= 500\text{ cal} + 8\,000\text{ cal} + 10\,000\text{ cal} + 54\,000\text{ cal} + 1\,440\text{ cal}$$
$$= 73\,940\text{ cal}$$

cuadro 11.6 Calor latente de vaporización (a 1 atmósfera de presión)

Sustancia	λ_v en cal/g
Agua	540
Nitrógeno	48
Helio	6
Aire	51
Mercurio	65
Alcohol etílico	204
Bromo	44

11 Calor cedido y absorbido por los cuerpos

Uso del calorímetro

Cuando un cuerpo caliente se pone en contacto con uno frío, existe un intercambio de energía calorífica del cuerpo caliente al frío hasta que igualan su temperatura. En un intercambio de calor, la cantidad del mismo permanece constante, pues el calor transmitido por uno o más objetos calientes será el que reciba uno o más objetos fríos. Esto da origen a la llamada ley del intercambio de calor, que dice: en cualquier intercambio de calor efectuado, el calor cedido es igual al absorbido. En otras palabras:

calor perdido = calor ganado

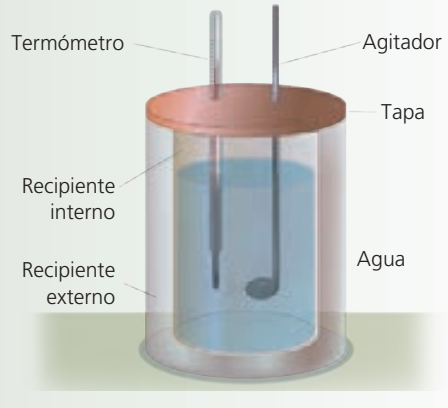


figura 11.16
Calorímetro de agua.

Cuando se realizan experimentos cuantitativos de intercambio de calor en el laboratorio, se deben evitar al máximo las pérdidas de éste, así nuestros cálculos serán confiables. Por ello, es común utilizar un calorímetro. El más usual es el de agua, el cual consta de un recipiente externo de aluminio que en su interior tiene otro del mismo material, aislado con el propósito de evitar pérdidas de calor. Tiene además un agitador, un termómetro y una tapa (figura 11.16).

Por el llamado método de las mezclas, el calorímetro de agua posibilita determinar el calor específico de algunas sustancias, para ello primero se le pone una masa determinada de agua a fin de conocer su temperatura. Después se determina la masa de la sustancia de la cual se va a calcular el calor específico y se calienta a una temperatura conocida (por ejemplo, en el caso de un metal, se puede sumergir en agua previamente calentada a una cierta temperatura), para evitar su enfriamiento se introduce inmediatamente en el agua del calorímetro y se agita hasta que la temperatura indicada en el termómetro no varíe; esto significa que existe un equilibrio térmico en todas las partes. Al medir el aumento de temperatura en el agua del calorímetro se puede calcular cuál fue la cantidad de calor cedido al agua y al recipiente interior por la sustancia, y encontrar finalmente el calor específico de la misma mediante la sustitución de datos en la fórmula respectiva.

Resolución de problemas de uso del calorímetro

1 Un trozo de hierro de 316.93 g se pone a calentar en un vaso de precipitados con agua hasta que alcanza una temperatura de 90 °C. Se introduce inmediatamente en el recipiente interior del calorímetro de aluminio cuya masa es de 150 g que contiene 300 g de agua a 18 °C. Se agita la mezcla y la temperatura aumenta hasta 25 °C. ¿Cuál es el calor específico del hierro?

Solución:

Datos

$m_{Fe} = 316.93$ g
$T_{Fe} = 90$ °C
$m_{Al} = 150$ g
$Ce_{Al} = 0.217$ cal/g °C
$Ce_{H_2O} = 1.0$ cal/g °C
$m_{H_2O} = 300$ g
$T_0 = 18$ °C
$T_f = 25$ °C
$Ce_{Fe} = ?$

Fórmula

$\Delta Q_{F_e} = \Delta Q_{H_2O} + \Delta Q_{Al}$

Calor perdido por el hierro = calor ganado por el agua y el aluminio.

$\Delta Q_{Fe} = \Delta Q_{H_2O} + \Delta Q_{Al}$
como $\Delta Q = mCe\Delta T$ tenemos:
$m_{Fe}Ce_{Fe}(T_{Fe} - T_f) = m_{H_2O}Ce_{H_2O}(T_f - T_0) + m_{Al}Ce_{Al}(T_f - T_0)$

Sustitución y resultado

$316.93\ g\ Ce_{Fe}(90\ °C - 25\ °C) = 300\ g \times 1\ cal/g\ °C\ (25\ °C - 18\ °C) + 150\ g \times 0.217\ cal/g\ °C\ (25\ °C - 18\ °C)$
$= 20\,600.45\ g\ °C\ (Ce_{Fe}) = 2\,100\ cal + 227.85\ cal$

$$Ce_{Fe} = \frac{2327.85\ cal}{20\,600.45\ g\ °C} = 0.113\ cal/g\ °C$$

2 Se introducen 140 g de una aleación a una temperatura de 93 °C en un calorímetro de aluminio de 50 g que contiene 200 g de agua a 20 °C. Se agita la mezcla y la temperatura se estabiliza a los 24 °C. ¿Cuál es el calor específico de la aleación? (Consultar en el cuadro 11.4 los valores de los calores específicos que se requieran.)

Solución:

Datos

$m_{aleac} = 140$ g
$T_{aleac} = 93$ °C
$m_{Al} = 50$ g
$m_{H_2O} = 200$ g
$T_0 = 20$ °C
$T_f = 24$ °C
$Ce_{aleac} = ?$

Fórmula

$\Delta Q_{aleac} = \Delta Q_{H_2O} + \Delta Q_{Al}$

Calor perdido por la aleación = calor ganado por el agua y el aluminio.

$\Delta Q_{aleac} = \Delta Q_{H_2O} + \Delta Q_{Al} = m_{aleac}Ce_{aleac}(T_{aleac} - T_f) = m_{H_2O}Ce_{H_2O}(T_f - T_0) + m_{Al}Ce_{Al}(T_f - T_0)$

Sustitución y resultado

$140\ g\ Ce_{aleac}(93\ °C - 24\ °C) = 200\ g \times 1\ cal/g\ °C\ (24\ °C - 20\ °C) + 50\ g \times 0.217\ cal/g\ °C\ (24\ °C - 20\ °C)$
$= 9\,660\ g\ °C\ Ce_{aleac} = 800\ cal + 43.4\ cal$

$$Ce_{aleac} = \frac{843.4\ cal}{9\,660\ g°\ C} = 0.087\ cal/g\ °C$$

3 Determinar cuál es la temperatura final de 900 g de agua a 17 °C contenida en un calorímetro de aluminio que tiene una masa de 300 g, después de introducir en ella un trozo de plomo de 400 g previamente calentado a 100 °C.

Solución:

Datos

T_f = ?
m_{H_2O} = 900 g
T_0 = 17 °C
m_{Al} = 300 g
m_{Pb} = 400 g
T_{Pb} = 100 °C
Ce_{H_2O} = 1 cal/g °C
Ce_{Al} = 0.217 cal/g °C
Ce_{Pb} = 0.031 cal/g °C

Fórmula

$\Delta Q_{Pb} = \Delta Q_{H_2O} + \Delta Q_{Al}$

Calor perdido por el plomo = calor ganado por el agua y el aluminio.

$\Delta Q_{pb} = \Delta Q_{H_2O} + \Delta Q_{Al}$
$m_{Pb}Ce_{Pb}(T_{Pb} - T_f)$
$= m_{H_2O}Ce_{H_2O}(T_f - T_0) + m_{Al}Ce_{Al}(T_f - T_0)$

con $(T_f - T_0)$ como factor común:
$m_{Pb}Ce_{pb}(T_{Pb} - T_f) =$
$(m_{H_2O}Ce_{H_2O} + m_{Al}Ce_{Al})(T_f - T_0)$

Sustitución y resultado

400 g × 0.031 cal/g °C (100 °C − T_f)
= (900 g × 1 cal/g °C + 300 g × 0.217 cal/g °C)
(T_f − 17 °C)
multiplicando tenemos:
12.4 cal/ °C (100 °C − T_f)
= (900 cal/ °C + 65.1 cal/ °C) (T_f − 17 °C)
multiplicando tenemos:
1 240 cal − (12.4 cal/ °C) (T_f)
= [(965.1 cal/ °C) (T_f)] − 16 406.7 cal
Al sumar cantidades con T_f y sin T_f:
1 240 cal + 16 406.7 cal
= 965.1 cal/ °C T_f + [(12.4 cal/ °C) (T_f)]
= 17 646.7 cal = (977.5 cal/ °C) (T_f)

Despejando a T_f

$$T_f = \frac{17\,646.7 \text{ cal}}{977.5 \text{ cal}/^\circ\text{C}} = 18.05\ ^\circ\text{C}$$

4 Una barra caliente de cobre cuya masa es de 1.5 kg se introduce en 4 kg de agua, elevando su temperatura de 18 °C a 28 °C. ¿Qué temperatura tiene la barra de cobre?

Solución:

Datos

m_{Cu} = 1.5 kg
m_{H_2O} = 4 kg
T_0 = 18 °C
T_f = 28 °C
T_{Cu} = ?
Ce_{Cu} = 0.093 cal/g °C
Ce_{H_2O} = 1 cal/g °C

Calor perdido por el cobre = calor ganado por el agua.

$\Delta Q_{Cu} = \Delta Q_{H_2O}$
$m_{Cu}Ce_{Cu}(T_{Cu} - T_f) = m_{H_2O}Ce_{H_2O}(T_f - T_0)$

Sustitución y resultado

1 500 g × 0.093 cal/g °C (T_{Cu} − 28 °C)
= 4 000 g × 1 cal/g °C (28 °C − 18 °C)
= 139.5 cal/ °C (T_{Cu} − 28 °C) = 40 000 cal
139.5 cal/ °C T_{Cu} − 3 906 cal = 40 000 cal
139.5 cal/ °C T_{Cu} = 40 000 cal + 3 906 cal
despejando a T_{Cu}

$$T_{CU} = \frac{43906 \text{ cal}}{139.5 \text{ cal}/^\circ\text{C}} = 314.7\ ^\circ\text{C}$$

5 Se tienen 500 g de agua a 80 °C y se combinan con 500 g de agua a 40 °C. ¿Cuál es la temperatura final de la solución?

Solución:

Datos

m_1 = 500 g

$$Ce_{H_2O} = 1\frac{\text{Cal}}{\text{g }^\circ\text{C}}$$

T_{1_0} = 80 °C
T_f = ?
m_2 = 500 g
T_{2_0} = 40 °C
T_{2_0} = 40 °C
T_f = ?

Fórmula

ΔQ perdido por masa 1 = ΔQ ganado por masa 2
Por tanto:
$m_1\ Ce_{H_2O}(T_{1_0} - T_f) = m_2\ Ce_{H_2O}(T_f - T_{2_0})$

Sustitución y resultado

500 g × 1 cal/g °C (80 °C − T_f) = 500 g × 1 cal/g °C (T_f − 40 °C)
Multiplicando tenemos:
40 000 cal − 500 cal/°C (T_f) = 500 cal/°C (T_f) − 20 000 cal
Al sumar cantidades con T_f y sin T_f:
40 000 cal + 20 000 cal
= 500 cal/°C (T_f) + 500 cal/ °C (T_f)
Esto es igual a:
60 000 cal = 1 000 cal/°C (T_f)
Despejando a T_f tenemos:

$$T_f = \frac{60000 \text{ cal}}{1000 \text{ cal}/^\circ\text{C}} = 60\ ^\circ\text{C}$$

Ejercicios propuestos

1. Una barra de plata de 335.2 g con una temperatura de 100 °C se introduce en un calorímetro de alumnio de 60 g de masa que contiene 450 g de agua a 23 °C. Se agita la mezcla y la temperatura se incrementa hasta 26 °C. ¿Cuál es el calor específico de la plata?
2. Un calorímetro de aluminio de 55 g de masa contiene 300 g de agua a una temperatura de 21 °C. Si en él se introdujeron 160 g de una aleación a 85 °C, ¿cuál es su calor específico si la temperatura del agua se incrementó hasta 25 °C?
3. Un recipiente de aluminio de 150 g contiene 200 g de agua a 10 °C. Determinar la temperatura final del recipiente y del agua, si se introduce en ésta un trozo de cobre de 60 g a una temperatura de 300 °C.
4. Determinar la temperatura a la que se calentó una barra de hierro de 3 kg si al ser introducida en 2 kg de agua a 15 °C eleva la temperatura de ésta hasta 30 °C.
5. Se tienen 1 000 g de agua a 90 °C y se combinan con 1 000 g de agua a 60 °C. Calcular la temperatura final de la solución.

12 Los gases y sus leyes

Un gas se caracteriza porque sus moléculas están muy separadas unas de otras, razón por la cual carecen de forma definida y ocupan todo el volumen del recipiente que los contiene. Son fluidos como los líquidos, pero se diferencian de éstos por ser sumamente compresibles debido a la mínima fuerza de cohesión entre sus moléculas. De acuerdo con la teoría cinética molecular, los gases están constituidos por moléculas independientes como si fueran esferas elásticas en constante movimiento, chocando entre sí y contra las paredes del recipiente que lo contiene. Cuando la temperatura de un gas aumenta, se incrementa la agitación de sus moléculas y en consecuencia se eleva la presión. Pero, si la presión permanece constante, entonces aumentará el volumen ocupado por el gas. Si un gas se comprime, se incrementan los choques entre sus moléculas y se eleva la cantidad de calor desprendida, como resultado de un aumento en la energía cinética de las moléculas. Todos los gases pueden pasar al estado líquido siempre y cuando se les comprima a una temperatura inferior a su temperatura crítica. La temperatura crítica de un gas es aquella temperatura por encima de la cual no puede ser licuado independientemente de que la presión aplicada sea muy grande. Los gases licuados tienen muchas aplicaciones, tal es el caso del oxígeno líquido utilizado en la soldadura autógena o el hidrógeno líquido que sirve como combustible de las naves espaciales. Los gases cuyo punto de ebullición se encuentra cercano a la temperatura del medio ambiente, generalmente se conservan en estado líquido a una alta presión en recipientes herméticamente cerrados, como son los tanques estacionarios o móviles en los que se almacena gas butano de uso doméstico, o el gas de los encendedores comerciales de cigarrillos.

Concepto de gas ideal

Un gas ideal es un gas hipotético que posibilita hacer consideraciones prácticas que facilitan algunos cálculos matemáticos. Se le supone conteniendo un número pequeño de moléculas, por tanto, su densidad es baja y su atracción intermolecular es nula. Debido a ello, en un gas ideal el volumen ocupado por sus moléculas es mínimo, en comparación con el volumen total, por este motivo no existe atracción entre sus moléculas. Es evidente que en el caso de un gas real sus moléculas ocupan un volumen determinado y existe una relativa atracción entre las mismas. Sin embargo, en muchos casos estos factores son insignificantes y el gas puede considerarse como ideal.

Teoría cinética de los gases

La teoría cinética de los gases parte de la suposición de que las moléculas de un gas están muy separadas y se mueven en línea recta hasta que al encontrarse con otra molécula se colisionan con ella o con las paredes del recipiente que las contiene.

Sus consideraciones principales son:

1. Los gases están constituidos por moléculas de igual tamaño y masa para un mismo gas, pero serán diferentes si se trata de gases distintos.
2. Las moléculas de un gas contenido en un recipiente se encuentran en constante movimiento, razón por la cual chocan entre sí o contra las paredes del recipiente que las contiene.
3. Las fuerzas de atracción intermoleculares son despreciables, pues la distancia entre molécula y molécula

es grande comparada con sus diámetros moleculares.

4. El volumen que ocupan las moléculas de un gas es despreciable en comparación con el volumen total del gas.

Ley de Boyle

El inglés **Robert Boyle** (1627-1691) es considerado el padre de la química moderna. Fue el iniciador de las investigaciones respecto a los cambios en el volumen de un gas, como consecuencia de las variaciones en la presión aplicada, y enunció la siguiente ley que lleva su nombre:

> Ley de Boyle. A una temperatura constante y para una masa dada de un gas, el volumen del gas varía de manera inversamente proporcional a la presión absoluta que recibe.

Lo anterior quiere decir que cuando un gas ocupa un volumen de un litro a una atmósfera de presión, si la presión aumenta a dos atmósferas, el volumen del gas será ahora de medio litro (figura 11.17). Por tanto, esta ley también significa que la presión (P) multiplicada por el volumen (V) es igual a una constante (k) para una determinada masa de un gas a una **temperatura constante**. De donde, la ley de Boyle se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$PV = k$$

De acuerdo con la (figura 11.17), tenemos que en **(a)** existe un estado 1 de presión y volumen:

$$P_1V_1 = k$$

donde: $1 \text{ atm} \times 1\ \ell = 1 \text{ atm}\ \ell$

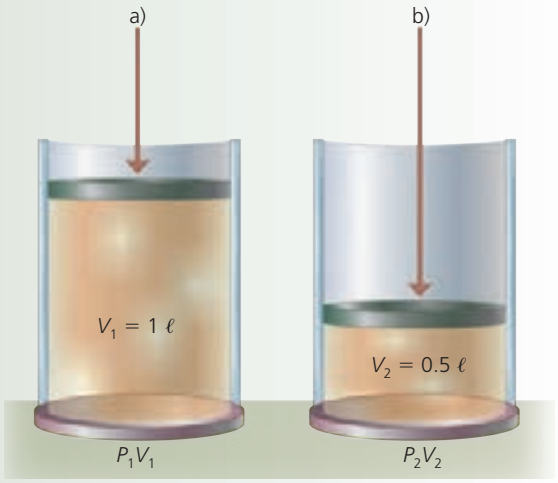


figura 11.17

Demostración de la ley de Boyle: al aumentar la presión disminuye el volumen de un gas.

En **(b)** existe un estado 2 de presión y volumen:

$$P_2V_2 = k$$

donde: $2 \text{ atm} \times 0.5\ \ell = 1 \text{ atm}\ \ell$

por tanto:

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

Esta ecuación relaciona los dos estados de presión y volumen para una misma masa de un gas a igual temperatura.

Nota: Cuando un proceso se realiza a temperatura constante se denomina isotérmico.

Resolución de problemas de la ley de Boyle

1 Un gas ocupa un volumen de 200 cm^3 a una presión de 760 mm de Hg. ¿Cuál será su volumen si la presión recibida aumenta a 900 mm de Hg?

Solución:

Datos

$V_1 = 200\ \text{cm}^3$

$P_1 = 760$ mm de Hg

$V_2 = ?$

$P_2 = 900$ mm de Hg

Fórmula

$P_1V_1 = P_2V_2 \quad \therefore$

$$V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2}$$

Sustitución y resultado

$$V_2 = \frac{760 \text{ mm de Hg} \times 200\ \text{cm}^3}{900 \text{ mm de Hg}} = 168.89\ \text{cm}^3$$

2 Calcular el volumen de un gas al recibir una presión de 2 atmósferas, si su volumen es de 0.75 litros a una presión de 1.5 atmósferas.

Solución:

Datos

$V_1 = ?$

$P_1 = 2$ atm

$V_2 = 0.75\ \ell$

$P_2 = 1.5$ atm

Fórmula

$P_1V_1 = P_2V_2 \quad \therefore$

$$V_1 = \frac{P_2V_2}{P_1}$$

Sustitución y resultado

$$V_1 = \frac{1.5 \text{ atm} \times 0.75\ \ell}{2 \text{ atm}} = 0.56\ \ell$$

Ejercicios propuestos

1. Determinar el volumen que ocupará un gas a una presión de 587 mm de Hg si a una presión de 690 mm de Hg su volumen es igual a 1 500 cm^3.

2. Un gas recibe una presión de 2 atmósferas y ocupa un volumen de 125 cm^3. Calcular la presión que debe soportar para que su volumen sea de 95 cm^3.

Ley de Charles

En 1785 el científico francés **Jacques Charles** fue el primero en hacer mediciones acerca de los gases que se expanden al aumentar su temperatura y enunció una ley que lleva su nombre:

> Ley de Charles. A una presión constante y para una masa dada de un gas, el volumen del gas varía de manera directamente proporcional a su temperatura absoluta.

La ley de Charles se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$\frac{V}{T} = k'$$

De acuerdo con la figura 11.18, vemos que a una temperatura de 0 K, es decir, en el cero absoluto de temperatura y equivalente a −273 °C, el volumen de un gas es nulo, lo cual significa que todo el movimiento de las moléculas ha cesado. En el cero absoluto de temperatura, la ausencia de volumen del gas y del movimiento de sus partículas implica el estado mínimo de energía y, por consiguiente, la mínima temperatura posible.

Al considerar a un gas bajo dos diferentes condiciones de volumen y temperatura tenemos:

$\frac{V_1}{T_1} = k'$ (para un estado 1 de volumen y temperatura)

$\frac{V_2}{T_2} = k'$ (para un estado 2 de volumen y temperatura)

donde:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Esta ecuación relaciona los dos estados de volumen y temperatura de un gas, para una masa y presión constantes.

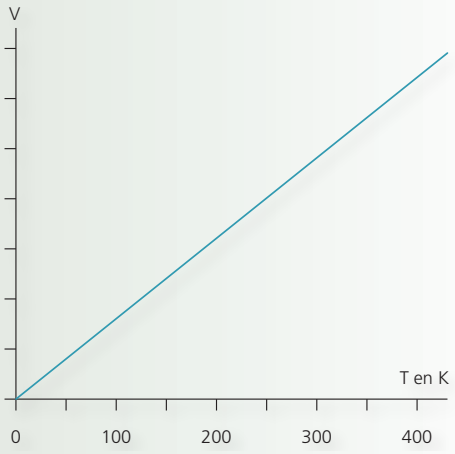


figura 11.18

El volumen de un gas aumenta a medida que se incrementa su temperatura absoluta.

Resolución de problemas de la ley de Charles

1. Se tiene un gas a una temperatura de 25 °C y con un volumen de 70 cm^3 a una presión de 586 mm de Hg. ¿Qué volumen ocupará este gas a una temperatura de 0 °C si la presión permanece constante?

Solución:

Datos

$T_1 = 25$ °C

$V_1 = 70$ cm^3

$V_2 = ?$

$T_2 = 0$ °C

$P = cte.$

Fórmula

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \therefore \quad V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1}$$

Transformación de unidades

Para T_1: K = °C + 273 = 25 °C + 273 = 298 K

Para T_2: K = °C + 273 = 0 °C + 273 = 273 K

Sustitución y resultado

$$V_2 = \frac{70\ \text{cm}^3 \times 273\ \text{K}}{298\ \text{K}} = 64.13\ \text{cm}^3$$

2 Una masa determinada de nitrógeno gaseoso ocupa un volumen de 0.03 ℓ a una temperatura de 23 °C y a una presión de una atmósfera, calcular su temperatura absoluta si el volumen que ocupa es de 0.02 ℓ a la misma presión.

Solución:

Datos

$V_1 = 0.03\ \ell$

$T_1 = 23\ °\text{C}$

$T_2 = ?$

$V_2 = 0.02\ \ell$

$P = \text{cte.}$

Fórmula

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

despejando T_2 por pasos

$$V_1T_2 = V_2T_1 \quad \therefore \quad T_2 = \frac{V_2T_1}{V_1}$$

Transformación de la temperatura en °C a temperatura absoluta, es decir, a K.

para T_1: K = °C + 273 = 23 °C + 273 = 296 K

Sustitución y resultado

$$T_2 = \frac{0.02\ \ell \times 296\ \text{K}}{0.03\ \ell} = 197.3\ \text{K}$$

Ejercicios propuestos

1 Una masa de oxígeno gaseoso ocupa un volumen de 50 cm³ a una temperatura de 18 °C y a una presión de 690 mm de Hg. ¿Qué volumen ocupará a una temperatura de 24 °C si la presión recibida permanece constante?

2 Calcular la temperatura absoluta a la cual se encuentra un gas que ocupa un volumen de 0.4 ℓ a una presión de una atmósfera, si a una temperatura de 45 °C ocupa un volumen de 1.2 ℓ a la misma presión.

Ley de Gay-Lussac

El científico francés **Joseph Louis Gay-Lussac** (1778-1850) encontró la relación existente entre la temperatura y la presión de un gas cuando el volumen del recipiente que lo contiene permanece constante. Como resultado de ello, enunció la siguiente ley que lleva su nombre:

> Ley de Gay-Lussac. A un volumen constante y para una masa determinada de un gas, la presión absoluta que recibe el gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta.

Lo anterior significa que si la temperatura de un gas aumenta, también aumenta su presión en la misma proporción, siempre y cuando el volumen del gas permanezca constante. En forma matemática esta ley se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{P}{T} = k''$$

Si consideramos a un gas en dos diferentes condiciones de presión y temperatura tenemos:

$\frac{P_1}{T_1} = k''$ (para un estado 1 de presión y temperatura)

$\frac{P_2}{T_2} = k''$ (para un estado 2 de presión y temperatura)

donde:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Esta ecuación relaciona los dos estados de presión y temperatura de un gas, para una masa y volumen constantes.

Resolución de problemas de la ley de Gay–Lussac

1 Una masa dada de gas recibe una presión absoluta de 2.3 atmósferas, su temperatura es de 33 °C y ocupa un volumen de 850 cm³. Si el volumen del gas permanece constante y su temperatura aumenta a 75 °C, ¿cuál será la presión absoluta del gas?

Solución:

Datos

$P_1 = 2.3\ \text{atm}$

$T_1 = 33\ °\text{C} + 273 = 306\ \text{K}$

Fórmula

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad \therefore \quad P_2 = \frac{P_1T_2}{T_1}$$

$T_2 = 75\ ^\circ\text{C} + 273 = 348\ \text{K}$

$P_2 = ?$

$V = cte.$

Sustitución y resultado

$$P_2 = \frac{2.3\ \text{atm} \times 348\ \text{K}}{306\ \text{K}} = 2.6\ \text{atm}$$

2 En un cilindro metálico se encuentra un gas que recibe una presión atmosférica de 760 mm de Hg, y cuando su temperatura es de 16 °C con el manómetro se registra una presión de 1650 mm de Hg. Si al exponer el cilindro a la intemperie eleva su temperatura a 45 °C debido a los rayos solares, calcular:

a) ¿Cuál es la presión absoluta que tiene el gas encerrado en el tanque?

b) ¿Cuál es la presión manométrica?

Solución:

Datos

$P_{atm} = 760\ \text{mm de Hg}$

$P_{1manom} = 1650\ \text{mm de Hg}$

$T_1 = 16\ ^\circ\text{C} + 273 = 289\ \text{K}$

Fórmula

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad \therefore \quad P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1}$$

$T_2 = 45\ ^\circ\text{C} + 273 = 318\ \text{K}$

a) $P_{2abs} = ?$

b) $P_{2manom} = ?$

$V = cte.$

a) Como la presión absoluta del gas es igual a la presión atmosférica más la presión manométrica tenemos:

$$P_{1abs} = 760\ \text{mm de Hg} + 1650\ \text{mm de Hg} = 2410\ \text{mm de Hg}$$

Por tanto, la presión absoluta P_{2abs} será:

$$P_{2_{abs}} = \frac{2410\ \text{mm de Hg} \times 318\ \text{K}}{289\ \text{K}} = 2651.8\ \text{mm de Hg}$$

b) La presión manométrica será igual a la presión absoluta menos la presión atmosférica, es decir:

$$P_{2manom} = P_{2abs} - P_{atm} = 2651.8\ \text{mm de Hg} - 760\ \text{mm de Hg} = 1891.8\ \text{mm de Hg}$$

Ejercicios propuestos

1 Un gas encerrado en un recipiente mantiene una temperatura de 22 °C y tiene una presión absoluta de 3.8 atmósferas. ¿Cuál es la temperatura del gas si su presión absoluta es de 2.3 atmósferas?

2 Un balón de fútbol recibe una presión atmosférica de 78000 N/m² y se infla a una presión manométrica de 58800 N/m², registrando una temperatura de 19 °C. Si el balón recibe un incremento en su temperatura a 25 °C debido a los rayos solares, calcular:

a) ¿Cuál será su presión absoluta?

b) ¿Cuál será su presión manométrica?

Ley general del estado gaseoso

Con base en las leyes de Boyle, Charles y Gay-Lussac, se estudia la dependencia existente entre dos propiedades de los gases conservándose las demás constantes. No obstante, se debe buscar una relación real que involucre los cambios de presión, volumen y temperatura sufridos por un gas en cualquier proceso en que se encuentre. Esto se logra mediante la expresión:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

La relación anterior recibe el nombre de ley general del estado gaseoso y resulta de gran utilidad cuando se desea conocer alguna de las variables involucradas en el proceso, como la presión, el volumen o la temperatura de una masa dada de un gas del cual se conocen los datos de su estado inicial y se desconoce alguno de ellos en su estado final. Por tanto, **la ley general del estado gaseoso establece que para una masa dada de un gas, su relación $\frac{PV}{T}$ siempre será constante**.

Resolución de problemas de la ley general del estado gaseoso

1 Una masa de hidrógeno gaseoso ocupa un volumen de 2 litros a una temperatura de 38 °C y a una presión absoluta de 696 mm de Hg. ¿Cuál será su presión absoluta si su temperatura aumenta a 60 °C y su volumen es de 2.3 litros?

Solución:

Datos

$V_1 = 2\ \ell$

$T_1 = 38\ °C + 273 = 311\ K$

$P_1 = 696$ mm de Hg

$V_2 = 2.3\ \ell$

$T_2 = 60\ °C + 273 = 333\ K$

$P_2 = ?$

Fórmula

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

despeje por pasos

$$P_1V_1T_2 = P_2V_2T_1 \quad \therefore$$

$$V_2 = \frac{P_1V_1T_2}{P_2T_1}$$

Sustitución y resultado

$$P_2 = \frac{696\ \text{mm de Hg} \times 2\ \ell \times 333\ \text{K}}{2.3\ \ell \times 311\ \text{K}}$$

$$= 648.03\ \text{mm de Hg}$$

2 Calcular el volumen que ocupará un gas en condiciones normales si a una presión de 858 mm de Hg y 23 °C su volumen es de 230 cm^3.

Solución:

Datos

$P_1 = 858$ mm de Hg

$T_1 = 23\ °C + 273 = 296\ K$

$V_1 = 230\ cm^3$

$V_2 = ?$

Fórmula

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \quad \therefore$$

$$V_2 = \frac{P_1V_1T_2}{P_2T_1}$$

Como las condiciones normales se consideran a una temperatura de 0 °C, es decir, 273 K, y a una presión de una atmósfera igual a 760 mm de Hg tenemos que:

$P_2 = 760$ mm de Hg y $T_2 = 273\ K$

Sustitución y resultado

$$V_2 = \frac{858\ \text{mm de Hg} \times 230\ \text{cm}^3 \times 273\ \text{K}}{760\ \text{mm de Hg} \times 296\ \text{K}}$$

$$= 239.48\ \text{cm}^3$$

Ejercicios propuestos

1 Determinar el volumen ocupado por un gas que se encuentra a una presión absoluta de 970 mm de Hg y a una temperatura de 57 °C, si al encontrarse a una presión absoluta de 840 mm de Hg y a una temperatura de 26 °C su volumen es de 0.5 litros.

2 A un gas que está dentro de un recipiente de 4 litros se le aplica una presión absoluta de 1 020 mm de Hg y su temperatura es de 12 °C. ¿Cuál será su temperatura si ahora recibe una presión absoluta de 920 mm de Hg y su volumen es de 3.67 litros?

Constante universal de los gases (R)

Como ya hemos estudiado, sabemos que:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \frac{P_3V_3}{T_3} \qquad (1)$$

por tanto:

$$\frac{PV}{T} = K \qquad (2)$$

o bien:

$$PV = KT \qquad (3)$$

El valor de K se encuentra determinado en función del número de moles (n) del gas en cuestión:

$$K = nR \qquad (4)$$

Sustituyendo 4 en 3 tenemos:

$$PV = nRT \qquad (5)$$

donde: P = presión absoluta a la que se encuentra el gas

V = volumen ocupado por el gas

n = número de moles del gas que se calcula dividiendo su masa entre su peso molecular:

$$n = \frac{m}{PM}$$

R = es la constante universal de los gases y su valor depende de las unidades usadas

La ecuación 5 es una de las más utilizadas en fisicoquímica, ya que permite realizar varios cálculos al conocer el valor de R, pues establece una relación entre la presión, el volumen, la temperatura y el número de moles de un gas.

Para calcular el valor de R consideramos que un mol de cualquier gas ideal y en condiciones normales de presión y temperatura, es decir, una atmósfera y 273 K, ocupa un volumen de 22.413 litros. Por tanto, al despejar R de la ecuación 5 tenemos:

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{1 \text{ atm} \times 22.413\ \ell}{1 \text{ mol} \times 273 \text{ K}} = 0.0821 \text{ atm } \ell/\text{mol K}$$

equivalente a:

$$R = 8.32 \text{ J/mol K}$$

Resolución de un problema para la obtención del número de moles de un gas

Una masa de hidrógeno gaseoso ocupa un volumen de 200 litros en un tanque a una presión de 0.8 atmósferas y a una temperatura de 22 °C.

Calcular:

a) ¿Cuántos moles de hidrógeno se tienen?

b) ¿A qué masa equivale el número de moles contenidos en el tanque?

Solución:

Datos

$V = 200\ \ell$

$P = 0.8$ atm

$T = 22\ ^\circ\text{C} + 273 = 295$ K

$n = ?$

$R = 0.0821$ atm ℓ/mol K

Fórmulas

a) $PV = nRT \quad \therefore \quad n = \dfrac{PV}{RT}$

b) $n = \dfrac{m}{PM} \quad \therefore \quad m = nPM$

a) $$n = \frac{0.8 \text{ atm} \times 200\ \ell}{0.0821 \frac{\text{atm } \ell}{\text{mol K}} \times 295 \text{ K}} = 6.606 \text{ mol}$$

b) Como el peso molecular (PM) del hidrógeno, cuya molécula es diatómica (H_2), es igual a 2 g/mol, tenemos que:

$$m = nPM = 6.606 \text{ mol} \times 2 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 13.2 \text{ g de } H_2$$

Ejercicio propuesto

1 Una masa de oxígeno gaseoso ocupa un volumen de 70 litros en un recipiente que se encuentra a una presión de 1.5 atmósferas y a una temperatura de 298 K. Determinar:

a) ¿Cuántos moles de oxígeno se tienen?

b) ¿Qué masa en gramos de oxígeno contiene el recipiente?

Dato. Peso atómico del oxígeno: 16

13 Termodinámica

La termodinámica es la rama de la Física que se encarga del estudio de la transformación del calor en trabajo y viceversa. Su estudio se inició en el siglo XVIII y sus principios se fundamentan en fenómenos comprobados experimentalmente.

Sistema termodinámico y paredes diatérmicas y adiabáticas

Sistema termodinámico

Es alguna porción de materia que separamos del resto del Universo por medio de un límite o frontera con el propósito de poder estudiarlo (figura 11.19).

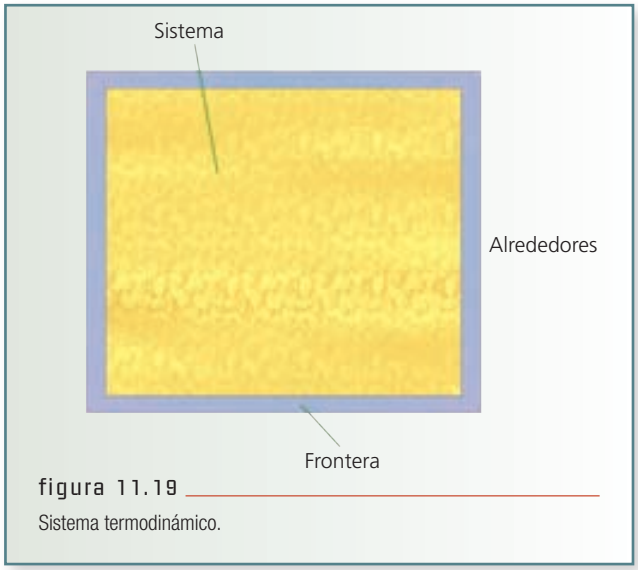


figura 11.19
Sistema termodinámico.

Paredes diatérmicas y adiabáticas

La frontera de un sistema puede estar constituida con paredes diatérmicas o con paredes adiabáticas. Una pared diatérmica es aquella que permite la interacción térmica del sistema con los alrededores. Una pared adiabática no permite que exista interacción térmica del sistema con los alrededores.

Al calentar agua en un matraz utilizando una flama, observamos que con el tiempo el agua entrará en ebullición, pues nuestro sistema (el agua) interacciona térmicamente con los alrededores (la flama y el medio), ya que el matraz hecho de vidrio actúa como pared diatérmica. Pero si en lugar de calentar el agua en un matraz lo hacemos en un termo constituido por un recipiente de doble pared y con vacío intermedio, observaremos que no se calentará porque ahora la pared es adiabática y no permite la interacción térmica de la flama y el sistema.

Cabe señalar que ninguna pared es 100% adiabática, pues toda la materia al recibir calor aumenta su temperatura; sin embargo, como unos cuerpos lo hacen rápidamente y otros en forma más lenta, en términos prácticos consideramos a unos como diatérmicos y a otros como adiabáticos.

Procesos termodinámicos adiabáticos y no adiabáticos

Un proceso térmico es adiabático si el sistema no cede ni recibe calor, por lo que se realiza a calor constante. Para ello se utilizan fronteras hechas con paredes adiabáticas.

Un proceso térmico es no adiabático cuando el sistema interacciona térmicamente con los alrededores, el calor fluye a través de las paredes diatérmicas que constituyen la frontera y se produce un cambio tanto en los alrededores como en el sistema mismo. Durante los procesos térmicos no adiabáticos un sistema absorbe o cede calor. La cantidad de calor intercambiado en éstos depende de la sustancia y del proceso del que se trate. (figuras 11.20 y 11.21).

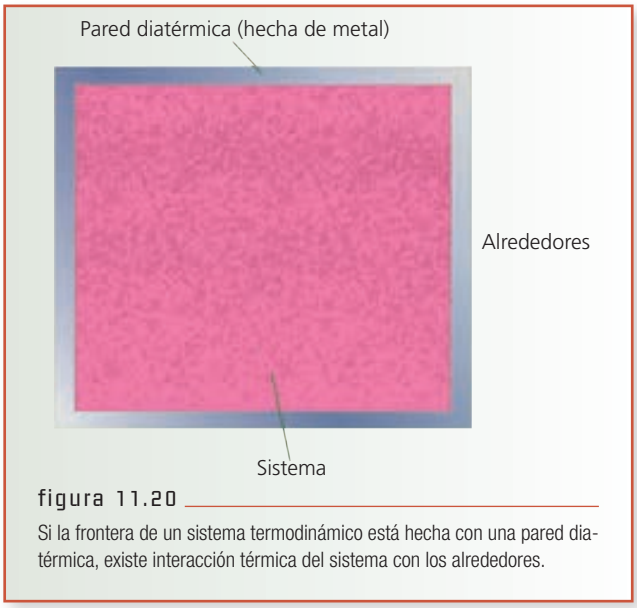


figura 11.20
Si la frontera de un sistema termodinámico está hecha con una pared diatérmica, existe interacción térmica del sistema con los alrededores.

Equilibrio termodinámico

Cuando un sistema de baja temperatura se pone en contacto por medio de una pared diatérmica con otro sistema de mayor temperatura, la temperatura del sistema frío aumenta mientras la temperatura del sistema caliente disminuye. Si se mantiene este contacto por un periodo largo, se establecerá el equilibrio termodinámico, es decir, ambos sistemas tendrán la misma temperatura. Es evidente que

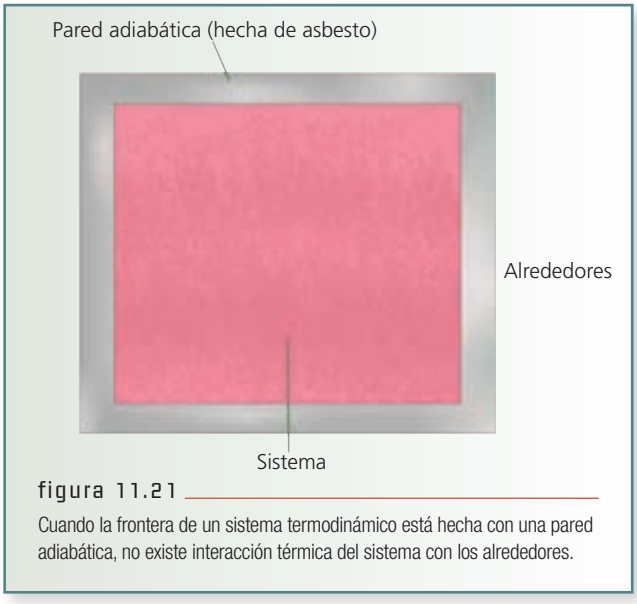


figura 11.21
Cuando la frontera de un sistema termodinámico está hecha con una pared adiabática, no existe interacción térmica del sistema con los alrededores.

si los sistemas están formados por diferentes sustancias o diferentes porciones de ellas, no contienen la misma cantidad de energía interna aunque su temperatura sea igual.

Cuando la temperatura de un cuerpo caliente empieza a descender, las moléculas reducen el número total e intensidad de sus procesos de movimiento.

Punto triple de una sustancia

Por definición, el punto triple de una sustancia es aquel en el cual sus tres fases (sólido, líquido y gaseoso) coexisten en equilibrio termodinámico.

Para obtener en forma experimental el punto triple de una sustancia, se debe variar la temperatura y la presión hasta lograr con ciertos valores que la sustancia se encuentre en sus tres fases. Por ejemplo: el punto triple del agua es cuando el hielo, el agua líquida y el vapor de agua, coexisten en equilibrio termodinámico. La temperatura del punto triple del agua es de 273.16 K y la presión es de 6.025×10^{-3} atmósferas.

Si un cuerpo sólido que se encuentra a una presión menor a la de su punto triple es calentado, directamente se gasifica sin pasar por el estado líquido, efectuándose así una sublimación.

Energía interna

La energía interna de un sistema se define como la suma de las energías cinética y potencial de las moléculas individuales que lo constituyen. Al suministrar calor a un sistema, se provoca un aumento en la energía de agitación de sus moléculas, se produce un incremento en la energía interna del sistema y por consiguiente un aumento en la temperatura.

En general, cuanto mayor sea la temperatura de un sistema, mayor será su energía interna. Sin embargo, los valores absolutos de ésta en las moléculas no se pueden precisar, motivo por el cual sólo se determina la variación que sufre la energía interna del sistema mediante la expresión:

$$\Delta U = U_f - U_i$$

donde:

ΔU = variación de la energía interna expresada en joules (J)

U_f = energía interna final medida en joules (J)

U_i = energía interna inicial expresada en joules (J)

Ley cero de la termodinámica

Para comprender esta ley, observemos la (figura 11.22).

Esta ley nos explica que cuando un sistema se pone en contacto térmico con otros, al transcurrir el tiempo la temperatura será la misma, porque se encontrarán en equilibrio térmico. Otra forma de expresar la ley cero de la termodinámica es la siguiente:

La temperatura es una propiedad que tiene cualquier sistema termodinámico y existirá equilibrio térmico entre dos sistemas cualesquiera, si su temperatura es la misma.

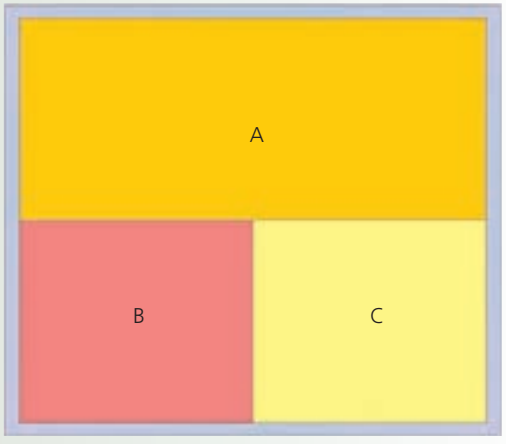


figura 11.22

Si los sistemas A y B están en equilibrio termodinámico con el sistema C, entonces los sistemas A y B se encuentran en equilibrio termodinámico entre sí.

Equivalente mecánico del calor

En la actualidad a ningún estudiante de Física le parece raro escuchar que el calor es una forma de energía y, por lo mismo, las unidades para medirlo son las mismas empleadas para medir la energía. Sin embargo, fue a fines de siglo XVIII cuando **Benjamín Thompson**, conde de Rumford, propuso que el calentamiento causado por la fricción se debía a la transformación de la energía mecánica en térmica, con ello desechó la Teoría del Calórico.

El inglés **James Prescott Joule**, industrial cervecero, continuó los estudios de Thompson y a mediados del siglo XIX comprobó que siempre que se realiza una cierta cantidad de trabajo se produce una cantidad equivalente de calor. Joule estableció el principio llamado equivalente mecánico del calor en el cual se demuestra que por cada joule de trabajo se producen 0.24 calorías y que cuando una caloría de energía térmica se convierte en trabajo se obtienen 4.2 joules. Por tanto:

$$1 \text{ cal} = 4.2 \text{ J}$$
$$1 \text{ J} = 0.24 \text{ cal}$$

Aunque la caloría y el BTU son unidades de calor creadas antes de aceptar que el calor es energía, aún se utilizan ampliamente, pues son precisas y resultan prácticas al resolver problemas. Por ello, no debemos olvidar que tanto el joule como la caloría son unidades empleadas para medir la energía calorífica y que de acuerdo con el equivalente mecánico del calor podemos transformar una unidad en otra.

Trabajo termodinámico

El cilindro de la figura 11.23 contiene un gas encerrado por un pistón o émbolo. Para comprimir el gas se debe aplicar una fuerza al émbolo, el cual al recorrer una cierta distancia disminuirá el volumen del gas, realizando un trabajo de compresión. El valor del trabajo efectuado puede calcularse de acuerdo con la siguiente deducción:

$$T = Fd \qquad (1)$$

como $P = \dfrac{F}{A}$

$$F = PA \qquad (2)$$

sustituyendo 2 en 1:

$$T = PAd \qquad (3)$$

Como Ad es el volumen al que se ha comprimido el gas, tenemos:

$$Ad = \Delta V = V_f - V_i \qquad (4)$$

sustituyendo 4 en 3:

$$T = P\,(V_f - V_i) \qquad (5)$$

donde:

T = trabajo realizado en joules a una presión constante del gas (proceso isobárico)

P = presión constante del gas en N/m^2

$V_f - V_i$ = variación de volumen en el gas en metros cúbicos (m^3)

Al efectuarse un trabajo de compresión, éste se transforma íntegramente en calor del sistema, porque comunica al gas una energía adicional que aumenta la energía interna de sus moléculas elevando la temperatura. En la compresión de un gas, el volumen final es menor al inicial, por tanto, el trabajo realizado es negativo y se dice que se efectuó un trabajo de los alrededores sobre el sistema.

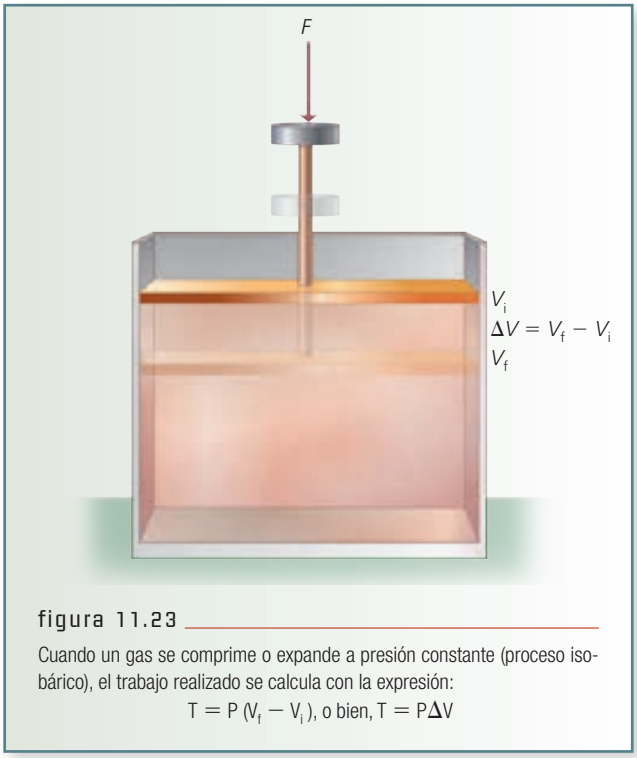


figura 11.23

Cuando un gas se comprime o expande a presión constante (proceso isobárico), el trabajo realizado se calcula con la expresión:
$T = P\,(V_f - V_i)$, o bien, $T = P\Delta V$

En un trabajo de expansión producido gracias a la energía interna de las moléculas del gas, la temperatura del sistema disminuye. Al expanderse un gas el volumen final es mayor al inicial y, por tanto, el trabajo es positivo, entonces el sistema realiza un trabajo sobre los alrededores.

Cuando en un proceso el volumen del sistema permanece constante (proceso isocórico), no se realiza ningún trabajo por el sistema ni sobre éste, ya que $\Delta V = 0$ y, por tanto:

$$T = P\,(V_f - V_i) = T = P\Delta V = 0$$

Resolución de un problema de trabajo termodinámico

Calcular el trabajo realizado al comprimir un gas que está a una presión de 2.5 atmósferas desde un volumen inicial de 800 cm^3 a un volumen final de 500 cm^3. Expresar el resultado en joules.

Solución:

Datos

$T = ?$

$P = 2.5$ atm

$V_i = 800\ cm^3$

$V_f = 500\ cm^3$

Fórmula

$T = P\,(V_f - V_i)$

Transformación de unidades

$$2.5\ \text{atm} \times \frac{1.013 \times 10^5\ N/m^2}{1\ \text{atm}} = 2.53 \times 10^5\ N/m^2$$

$$800\ \text{cm}^3 \times \frac{1\times10^{-6}\ \text{m}^3}{1\ \text{cm}^3} = 800\times10^{-6}\ \text{m}^3$$

$$500\ \text{cm}^3 \times \frac{1\times10^{-6}\ \text{m}^3}{1\ \text{cm}^3} = 500\times10^{-6}\ \text{m}^3$$

Sustitución y resultado

$T = 2.53 \times 10^5\ \text{N/m}^2\ (500 \times 10^{-6}\ \text{m}^3 - 800 \times 10^{-6}\ \text{m}^3)$

$= -759 \times 10^{-1}\ \text{Nm} = -75.9\ \text{J}$

Nota: El signo menos del trabajo indica que se realizó trabajo sobre el sistema.

Primera ley de la termodinámica

Con el descubrimiento hecho por Joule acerca del equivalente mecánico del calor, se demostró que la energía mecánica se convierte en energía térmica cuando por fricción aumenta la energía interna de un cuerpo, y que la energía térmica se puede convertir en energía mecánica si un gas encerrado en un cilindro se expande y mueve un émbolo, con esto, ha sido posible establecer claramente la **ley de la conservación de la energía**.

Esta ley, aplicada al calor, da como resultado el enunciado de la primera ley de la termodinámica que dice: la variación en la energía interna de un sistema es igual a la energía transferida a los alrededores o por ellos en forma de calor y de trabajo, por lo que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma.

Matemáticamente, la primera ley de la termodinámica se expresa como:

$$\Delta U = Q - W$$

donde: ΔU = variación de la energía interna del sistema expresada en calorías (cal) o joules (J)

Q = calor que entra o sale del sistema medido en calorías (cal) o joules (J)

W = trabajo efectuado por el sistema o trabajo realizado sobre éste expresado en calorías (cal) o joules (J)

El valor de Q es positivo cuando entra calor al sistema y negativo si sale de él. El valor de W es positivo si el sistema realiza trabajo y negativo si se efectúa trabajo de los alrededores sobre el sistema. Así pues, si un sistema recibe cierta cantidad de calor Q y realiza un trabajo W sobre los alrededores, el cambio en su energía interna será igual a:

$$Q - W = \Delta U$$

En la figura 11.24 vemos un sistema formado por un gas dentro de un cilindro que contiene un émbolo. Al suministrarle calor al cilindro, la energía interna del sistema aumenta, pero si el gas ejerce una fuerza suficiente sobre el émbolo y lo desplaza se habrá realizado un trabajo del sistema sobre los alrededores. Por tanto, la variación de la energía interna del sistema será igual al calor que haya absorbido, menos el trabajo realizado en la expansión del gas.

Al suministrar calor a un sistema formado por un gas encerrado en un cilindro hermético, el volumen permanece constante (proceso isocórico), y al no realizar ningún trabajo todo el calor suministrado al sistema aumentará su energía interna:

$$\Delta U = U_f - U_i = Q$$

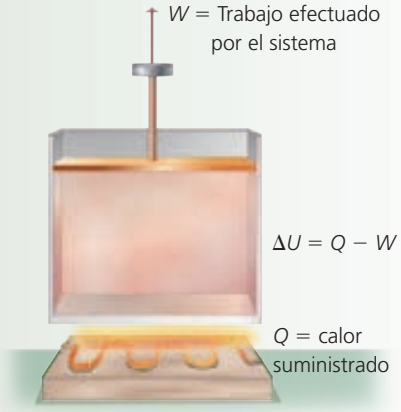


figura 11.24

La variación de la energía interna del sistema equivale a la diferencia entre el calor absorbido y el trabajo realizado

$\Delta U = Q - W$.

Resolución de problemas de la primera ley de la termodinámica

1. A un sistema formado por un gas encerrado en un cilindro con émbolo, se le suministran 200 calorías y realiza un trabajo de 300 joules. ¿Cuál es la variación de la energía interna del sistema expresada en joules?

Solución:

Datos

$Q = 200$ cal

$W = 300$ J

Fórmula

$\Delta U = Q - W$

ΔU = ?

Transformación de unidades

1 cal = 4.2 J

$$200 \text{ cal} \times \frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}} = 840 \text{ J}$$

Sustitución y resultado

ΔU = 840 J − 300 J = 540 J

Nota: El calor tiene signo positivo, pues entra al sistema, y el trabajo también es positivo, ya que lo realiza el sistema sobre los alrededores. El valor positivo de ΔU indica que se incrementó la energía interna del sistema.

2 ¿Cuál será la variación de la energía interna en un sistema que recibe 50 calorías y se le aplica un trabajo de 100 J ?

Solución:

Datos	**Fórmula**
ΔU = ?	$\Delta U = Q - W$
Q = 50 cal	
W = −100 J	

Transformación de unidades

$$50 \text{ cal} \times \frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}} = 210 \text{ J}$$

Sustitución y resultado

ΔU = 210 J − (−100 J) = 310 J

Nota: El signo del trabajo es negativo, porque se realizó sobre el sistema.

3 A un gas encerrado en un cilindro hermético, se le suministran 40 calorías, ¿cuál es la variación de su energía interna?

Solución:

Datos	**Fórmula**
Q = 40 cal	$\Delta U = Q - W$
ΔU = ?	
W = 0	

Transformación de unidades

$$40 \text{ cal} \times \frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}} = 168 \text{ J}$$

Sustitución y resultado

ΔU = 168 J − 0 = 168 J

Nota: Al no realizarse ningún trabajo, todo el calor suministrado incrementó la energía interna del sistema.

4 Sobre un sistema se realiza un trabajo de −100 joules y éste libera −40 calorías hacia los alrededores. ¿Cuál es la variación en su energía interna?

Solución:

Datos	**Fórmula**
W = −100 J	$\Delta U = Q - W$
Q = −40 cal	
ΔU = ?	

Transformación de unidades

$$-40 \text{ cal} \times \frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}} = -168 \text{ J}$$

Sustitución y resultado

ΔU = −168 J − (−100 J) = −68 J

Nota: El signo negativo de la variación de la energía interna del sistema indica que disminuyó su valor, porque sólo recibió 100 J en forma de trabajo y perdió 168 J en forma de calor.

5 Un sistema al recibir un trabajo de −170 J sufre una variación en su energía interna igual a 80 J. Determinar la cantidad de calor que se transfiere en el proceso y si el sistema recibe o cede calor.

Solución:

Datos	**Fórmula**
ΔU = 80 J	$\Delta U = Q - W \therefore$
W = −170 J	$Q = \Delta U + W$
Q = ?	

Sustitución y resultado

Q = 80 J + (−170 J) = −90 J

Nota: Si el calor tiene signo negativo, el sistema cede calor a los alrededores. Sin embargo, su energía interna aumentó ya que se efectuó un trabajo sobre él.

Ejercicios propuestos

1 Determine la variación en la energía interna de un sistema al recibir 500 calorías y realizar un trabajo de 800 joules.

2 Sobre un sistema se realiza un trabajo equivalente a 1 000 J y se le suministran 600 cal. Calcular cuál es la variación de su energía interna.

3. Un gas está encerrado en un cilindro hermético y se le suministran 100 cal. Calcular:
   a) ¿Cuál es la variación de su energía interna?
   b) ¿Realiza trabajo?
4. Un sistema varía su energía interna en 300 J al efectuarse un trabajo de −700 J. Determinar la cantidad de calor que se transfiere en el proceso, señalando si lo cedió o lo absorbió el sistema.
5. Determine la variación de la energía interna de un sistema cuando sobre él se realiza un trabajo de 50 J, liberando 20 cal al ambiente.

Segunda ley de la termodinámica

La energía calorífica no fluye en forma espontánea de un sistema frío a otro caliente. Sólo cuando se tienen dos sistemas con diferentes temperaturas se puede utilizar la energía calorífica para producir trabajo. El calor fluye espontáneamente del sistema caliente al frío hasta que se igualan las temperaturas. Durante este proceso, parte del calor se puede transformar en energía mecánica a fin de efectuar un trabajo, pero no todo el calor puede ser convertido en trabajo mecánico.

La primera ley de la termodinámica, como ya señalamos, estudia la transformación de la energía mecánica en calorífica y la del calor en trabajo, sin imponer ninguna restricción en estos cambios. Sin embargo, la segunda ley de la termodinámica señala restricciones al decir que existe un límite en la cantidad de trabajo, el cual es posible obtener a partir de un sistema caliente.

Existen dos enunciados que definen la segunda ley de la termodinámica, uno del físico alemán **Rudolph J. E. Celsius**: el calor no puede por sí mismo, sin la intervención de un agente externo, pasar de un cuerpo frío a un cuerpo caliente. Y otro del físico inglés William Thomson Kelvin: es imposible construir una máquina térmica que transforme en trabajo todo el calor que se le suministra.

Conclusiones de las leyes primera y segunda de la termodinámica

Las leyes de la termodinámica son verdades universales, establecidas después de haberse realizado numerosos experimentos tanto cualitativos como cuantitativos.

La primera ley, conocida como ley de la conservación de la energía, afirma que la energía existente en el Universo es una cantidad constante. Esta ley se confirma cuando Albert Einstein nos demuestra la relación entre materia y energía. La segunda ley tiene aplicaciones importantes en el diseño de máquinas térmicas empleadas en la transformación de calor en trabajo. También es útil para interpretar el origen del Universo, pues explica los cambios energéticos que ha tenido y tendrá en un futuro. Predice que dentro de billones de años se producirá la llamada **muerte térmica del Universo**, la cual ocurrirá cuando toda la energía del Universo se reduzca a la de las moléculas en movimiento y toda la materia tenga la misma temperatura. Al no existir diferencias de temperatura, tampoco se producirá intercambio de calor entre los cuerpos y los seres vivos se extinguirán.

Entropía y tercera ley de la termodinámica

La entropía es una magnitud física utilizada por la termodinámica para medir el grado de desorden de la materia. En un sistema determinado, la entropía o estado de desorden dependerá de su energía interna y de cómo se encuentren distribuidas sus moléculas.

Como en el estado sólido las moléculas están muy próximas unas de otras y se encuentran en una distribución bastante ordenada, su entropía es menor si se compara con la del estado líquido, y en éste menor que en el estado gaseoso. Cuando un líquido es calentado las moléculas aumentan su movimiento y con ello su desorden, por tanto, al evaporarse se incrementa considerablemente su entropía. En general, la naturaleza tiende a aumentar su entropía, es decir, su desorden molecular.

Como resultado de sus investigaciones, el físico y químico alemán **Walther Nernst** estableció otro principio fundamental de la termodinámica llamado tercera ley de la termodinámica; dicho principio se refiere a la entropía de las sustancias cristalinas y puras en el cero absoluto de temperatura (0 K), y se enuncia de la siguiente manera: la entropía de un sólido cristalino puro y perfecto puede tomarse como cero a la temperatura del cero absoluto. Por tanto, un cristal perfectamente ordenado a 0 K tendrá un valor de entropía igual a cero. Cualquier incremento de la temperatura, por encima de 0 K, causa una alteración en el arreglo de las moléculas componentes de la red cristalina, aumentando así el valor de la entropía.

Máquinas térmicas

Las máquinas térmicas son aparatos que se utilizan para transformar la energía calorífica en trabajo mecánico. Existen tres tipos:

1. Máquinas de vapor.
2. Motores de combustión interna.
3. Motores de reacción.

Independientemente del tipo de máquina térmica de que se trate, su funcionamiento básico consiste en la dilatación de un gas caliente, el cual al realizar un trabajo se enfría.

Máquinas de vapor

Cuando el agua se transforma en vapor, se expande ocupando un volumen 1 700 veces mayor que en su estado líquido. Las máquinas de vapor emplean la enorme energía producida por esta expansión para generar un trabajo. Una máquina de vapor es de combustión externa si el combustible se quema fuera de ella, calentando la caldera productora del vapor que la alimenta (figura 11.25).



figura 11.25
Máquina de vapor.

El vapor producido por la caldera se acumula a muy altas presiones, de ahí pasa al cilindro donde empuja al émbolo hacia el extremo opuesto. Al final del desplazamiento (carrera) entra vapor por este extremo, empujando al émbolo a su posición inicial. Por medio de un vástago (varilla que penetra por un extremo del cilindro), se pone en conexión el émbolo con un cigüeñal que transforma el movimiento alternativo del émbolo en giratorio. Mientras el vapor penetra y se expande con fuerza a través de un lado del émbolo, el vapor contenido en el otro extremo del cilindro se escapa por una lumbrera con dos aberturas: una para el escape y otra para la admisión del vapor. El vapor utilizado puede disiparse hacia la atmósfera, o bien, ser pasado a un condensador a fin de que al encontrarse en estado líquido se vuelva a emplear en la caldera.

Motores de combustión interna

Los motores de combustión interna o de explosión se llaman así porque el combustible se quema dentro del motor donde realiza su función. Estos motores aprovechan la expansión de los gases producidos por la combustión viva de una mezcla carburante en la cámara de combustión del cilindro. Los gases empujan un émbolo y debido a la utilización de una biela el movimiento de éste se transforma en movimiento giratorio del cigüeñal. Existen motores de combustión de cuatro y de dos tiempos.

En un motor de cuatro tiempos (figura 11.26) su ciclo es el siguiente:

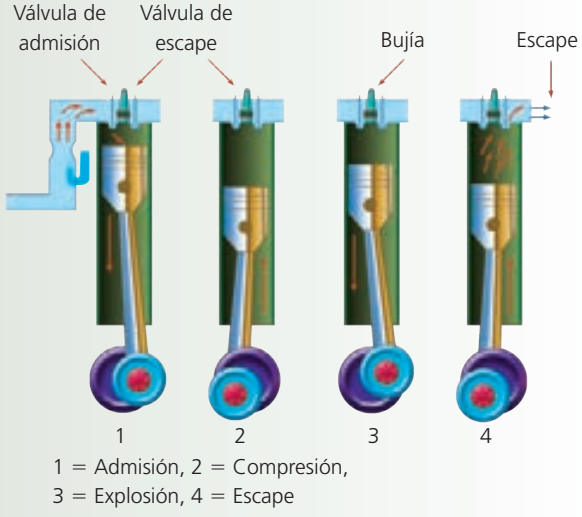


figura 11.26
Motor de cuatro tiempos.

1. Admisión. El émbolo se mueve hacia abajo, absorbiendo una mezcla de combustible y aire que procede del carburador.
2. Compresión. El émbolo se desplaza hacia la parte alta del cilindro. La válvula de admisión se ha cerrado, y la mezcla de aire y combustible ya no puede escapar. Al subir el émbolo, la mezcla carburante lo comprime fuertemente en la cámara de combustión, lo cual

se denomina índice de compresión. Por ejemplo: si al principio la mezcla ocupa la totalidad del cilindro, al final sólo llenará una octava parte del mismo, es decir, su índice de compresión es de 8 a 1.

3. Explosión. La chispa eléctrica que salta entre los electrodos de la bujía se encarga de encender e inflamar la mezcla, produciéndose así una violenta dilatación de los gases encargados de empujar el émbolo hacia abajo, y al arrastrar al cigüeñal realiza trabajo mecánico.

4. Escape. El émbolo se eleva de nuevo en el interior del cilindro, abriéndose la válvula de escape, la cual se encuentra en la parte alta de éste. El movimiento de elevación del émbolo expulsa los gases quemados por medio de la lumbrera de escape. Cuando llega el final de la carrera, la válvula se cierra y el motor inicia nuevamente su ciclo. La apertura de las válvulas de admisión y de escape, así como la producción de la chispa en la cámara de combustión se obtienen a través de mecanismos sincronizados con el cigüeñal.

Los motores cuyo ciclo es de dos tiempos generan potencia cada vez que el émbolo baja, esto se logra al combinar el escape, la admisión y la compresión en un solo tiempo. Además no tienen válvulas de admisión ni de escape, sino lumbreras abiertas a los lados del cilindro, las cuales son tapadas y destapadas por el émbolo en su desplazamiento hacia arriba y abajo.

Los motores Diesel, llamados de combustión pesada o de aceites pesados, se caracterizan porque no tienen sistema de encendido ni carburador. En estos motores cuando el émbolo baja aspira aire puro y al subir lo comprime fuertemente de 30 a 50 atmósferas, calentándolo a temperaturas de 500 a 600 °C. En seguida se inyecta en ese aire un chorro de combustible líquido que se pulveriza en la cámara y se inflama en forma espontánea por la alta temperatura existente. Los gases en su expansión empujan el émbolo, mismo que realizará un trabajo mecánico.

Motores de reacción

Los motores de reacción se basan en el principio de la acción y reacción. Existen dos tipos principales de motores a reacción: los turborreactores y los cohetes.

Los turborreactores constan de un generador de gases muy calientes y de una tobera que los expele hacia atrás en forma de chorro (acción), así impulsa al motor y al móvil en el cual se encuentra instalado hacia adelante (reacción).

El motor del cohete no necesita del aire atmosférico para funcionar, pues contiene en su interior las sustancias químicas para la combustión. Los gases calientes producidos en la cámara de combustión son expelidos con gran fuerza hacia atrás (acción), de esta manera impulsan a la nave hacia adelante (reacción).

Eficiencia de las máquinas térmicas

De acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, es imposible construir una máquina térmica que transforme en trabajo todo el calor suministrado. Esta limitación de las máquinas térmicas, cuya eficiencia nunca podrá ser del 100%, se debe a que la mayor parte del calor proporcionado en lugar de convertirse en trabajo mecánico se disipa a la atmósfera, ya sea por el calor que arrastran los humos y gases residuales calientes o por el calor perdido a través de la radiación y la fricción entre sus partes móviles. En realidad, la eficiencia de las máquinas térmicas es bastante baja, pues en las máquinas de vapor va de un 20% a un 35% máximo, en los motores de gasolina es de 23% y en los motores Diesel es de un máximo de 40%.

Por definición: la eficiencia o rendimiento de una máquina térmica es la relación entre el trabajo mecánico producido y la cantidad de calor que se le suministra. Matemáticamente se expresa:

$$\eta = \frac{T}{\mathcal{Q}} \qquad (1)$$

donde:

η = eficiencia de la máquina térmica

T = trabajo neto producido por la máquina en calorías (cal) o joules (J)

$\mathcal{Q}$ = calor suministrado a la máquina por el combustible en calorías (cal) o joules (J)

Como el trabajo neto producido por la máquina es igual a la diferencia entre el calor que se le suministra ($\mathcal{Q}_1$) y el calor que no puede aprovecharse porque se disipa en la atmósfera ($\mathcal{Q}_2$):

$$T = \mathcal{Q}_1 - \mathcal{Q}_2$$

donde la eficiencia se expresa:

$$\eta = \frac{\mathcal{Q}_1 - \mathcal{Q}_2}{\mathcal{Q}_1}$$

o bien:

$$\eta = 1 - \frac{\mathcal{Q}_2}{\mathcal{Q}_1} \qquad (2)$$

Como siempre existirá una cantidad de calor que no se puede aprovechar ($\mathcal{Q}_2$) para convertirla en trabajo, la eficiencia de una máquina térmica será menor que uno. Si se desea expresar la eficiencia en porcentajes, bastará con multiplicar las ecuaciones 1 y 2 por 100.

La eficiencia de una máquina térmica se puede calcular en función de la relación que hay entre la temperatura de la fuente caliente (T_1) y la temperatura de la fuente

fría (T_2), ambas medidas en temperaturas absolutas, es decir, en grados Kelvin (K)donde:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \qquad (3)$$

Fuente caliente (T_1) es la temperatura absoluta del foco que suministra el calor para producir trabajo, y fuente fría (T_2) es la temperatura absoluta del foco por donde se escapa el calor que no es aprovechado en trabajo.

También se puede calcular la eficiencia de una máquina térmica al dividir la potencia útil o de salida de la máquina entre la potencia total o de entrada de la misma, es decir:

$$E = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}}$$

El funcionamiento del refrigerador

¿Ha valorado la importancia que tiene el proceso de refrigeración, mismo que permite reducir la temperatura de un espacio determinado? Sin duda alguna, el refrigerador es uno de los inventos hechos por el hombre que han facilitado mucho las tareas domésticas. ¿Pero cómo funciona? Veamos:

En un refrigerador se obtiene un enfriamiento constante por medio de la circulación de un refrigerante en un circuito cerrado, en el cual se evapora y luego se condensa repitiéndose este ciclo. El sistema mecánico que se utiliza en los refrigeradores domésticos y en muchos de los aparatos de aire acondicionado es el denominado sistema de compresión.

En el refrigerador por compresión, el agente frigorífico o sustancia refrigerante suele ser el freón, que es el nombre de una marca registrada de una familia de compuestos frigoríficos, entre los que se encuentra el freón 12.

Un refrigerador también es una máquina térmica, pero su funcionamiento presenta una característica especial, ya que utiliza el trabajo de un motor para transferir calor de una fuente fría a una caliente. En otras palabras, para mantener el enfriamiento requiere de un suministro continuo de energía y un proceso para disipar el calor.

Los sistemas de compresión utilizan cuatro elementos (figura 11.27) en el ciclo continuo de refrigeración, éstos son:

1. Evaporador.
2. Compresor.
3. Condensador.
4. Válvula de expansión.

Como habrá observado, el congelador del refrigerador se encuentra en la parte de arriba, ya que por las corrientes de convección, el aire caliente sube y el frío baja.

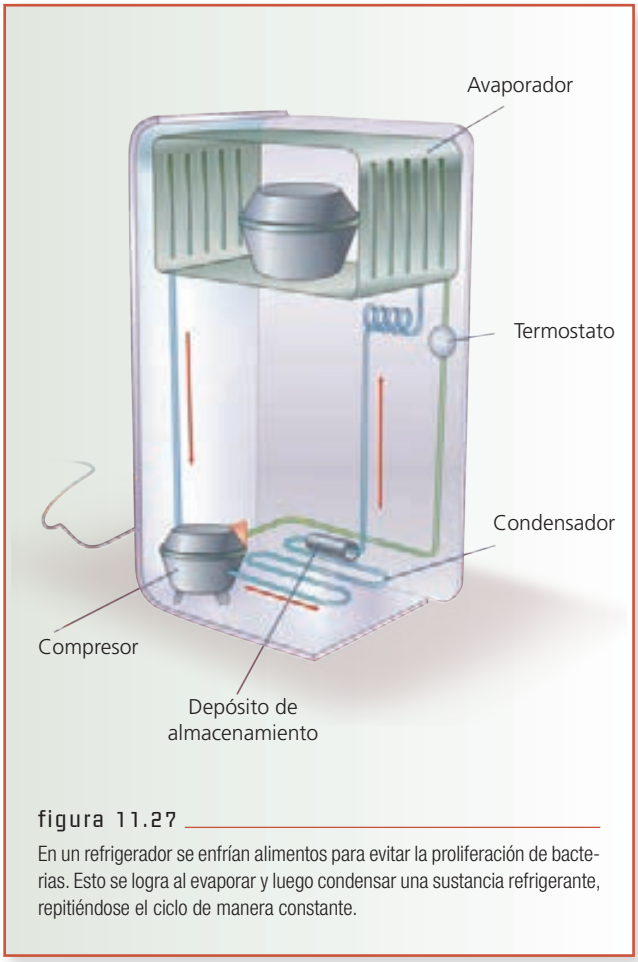


figura 11.27

En un refrigerador se enfrían alimentos para evitar la proliferación de bacterias. Esto se logra al evaporar y luego condensar una sustancia refrigerante, repitiéndose el ciclo de manera constante.

Impacto ecológico de las máquinas térmicas

El progreso de nuestra sociedad no sería posible sin los diferentes tipos de máquinas térmicas que existen. Gracias a su uso, hoy en día nos trasladamos rápidamente por tierra, aire, mares y ríos; las comunicaciones entre los cinco continentes son prácticamente instantáneas; en síntesis, disfrutamos de las múltiples aplicaciones de las máquinas y nuestra vida es más activa y placentera.

Sin embargo, no debemos olvidar que las máquinas térmicas requieren del uso de diferentes energéticos lo que provoca consecuencias alarmantes como la contaminación del suelo, agua y aire.

El aire, en especial el de los grandes núcleos urbanos e industriales, contiene sustancias nocivas, incluso peligrosas, que contribuyen a la contaminación. Estas sustancias provienen de la combustión de carbón, leña e hidrocarburos. Así, la gasolina con aire en exceso produce durante su combustión bióxido de carbono y agua, pero las condiciones del motor son diferentes, más propicias para una combustión parcial. Entonces, además del

bióxido de carbono y agua en forma de vapor, produce sustancias nocivas como:

a) Monóxido de carbono, que es un gas venenoso.

b) Hidrocarburos no quemados, que pueden causar daños al hígado, hasta cáncer.

c) Dióxido de azufre, formado a partir de la pequeña cantidad de azufre que contiene el petróleo, que ocasiona enfermedades de las vías respiratorias y lluvia ácida.

d) Monóxido y dióxido de nitrógeno, productos de la reacción entre nitrógeno y oxígeno a la temperatura del motor; ocasiona los mismos efectos perniciosos que el dióxido de azufre.

e) Humo, constituido por pequeñas partículas de carbono en suspensión, que daña los pulmones y ennegrece la ropa, rostro, casas y edificios, entre otros.

f) Ozono, gas de fórmula O_3 que es una variedad del oxígeno cuya molécula consta de tres átomos en lugar de los dos que tiene la molécula de oxígeno común (O_2). El caso del ozono es particular, ya que es beneficioso en la alta atmósfera, porque nos protege de una radiación intensa de rayos ultravioleta provenientes del Sol, pero perjudicial en la superficie por irritar las vías respiratorias. El ozono se produce aquí por la acción de la luz solar sobre el oxígeno y los gases de escape de los motores. El conjunto de ellos forman lo que se llama esmog (vocablo inglés que proviene de la contracción de las palabras *smoke* que significa humo y *fog*, niebla), que aparece como una niebla contaminante y persistente sobre los grandes núcleos urbanos (figura 11.28).



figura 11.28

El esmog producido por los vehículos de combustión interna y fábricas contamina las ciudades.

Resolución de problemas de eficiencia térmica

1 Calcular la eficiencia de una máquina térmica a la cual se le suministran 5.8×10^8 cal realizando un trabajo de 6.09×10^8 J.

Solución:

Datos

$\eta = ?$

$\mathcal{Q} = 5.8 \times 10^8$ cal

$T = 6.09 \times 10^8$ J

Fórmula

$$\eta = \frac{T}{\mathcal{Q}}$$

Transformación de unidades

$$5.8 \times 10^8 \text{cal} \times \frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}} = 24.36 \times 10^8 \text{J}$$

Sustitución y resultado

$$\eta = \frac{6.09 \times 10^8 \text{J}}{24.36 \times 10^8 \text{J}} = 0.25$$

$\eta = 0.25 \times 100 = 25\%$

2 Calcular en joules el trabajo que producirá una máquina térmica cuya eficiencia es del 22%, al suministrarle 4.5×10^3 cal.

Solución:

Datos

$T = ?$

$\eta = 22\%$

$\mathcal{Q} = 4.5 \times 10^3$ cal

Fórmula

$$\eta = \frac{T}{\mathcal{Q}} \quad \therefore \quad T = \eta \mathcal{Q}$$

Transformación de unidades

$$4.5 \times 10^3 \text{cal} \times \frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}} = 18.9 \times 10^3 \text{ J}$$

Sustitución y resultado

$T = 0.22 \times 18.9 \times 10^3 \text{ J} = 4.158 \times 10^3 \text{ J}$

3 ¿Cuál es la eficiencia de una máquina térmica a la que se le suministran 3.8×10^4 cal de las cuales 2.66×10^4 cal se pierden por transferencia de calor al ambiente? Calcular también la cantidad de trabajo producida en joules.

Solución:

Datos

$\eta = ?$

$Q_1 = 3.8 \times 10^4$ cal

$Q_2 = 2.66 \times 10^4$ cal

$T = ?$

Fórmula

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$T = Q_1 - Q_2$$

Sustitución y resultados

$$\eta = 1 - \frac{2.66 \times 10^4 \text{ cal}}{3.8 \times 10^4 \text{ cal}} = 1 - 0.7 = 0.3$$

$\eta = 0.3 \times 100 = 30\%$

$T = 3.8 \times 10^4 \text{ cal} - 2.66 \times 10^4 \text{ cal} = 1.14 \times 10^4 \text{ cal}$

$$T = 1.14 \times 10^4 \text{ cal} \times \frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}} = 4.788 \times 10^4 \text{ J}$$

4 En una máquina térmica se emplea vapor producido por la caldera a 240 °C, mismo que después de ser utilizado para realizar trabajo es expulsado al ambiente a una temperatura de 110 °C. Calcular la eficiencia máxima de la máquina expresada en porcentaje.

Solución:

Datos

$\eta = ?$

$T_1 = 240$ °C + 273 = 513 K

$T_2 = 110$ °C + 273 = 383 K

Fórmula

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Sustitución y resultado

$$\eta = 1 - \frac{383 \text{ K}}{513 \text{ K}} = 1 - 0.75 = 0.25$$

$\eta = 0.25 \times 100 = 25\%$

5 Determinar la temperatura en °C de la fuente fría en una máquina térmica cuya eficiencia es del 33% y la temperatura en la fuente caliente es de 560 °C.

Solución:

Datos

$T_2 = ?$

$\eta = 33\%$

$T_1 = 560$ °C + 273

$= 833$ K

Fórmula

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

despeje por pasos

$$\frac{T_2}{T_1} = 1 - \eta$$

$$T_2 = T_1 (1 - \eta)$$

Sustitución y resultado

$T_2 = 833 \text{ K} (1 - 0.33)$

$= 833 \text{ K} \times 0.67 = 558.11 \text{ K}$

$= 558.11 \text{ K} - 273 = 285.11$ °C

Ejercicios propuestos

1 Determinar la eficiencia de una máquina térmica que recibe 6.9×10^6 cal, realizando un trabajo de 8.98×10^6 J.

2 Determinar en joules el trabajo producido por una máquina térmica con una eficiencia de 20% cuando se le suministran 8.7×10^5 calorías.

3 A una máquina térmica se le suministran 2.5×10^4 cal de las cuales 1.58×10^4 cal se disipan en la atmósfera.

Calcular:

a) ¿Cuál es su eficiencia?

b) ¿Qué cantidad de trabajo produce en joules?

4 Calcular la eficiencia máxima de una máquina térmica que utiliza vapor a 450 °C y lo expulsa a 197 °C.

5 Determinar la temperatura en °C de la fuente fría en una máquina térmica que trabaja con una eficiencia de 25% y su temperatura en la fuente caliente es de 390 °C.

Fuentes de energía calorífica

Existen varias fuentes de energía calorífica, pero nuestra principal fuente natural es el Sol. La energía radiante del Sol se debe a las reacciones nucleares que se producen en su interior. Actualmente se aprovecha esa energía calorífica para la calefacción de agua destinada al uso doméstico, como en algunos edificios, y también para el funcionamiento de diversos tipos de motores pro-

vistos de celdas solares (leer la sección 6 de esta unidad: Energía solar, su medida y transformación).

Otro tipo de energía térmica se encuentra en el subsuelo terrestre. En algunos lugares es tan alta la temperatura cerca de la superficie, que se producen chorros de agua caliente y *géisers* (surtidores de agua caliente que brota del suelo en forma intermitente). En varios países, incluido el nuestro, estos fenómenos se aprovechan para producir energía mecánica a partir de la llamada energía geotérmica, misma que se encuentra aún en investigación, pero con promesas muy alentadoras.

En la actualidad, la mayor cantidad de energía utilizada por la humanidad proviene de la combustión de la materia, tal es el caso de la combustión del petróleo, gasolina, gas, carbón y leña. Lamentablemente se desperdicia un valioso recurso natural no renovable como lo es el petróleo pues se quema a fin de producir calor. Es de esperarse que en un tiempo breve el hombre encuentre la manera de utilizar a gran escala y en forma rentable la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica y mecánica de los mares (mareomotriz), en lugar de contaminar la atmósfera quemando petróleo, el cual debe cuidarse para que las generaciones futuras lo aprovechen en la producción de plásticos, fibras sintéticas y, posiblemente, también en alimentos.

Mención especial requiere el calor obtenido por medio de la energía nuclear, cuyo origen se debe a la energía que mantiene unidas las partículas en el núcleo de los átomos, la cual es liberada en forma de energía calorífica y radiante cuando se produce una reacción de fusión caracterizada por la unión de dos núcleos ligeros para formar uno mayor. O bien, si se produce una reacción de fisión al desintegrarse el núcleo de un elemento de peso atómico elevado. En nuestros días se da un gran impulso a la energía nuclear y cada día se instalan más plantas nucleares con el objetivo de producir energía eléctrica.

En el estado de Veracruz se encuentra la planta nuclear de Laguna Verde, misma que contribuye en la producción de energía eléctrica. Sin embargo, los riesgos de las plantas nucleares son muy grandes y una explosión en alguno de los reactores puede provocar serios problemas a los habitantes de la localidad, como los sucedidos en Estados Unidos de América, Inglaterra y en abril de 1986 en la planta nuclear de Chernobyl en la Comunidad de Estados Independientes (antes URSS).

Poder calorífico de algunos combustibles

Debido a la importancia de varios combustibles, que se caracterizan por arder con desprendimiento de calor cuando se combinan con el oxígeno, revisaremos a continuación algunos de ellos, así como el valor de su poder calorífico.

a) Leña. Se obtiene de árboles y arbustos partidos en trozos. Es el combustible más antiguo.

b) Carbón mineral. Se utiliza como combustible en algunas fábricas. Su calor produce vapor de agua, necesario para mover las máquinas o para impulsar las locomotoras de un ferrocarril. El carbón mineral (figura 11.29) se usa en plantas termoeléctricas, en la fabricación de acero y para elaborar productos como la goma sintética y los tintes. El carbón se formó en la Tierra hace millones de años, debido a la putrefacción de musgos y helechos gigantes en los pantanos prehistóricos. Existen tres tipos de carbón: antracita, hulla y lignito.



figura 11.29

El carbón mineral se formó en la Tierra hace millones de años, debido a la putrefacción de musgos y helechos gigantes en los pantanos prehistóricos.

c) Petróleo. Es un aceite mineral con un gran valor para la humanidad, pues la vida moderna gira alrededor de este valioso recurso natural no renovable. Se usa como combustible en numerosas fábricas. Como materia prima, es el origen de una gran cantidad de productos: plásticos, adhesivos, abonos, gomas, disolventes, detergentes, fibras sintéticas, resinas sintéticas, lociones, lápices labiales, asfaltos para carreteras, etcétera. Por su enorme importancia se le denomina "oro negro".

Al igual que el carbón mineral y el gas natural (metano), el petróleo se formó de la descomposición durante millones de años de restos de antiguos organismos vivos, denominados fósiles. El origen de la palabra petróleo proviene del latín *petroleum*, compuesto de *petra*, piedra, y *oleum*, aceite. El petróleo se localiza en las entrañas de la Tierra, ya sea del desierto o del mar. Algunos depósitos de petróleo no se encuentran muy alejados de tierra firme, en la denominada plataforma continental, o sea, relativamente cerca de la



figura 11.30

El petróleo se localiza en las entrañas de la Tierra, ya sea en el desierto o en el mar.

costa, como los importantes yacimientos en el Golfo de México y el Golfo Pérsico (figura 11.30).

d) Gas natural y gas butano. El gas natural fluye de los yacimientos en potentes chorros y se transporta a grandes distancias a través de gasoductos, o bien se licúa a altas presiones y se transporta en barcos cisterna llamados metaneros. El gas natural o metano es un gas incoloro y tiene por fórmula CH_4. Es el más simple de los compuestos orgánicos y muy abundante en la naturaleza. La materia orgánica en descomposición lo produce, tal es el caso del estiércol, aguas estancadas, etcétera.

El gas butano mezclado con gas propano, recibe el nombre de gas LP cuyas siglas corresponden a licuado del petróleo, y se vende de manera comercial en tanques de acero de 20, 30 y 45 kg, también se surte por medio de camiones pipa a tanques estacionarios (figura 11.31). Como el gas butano y el propano no tienen olor y como son altamente tóxicos para el ser humano o los animales que lo inhalan durante un tiempo prolongado, se le agrega una sustancia fuertemente olorosa, la cual posibilita detectar cualquier fuga para así evitar explosiones o intoxicaciones de fatales consecuencias.



figura 11.31

El gas usado en los hogares es el butano. Se surte en tanques móviles o en camiones pipa que llevan un letrero que dice: Gas LP, cuyo significado es gas licuado del petróleo.

Poder calorífico

Después de haber efectuado el estudio de algunos de los combustibles más importantes por su amplio consumo, cabe señalar lo siguiente: la característica principal de un combustible es su poder calorífico, el cual se expresa de acuerdo con el número de kilocalorías generadas por la combustión completa de un kilogramo de dicho combustible. En el cuadro 11.7 se listan los valores del poder calorífico de algunos combustibles de amplio uso en nuestros días.

cuadro 11. 7 Poder calorífico de algunos combustibles

Combustible	Poder calorífico expresado en		
	kcal/kg	kJ/kg	MJ/kg
Alcohol de 95°	6 750	28 350	28.35
Carbón de leña	7 500	31 500	31.50
Gas butano	11 000	46 200	46.20
Gas natural	10 000	42 000	42.00
Gasolina	11 000	46 200	46.20
Leña seca	3 000	12 600	12.60
Petróleo de alumbrado	10 600	44 520	44.52

Degradación de la energía

En principio todas las formas de energía son equivalentes; de acuerdo con la Ley de la Conservación de la Energía, ésta no se crea ni se destruye sino únicamente se transforma. Aunque es posible transformar continua y totalmente el trabajo en calor, sólo una parte de la energía calorífica puede ser transformada en trabajo mediante el empleo de las máquinas térmicas. En virtud de que la energía de un sistema al someterse a transformaciones sucesivas termina por convertirse en calor y parte de éste ya no puede utilizarse para producir trabajo, decimos que cuando la energía se convierte en calor se ha degradado.

Actividad experimental 18

Calor cedido y absorbido por los cuerpos. Uso del calorímetro

Objetivo

Determinar experimentalmente el calor específico del hierro, utilizando un calorímetro de agua.

Consideraciones teóricas

Cuando un cuerpo caliente se pone en contacto con uno frío se da un intercambio de energía térmica del cuerpo caliente al frío hasta igualar su temperatura. En un intercambio de calor, la cantidad del mismo permanece constante, pues el calor transmitido por uno o más objetos calientes será el que reciba uno o más objetos fríos. Esto origina la llamada **ley del intercambio de calor**, que dice: en cualquier intercambio de calor efectuado el calor cedido es igual al absorbido. En otras palabras: **calor perdido = calor ganado**.



figura 11.32a

Vemos cómo se calienta el trozo de hierro a una determinada temperatura.

Cuando se realizan experimentos cuantitativos de intercambio de calor en el laboratorio, se deben evitar al máximo las pérdidas de éste a fin de que nuestros cálculos sean confiables. Por ello, es común utilizar un calorímetro. El más usual es el de agua, el cual consta de un recipiente externo de aluminio que en su interior tiene otro del mismo material, aislado para evitar pérdidas de calor. Tiene además un agitador, un termómetro y una tapa [figura 11.32(b)].

El calor específico de una sustancia se define en términos prácticos de la siguiente manera: es la cantidad de calor que necesita un gramo de una sustancia para elevar su temperatura un grado Celsius. De donde:

$$Ce = \frac{\Delta Q}{m\Delta T} \text{ en cal / g °C}$$

Al despejar ΔQ tenemos:

$$\Delta Q = mCe\Delta T$$

Material empleado

Un calorímetro de agua, una balanza granataria, un vaso de precipitados de 250 cm^3, un soporte completo, un mechero de Bunsen, un termómetro, un trozo de hierro, hilo y agua.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Ponga 300 cm^3 de agua, o sea 300 g de ella, en el recipiente interno de aluminio del calorímetro y registre cuál es la temperatura inicial (T_0) tanto del agua como del recipiente interno. Anótela en su cuaderno.
2. Amarre con un hilo el trozo de hierro para poder cargarlo. Encuentre con la balanza la masa del trozo de hierro, sustancia a la cual se le determinará su calor específico. Anote el valor de la masa en su cuaderno.
3. En un vaso de precipitados con agua, como se ve en la figura 11.32a, ponga a calentar el trozo de hierro a la temperatura que usted elija, por ejemplo 90 °C. Ello se logra midiendo la temperatura del agua que se calienta en el vaso de precipitados, cuando el agua alcance los 90 °C significará que el trozo de hierro sumergido en el agua

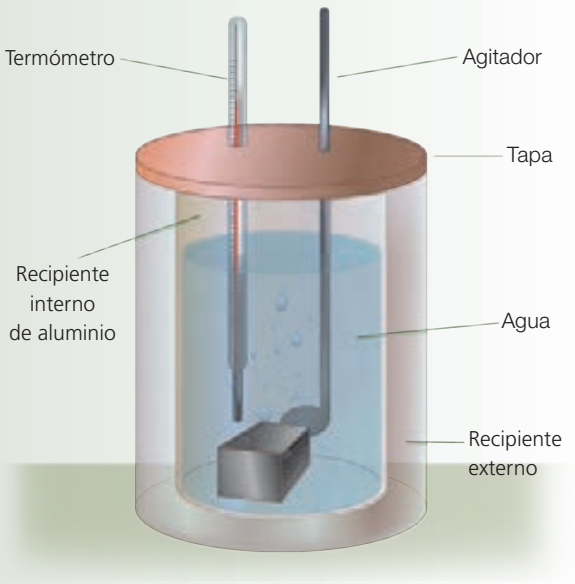


figura 11.32b

Calorímetro al cual se ha introducido el trozo de hierro previamente calentado.

también tiene 90 °C de temperatura. Anote en su cuaderno esta temperatura que será la inicial del hierro (T_{Fe}).

4. Una vez calentado el trozo de hierro a la temperatura deseada (90 °C) y para evitar que se enfríe, introdúzcalo inmediatamente en el agua que contiene el recipiente interno del calorímetro, tomándolo del hilo que tiene atado.

5. Agite el agua contenida en el recipiente interno del calorímetro hasta que la temperatura marcada por el termómetro no varíe, ello indicará la existencia de un equilibrio térmico en todas las partes. Mida el aumento de la temperatura en el agua del calorímetro, que será la misma temperatura del recipiente interno del calorímetro hecho de aluminio y que tendrá el trozo de hierro una vez que ha cedido calor al agua y al recipiente interno. Esta temperatura será la final del sistema, hierro, agua, aluminio (T_f). Anótela en su cuaderno.

6. Determine el calor específico del hierro, recordando lo siguiente: calor perdido por el hierro = calor ganado por el agua y el aluminio:

$$\Delta Q_{Fe} = \Delta Q_{H_2O} + \Delta Q_{Al}$$

Como $\Delta Q = mCe\Delta T$ tenemos:

$$m_{Fe}Ce_{Fe}\,(T_{Fe} - T_f)$$

$$= m_{H_2O}Ce_{H_2O}\,(T_f - T_0) + m_{Al}Ce_{Al}\,(T_f - T_0)$$

Sustituya valores y despeje el valor del calor específico del hierro.

Cuestionario

1. ¿Por qué se calienta el trozo de hierro en un vaso con agua que recibe calor de un mechero y no directamente? Explique.
2. ¿Cómo evitó pérdidas de calor en su experimento? Explique.
3. ¿Cómo está constituido un calorímetro de agua? Descríbalo y dibújelo.
4. ¿Cuál es la Ley del Intercambio de Calor? Escríbala y diga si se demostró esta ley en el experimento.
5. ¿Cuándo decimos que una sustancia es buena conductora del calor y cuándo que es mala?
6. ¿Cuál es el calor específico del hierro encontrado experimentalmente? ¿Cómo es su valor leído en el cuadro 11.3? Si hay diferencia entre los dos valores, ¿qué explicación podría dar a esa diferencia?
7. ¿Quién cedió calor y quién o quiénes lo absorbieron en el experimento?
8. Defina con sus propias palabras el calor específico de una sustancia.

Resumen

1. La *temperatura* es la magnitud física que indica qué tan caliente o fría es una sustancia respecto a un cuerpo que se toma como base o patrón. El *calor* es energía en tránsito y siempre fluye de cuerpos de mayor temperatura a los de menor temperatura.
2. Cuando un cuerpo está muy caliente quiere decir que su temperatura es alta, por ello, tiene un *potencial térmico* alto, en consecuencia será capaz de ceder calor o energía calorífica a otro cuerpo con potencial térmico más bajo.

3. Para medir la temperatura se usa el *termómetro*. El más común es el de mercurio cuyo rango va de −39 ºC a 357 ºC. Los termómetros de alcohol registran temperaturas hasta de −130 ºC. Si la temperatura que se desea medir es alta, se emplean los termómetros metálicos.

4. En la medición de la temperatura actualmente se usan como unidades en el SI al grado *Kelvin* (K), en el CGS al *grado Celsius* (ºC) y el Sistema Inglés, al *grado Fahrenheit* (ºF). Para convertir ºC a K se usa la expresión: K = ºC + 273; para convertir K a ºC se usa la expresión: ºC = K − 273; para convertir ºC a ºF se usa la expresión: ºF = 1.8 ºC + 32; para convertir ºF a ºC se usa la expresión:

$$°C = \frac{°F - 32}{1.8}$$

5. Los cambios de temperatura afectan el tamaño de los cuerpos. La mayoría de ellos se *dilatan* cuando se calientan y se contraen al enfriarse. Los gases se dilatan mucho más que los líquidos y éstos más que los sólidos.

6. Al calentar una barra de metal, ésta sufre una *dilatación cúbica*. Sin embargo, generalmente en los cuerpos sólidos, como alambres, varillas o barras, lo más importante es el aumento de longitud que sufren con la temperatura, es decir, su *dilatación lineal*. El coeficiente de dilatación lineal es el incremento de longitud que experimenta una varilla de determinada sustancia, cuando su temperatura se eleva un grado Celsius y su longitud inicial es de un metro. Para calcular el coeficiente de dilatación lineal se emplea la expresión:

$$\alpha = \frac{L_f - L_0}{L_0\left(T_f - T_0\right)}$$

7. Como la temperatura ambiente varía en forma continua durante el día, en la construcción de vías de ferrocarril, puentes de acero y en general en cualquier estructura rígida, se deben dejar huecos o espacios libres que permita a los materiales dilatarse libremente evitando con ello rupturas o deformaciones.

8. La *dilatación cúbica* implica el aumento de un cuerpo en todas sus dimensiones. El coeficiente de dilatación cúbica es el incremento de volumen que experimenta un cuerpo de determinada sustancia cuyo volumen es igual a la unidad, al elevar un grado Celsius su temperatura. Por lo general, este coeficiente se emplea para los líquidos.

9. El agua presenta una *dilatación irregular*, pues un gramo de ésta a 0 ºC ocupa un volumen de 1.00012 cm^3; si se calienta, en lugar de dilatarse se contrae, por lo que a la temperatura de 4 ºC el agua tiene su volumen mínimo de 1.000 cm^3 y alcanza su densidad máxima. En realidad, durante el invierno la vida de peces y otras especies acuáticas es posible gracias a la dilatación irregular del agua.

10. El *coeficiente de dilatación* cúbica es igual para todos los gases. Cualquier gas, al ser sometido a una presión constante, por cada grado Celsius que cambie su temperatura, variará 1/273 el volumen ocupado a 0 ºC.

11. El calor o energía térmica se propaga siempre de los cuerpos calientes a los fríos de tres diferentes maneras: **a)** *Conducción*, que es la forma de propagación del calor a través de un cuerpo sólido debido al choque entre sus moléculas. **b)** *Convección*, es la propagación del calor en los líquidos y gases mediante la circulación de las masas calientes hacia arriba y las masas frías hacia abajo, provocándose las llamadas corrientes de convección. **c)** *Radiación*, es la propagación del calor por medio de ondas electromagnéticas que se esparcen, aun en el vacío, a una rapidez o magnitud de velocidad aproximada de 300 mil km/s.

12. La energía radiante del Sol se genera por reacciones termonucleares de fusión. La intensidad de la radiación solar representa la potencia de la radiación recibida del Sol en un área de 1 m^2. Su valor es de 0.98 kW/m^2.

13. La energía radiante que nos llega del Sol se aprovecha para: calentar agua, en el funcionamiento de diversos tipos de motores provistos de celdas solares, destiladores solares, desecadores solares, baterías solares.

14. El calor es una de las manifestaciones de la energía y, por tanto, las unidades para medirlo son las mismas que usa el trabajo. Para medir la energía en el SI se usa el joule, en el CGS el ergio. En forma práctica se usan la *caloría* y el BTU. La caloría es la cantidad de calor aplicada a un gramo de agua para elevar su temperatura un grado Celsius. Un BTU es la cantidad de calor aplicada a una libra de agua (454 g) a fin de que eleve su temperatura un grado Fahrenheit.

1 BTU = 252 cal; 1 kcal = 1 000 calorías;
1 joule = 0.24 cal; 1 cal = 4.2 J

15. La capacidad calorífica de una sustancia es la relación que hay entre la cantidad de calor recibida ΔQ y su correspondiente elevación de temperatura ΔT, donde: $C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$ mientras más alto sea el valor de la capacidad calorífica de una sustancia, requerirá mayor cantidad de calor para elevar su temperatura.

16. El *calor específico* de una sustancia se define como: la cantidad de calor que necesita un gra-

mo de una sustancia para elevar su temperatura un grado Celsius. La expresión matemática para calcular el calor específico de una sustancia es: $Ce = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$ en cal/g ºC. De esta expresión se puede despejar al calor ΔQ, donde: $\Delta Q = mCe\Delta T$.

17. Cuando una sustancia se funde, o bien se evapora, absorbe cierta cantidad de calor llamada *calor latente*, que quiere decir oculto, toda vez que existe aunque no se eleve la temperatura y mientras dure la fusión o la evaporación la temperatura no sufrirá ningún cambio.

18. El *calor latente de fusión* de una sustancia es la cantidad de calor necesaria para cambiar un gramo de sólido a un gramo de líquido al mantener constante su temperatura: $\lambda_f = \frac{Q}{m}$. El calor latente de fusión es igual al calor latente de solidificación. El calor latente de vaporización de una sustancia es la cantidad de calor que se requiere para cambiar un gramo de líquido en ebullición a un gramo de vapor, al conservar constante su temperatura $\lambda_v = \frac{Q}{m}$. El calor latente de vaporización tiene un valor igual al calor latente de condensación de una sustancia.

19. La *ley del intercambio de calor* dice: en cualquier intercambio de calor efectuado el calor cedido es igual al calor absorbido. En otras palabras: calor perdido = calor ganado.

20. Todo lo que nos rodea está formado por materia. Aún no es posible dar una definición satisfactoria de qué es la materia, pues lo único que se conoce de ella es su estructura. Los constituyentes elementales de la materia son: protones, electrones y neutrones. Estas partículas generalmente se encuentran asociadas formando átomos. Un átomo es la partícula más pequeña que entra en combinación química. La materia se presenta en cuatro estados de agregación molecular: *sólido, líquido, gaseoso* y *plasma.*

21. Un *gas* se caracteriza porque sus moléculas están muy separadas unas de otras, por tanto, no tienen forma definida y ocupan todo el volumen del recipiente que los contiene. Son fluidos como los líquidos. Todos los gases pueden pasar al estado líquido siempre y cuando se les comprima a una temperatura inferior a su temperatura crítica.

22. Un *gas ideal* es un gas hipotético que permite hacer consideraciones prácticas para facilitar algunos cálculos matemáticos, pues se supone que contiene un número pequeño de moléculas, por ello su densidad es baja y su atracción intermolecular es nula.

23. La *teoría cinética de los gases* considera lo siguiente: un mismo gas está constituido por moléculas de igual masa y tamaño, pero serán diferentes si se trata de gases distintos. Las moléculas de un gas encerrado en un recipiente se encuentran en constante movimiento, debido a ello chocan entre sí o contra las paredes del recipiente que los contiene. Las fuerzas de atracción intermoleculares son despreciables porque la distancia entre molécula y molécula es grande comparada con sus diámetros moleculares, y el volumen ocupado por las moléculas de un gas es despreciable en comparación con el volumen total.

24. *Ley de Boyle:* a una temperatura constante y para una masa dada de un gas, el volumen del gas varía de manera inversamente proporcional a la presión absoluta que recibe. Por tanto: $PV = k$, o bien, $P_1V_1 = P_2V_2$.

25. *Ley de Charles*: a una presión constante y para una masa dada de un gas, el volumen del gas varía de manera directamente proporcional a su temperatura absoluta. Por tanto: $\frac{V}{T} = k'$, o bien, $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$.

26. *Ley de Gay-Lussac*: a un volumen constante y para una masa dada de un gas, la presión absoluta que recibe el gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta. Por tanto:

$$\frac{P}{T} = k'', \quad \text{o bien,} \quad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}.$$

27. *Ley general del estado gaseoso*: para una masa dada de un gas, su relación $\frac{PV}{T}$ siempre será constante.

Por tanto:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

28. La ecuación $PV = nRT$ es una de las más usadas en fisicoquímica, ya que permite realizar varios cálculos al conocer el valor de R llamada constante universal de los gases y cuyo valor es 0.0821 atm ℓ/mol K equivalente a 8.32 J/mol K. La letra n representa el número de moles de un gas que se calcula dividiendo su masa entre su peso molecular, es decir:

$$n = \frac{m}{PM}$$

29. La *termodinámica* es la rama de la Física encargada de estudiar la transformación del calor en trabajo y viceversa. Un sistema termodinámico es una porción de materia que separamos del Universo a fin de poderla estudiar. Para ello, la

aislamos de los alrededores por medio de un límite o frontera. La frontera de un sistema puede estar constituida con paredes diatérmicas o paredes adiabáticas. Una pared diatérmica es la que permite la interacción térmica del sistema con los alrededores. Una pared adiabática no permite esa interacción.

30. Un proceso térmico es *adiabático* cuando el sistema no cede ni recibe calor, por lo que se realiza a calor constante; y es *no adiabático* si el sistema interacciona térmicamente con los alrededores.

31. *Equilibrio termodinámico* entre dos sistemas significa que tienen la misma temperatura.

32. El *punto triple* de una sustancia es aquel en el cual sus tres fases (sólido, líquido y gaseoso) coexisten en equilibrio termodinámico.

33. La *energía interna* de un sistema se define como la suma de las energías cinética y potencial de las moléculas individuales de dicho sistema. En general, cuanto mayor sea la temperatura de un sistema, mayor será su energía interna. Sin embargo, los valores absolutos de la energía interna de las moléculas no se pueden determinar, motivo por el cual sólo se conoce la variación que sufre la energía del sistema mediante la expresión:

$$\Delta U = U_f - U_i$$

34. *Ley cero de la termodinámica*: la temperatura es una propiedad que tiene cualquier sistema termodinámico y existirá equilibrio termodinámico entre dos sistemas cualesquiera, si su temperatura es la misma.

35. El inglés James P. Joule demostró que siempre que se realiza una cierta cantidad de trabajo se produce una cantidad equivalente de calor. Además estableció el principio llamado equivalente mecánico del calor, en el cual se demuestra que por cada joule de trabajo se producen 0.24 calorías y cuando una caloría de energía térmica se convierte en trabajo se obtienen 4.2 joules. Por tanto: 1 cal = 4.2 J y 1 J = 0.24 cal.

36. Cuando un gas se comprime o expande a presión constante (*proceso isobárico*), el trabajo realizado se calcula con la expresión: $T = P\ (V_f - V_i)$, o bien, $T = P\Delta V$. Al realizar un trabajo por los alrededores sobre el sistema, el signo del trabajo es negativo. En la expansión de un gas es el sistema el que efectúa trabajo sobre los alrededores, por lo que el signo es positivo. Cuando en un proceso el volumen del sistema permanece constante (*proceso isocórico*), no se realiza ningún trabajo por el sistema ni sobre éste, pues $\Delta V = 0$ y por tanto: $T = P\Delta V = 0$.

37. *La primera ley de la termodinámica* dice: la variación en la energía interna de un sistema es igual a la energía que transfieren o reciben los alrededores en forma de calor y de trabajo, por ello, la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma. Matemáticamente esta ley se expresa como: $\Delta U = Q - W$. El valor de Q es positivo cuando entra calor al sistema y negativo si sale de él. El valor de W es positivo si el sistema realiza trabajo y negativo si se lleva a cabo sobre él.

38. La *segunda ley de la termodinámica* señala restricciones al decir que existe un límite en la cantidad de trabajo, el cual se puede obtener de un sistema caliente. Existen dos enunciados que definen esta ley, uno del físico alemán *Clausius*: el calor no puede por sí mismo, sin la intervención de un agente externo, pasar de un cuerpo frío a uno caliente; y el otro de Kelvin: es imposible construir una máquina térmica que transforme en trabajo todo el calor que se le suministra.

39. La *entropía* es una magnitud física utilizada por la termodinámica para medir el grado de desorden de la materia. En un sistema determinado la entropía o estado de desorden dependerá de su energía térmica y de cómo se encuentren distribuidas sus moléculas. En el estado sólido la entropía es menor si se compara con la del estado líquido, y en éste menor que en el estado gaseoso.

40. La *tercera ley de la termodinámica*, establecida por el físico y químico alemán Nerst, se enuncia de la siguiente manera: la entropía de un sólido cristalino puro y perfecto puede tomarse como cero, a la temperatura del cero absoluto.

41. Las *máquinas térmicas* son aparatos que se utilizan para transformar la energía calorífica en trabajo mecánico. Existen tres tipos principales de máquinas térmicas: **a)** *máquinas de vapor*, **b)** *motores de combustión interna*, **c)** *motores de reacción*. Independientemente del tipo de máquina térmica, su funcionamiento básico consiste en la dilatación de un gas caliente que después de realizar un trabajo se enfría.

42. La *eficiencia* de una máquina térmica jamás será de un 100%, pues de acuerdo con la Segunda Ley de la Termodinámica es imposible construir una máquina térmica que transforme en trabajo todo el calor que se le suministra. Por definición, la eficiencia o rendimiento de una máquina térmica es la relación entre el trabajo mecánico producido y la cantidad de calor suministrada. Matemáticamente se expresa:

$$\eta = \frac{T}{Q}$$

Como $T = Q_1 - Q_2$ tenemos:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

43. La eficiencia puede ser calculada en función de la relación existente entre la temperatura de la fuente caliente (T_1) y la temperatura de la fuente fría (T_2), ambas medidas en temperaturas absolutas, es decir, en Kelvin, donde:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

44. También se puede calcular la eficiencia de una máquina térmica al dividir la potencia útil o de salida de la máquina entre la potencia total o de entrada de la misma, es decir:

$$E = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}}$$

45. Un refrigerador es una máquina térmica, pero su funcionamiento presenta una característica especial, ya que utiliza el trabajo de un motor para transferir calor de una fuente fría a una caliente.

46. En virtud de que las máquinas térmicas requieren para su funcionamiento del uso de diferentes energéticos, el ser humano al utilizarlas, contamina el suelo, agua y aire.

47. Hay varias fuentes de energía térmica, pero nuestra principal fuente natural es el *Sol*. En la actualidad se aprovecha su energía para suministrar agua caliente destinada al uso doméstico, en algunos edificios y para el funcionamiento de diversos tipos de motores provistos de celdas solares. Se espera que, en tiempo breve, el hombre encuentre la manera de utilizar a gran escala y en forma rentable, la energía del viento (*eólica*), *hidráulica*, *geotérmica* y *mecánica de los mares*. Actualmente se obtiene energía térmica por medio de la energía nuclear, y cada día se instalan más *plantas nucleares* con el fin de producir energía eléctrica.

48. Algunos combustibles de mayor uso y que se caracterizan por arder con desprendimiento de calor cuando se combinan con el oxígeno son: leña, carbón mineral, petróleo, gas natural o metano y gas butano.

49. La característica principal de un combustible es su poder calorífico, el cual se expresa de acuerdo con el número de kilocalorías generadas por la combustión completa de un kilogramo de dicho combustible.

50. Sabemos que es posible transformar continua y totalmente el trabajo en calor, pero sólo una parte de la energía calorífica puede ser transformada en trabajo, mediante la utilización de las máquinas térmicas. Por ello, cuando la energía se convierte en calor, decimos que se ha *degradado*.

Autoevaluación

Escriba en su cuaderno las respuestas a las siguientes preguntas. Si se le presentan dudas al responder vuelva a leer la sección correspondiente del libro, la cual viene señalada al final de cada pregunta para su fácil localización.

1. Explique cuál era la interpretación errónea que hacían del calor los físicos del siglo XVIII. *(Introducción de la unidad 11)*
2. Especifique con un ejemplo de su entorno, la diferencia entre calor y temperatura. *(Sección 1)*
3. Defina qué se entiende por potencial térmico y energía térmica. *(Sección 1)*
4. Describa cuándo es conveniente utilizar un termómetro de mercurio, un termómetro de alcohol y un termómetro de resistencia. *(Sección 2)*
5. Explique en qué se basaron Fahrenheit, Celsius y Kelvin para construir sus escalas termométricas. *(Sección 3)*
6. Escriba las fórmulas que se emplean para convertir °C a K; K a °C; °C a °F y °F a °C. *(Sección 3)*
7. Describa con ejemplos de su entorno, a qué se debe la dilatación de los cuerpos y cómo es la dilatación de los gases comparada con la de los líquidos y sólidos. *(Sección 4)*
8. Defina el concepto de dilatación lineal y de coeficiente de dilatación lineal. *(Sección 4)*
9. Explique por qué es importante considerar los efectos que provoca la dilatación de los cuerpos, al construir cualquier estructura rígida. *(Sección 4)*
10. Exprese los conceptos de dilatación cúbica y de coeficiente de dilatación cúbica. *(Sección 4)*
11. Explique qué se entiende por dilatación irregular del agua y cómo beneficia este fenómeno a la vida de peces y otras especies acuáticas durante el invierno. *(Sección 4)*
12. Describa con un ejemplo de su vida cotidiana cómo es la dilatación de los gases. *(Sección 4)*
13. Describa con ejemplos de su entorno, cada una de las tres formas en que se propaga el calor. *(Sección 5)*
14. Diga en qué unidades se mide el calor en el SI y en el CGS. *(Sección 7)*
15. Expliqué cómo se genera la energía radiante del Sol. *(Sección 6)*
16. ¿Cómo se interpreta la intensidad de la radiación solar? *(Sección 6)*
17. ¿Por qué se calienta más una lata que contiene agua al estar pintada en su interior de negro, que una lata con la misma cantidad de agua, pero pintada de blanco, al exponerse a los rayos solares? *(Sección 6)*
18. Señale qué usos conoce que se le da a la energía que nos llega del Sol. *(Sección 6)*
19. Especifique qué se entiende por caloría y BTU. *(Sección 7)*
20. Exprese qué se entiende por: **a)** Capacidad calorífica; **b)** Calor específico de una sustancia. *(Secciones 8 y 9)*
21. Explique por qué se calienta más rápido 1 kg de plata que 1 kg de agua. *(Sección 9)*
22. Defina los siguientes conceptos: **a)** calor latente; **b)** calor latente de fusión; **c)** calor latente de vaporización. *(Sección 10)*
23. Enuncie la ley del intercambio de calor. *(Sección 11)*
24. Diga para qué se usa el calorímetro de agua y cómo está constituido dicho recipiente. *(Sección 11)*
25. Explique las características de un gas cualquiera. *(Sección 12)*
26. Describa qué le sucede a un gas cuando se le comprime. *(Sección 12)*
27. Explique bajo qué circunstancias un gas puede pasar al estado líquido. *(Sección 12)*
28. Defina qué se entiende por gas ideal y cuáles son sus características. *(Sección 12)*
29. Explique cuáles son las consideraciones principales que hace la teoría cinética de los gases. *(Sección 12)*
30. Enuncie la ley de Boyle y escriba su expresión matemática. *(Sección 12)*
31. Mediante un ejemplo práctico diga cómo demostraría experimentalmente la ley de Boyle. *(Sección 12)*
32. Escriba la ley de Charles y su expresión matemática. *(Sección 12)*
33. Enuncie la ley de Gay-Lussac y escriba su expresión matemática. *(Sección 12)*
34. Mediante un ejemplo práctico diga cómo demostraría experimentalmente la ley de Gay-Lussac. *(Sección 12)*

35 Explique cuál es la ley general del estado gaseoso y qué aplicación práctica tiene. Escriba su expresión matemática. *(Sección 12)*

36 Explique cuál es la constante universal de los gases, cómo se encuentra su valor y por qué es importante en el estudio de la fisicoquímica. *(Sección 12)*

37 Defina el concepto de termodinámica. *(Sección 13)*

38 Mencione qué se entiende por sistema termodinámico, y a qué se le llama paredes diatérmicas y paredes adiabáticas. *(Sección 13)*

39 Explique qué es un proceso termodinámico adiabático y uno no adiabático. *(Sección 13)*

40 Especifique cuándo existirá equilibrio termodinámico entre dos sistemas. *(Sección 13)*

41 Mencione el concepto de punto triple de una sustancia. *(Sección 13)*

42 Describa el concepto de energía interna de un sistema. *(Sección 13)*

43 Enuncie la ley cero de la termodinámica. *(Sección 13)*

44 Explique en qué consiste el principio llamado equivalente mecánico del calor. *(Sección 13)*

45 Diga cuándo se realiza trabajo termodinámico por los alrededores sobre el sistema y cuándo el sistema realiza trabajo sobre los alrededores. *(Sección 13)*

46 Mencione la primera ley de la termodinámica y exprésela matemáticamente. *(Sección 13)*

47 Exprese los dos enunciados principales que definen a la segunda ley de la termodinámica. *(Sección 13)*

48 Comente qué se entiende por muerte térmica del Universo. *(Sección 13)*

49 Exponga el concepto de entropía y enuncie la tercera ley de la termodinámica. *(Sección 13)*

50 Indique qué es una máquina térmica y cuál es el principio básico de cualquier tipo de máquina térmica. *(Sección 13)*

51 Defina el concepto de eficiencia de una máquina térmica y explique por qué nunca podrá ser del 100%. *(Sección 13)*

52 ¿Para qué se usa el refrigerador y en qué consiste su ciclo de funcionamiento? *(Sección 13)*

53 ¿Por qué dañan al suelo, agua y aire las máquinas térmicas? *(Sección 13)*

54 ¿Cómo se produce el ozono en la superficie terrestre y qué consecuencias presenta para nuestra salud? *(Sección 13)*

55 Cite tres fuentes de energía térmica y cuáles son las ventajas y desventajas que presenta el uso de cada una de ellas. *(Sección 13)*

56 ¿Cuáles son las características de los siguientes combustibles: leña, carbón, petróleo, gas natural y gas butano? *(Sección 13)*

57 ¿Cómo se interpreta el poder calorífico de un combustible? *(Sección 13)*

58 Explique qué se entiende por degradación de la energía. *(Sección 13)*

59 ¿Qué puede hacer usted mismo por reducir la contaminación ambiental que produce?

Coevaluación

Instrucciones: Consolide su aprendizaje, para ello lea y conteste en una hoja las siguientes preguntas. Luego, intercambie con un(a) compañero(a) sus respuestas. Coméntenlas, pónganse de acuerdo y den respuestas comunes. Discútanlas con las demás parejas y enriquezcan sus conocimientos con las aportaciones de todos.

1. Usted se encuentra en un campo de fútbol en un día muy frío. ¿Puede afirmar que usted calienta el ambiente? Sí o no. ¿Por qué?

2. ¿Qué sucede con las moléculas de agua contenidas en una olla cuando es calentada en la estufa?

3. Fernando le dice a Humberto que la temperatura es una medida del calor que tiene un cuerpo. ¿Es correcto lo que dice Fernando, sí o no? ¿Por qué?

4. ¿Por qué hay una temperatura mínima que los objetos pueden tener y por qué no hay una temperatura máxima?

5. Raúl pasa una esfera metálica a través de un anillo metálico, después calienta la esfera y observa que ya no pasa a través del anillo.

   a) ¿Cómo explica lo que sucede?

   b) Si Raúl calienta el anillo en lugar de la esfera, ¿qué sucederá con el diámetro interior de la esfera, aumenta, disminuye o sigue igual?

6. ¿En qué situaciones usted es un emisor de ondas electromagnéticas, es decir, de radiaciones caloríficas?

7. Debido a su calor específico 1 kg de agua se calienta más lentamente que 1 kg de arena, ¿cuál de las dos sustancias se enfriará más rápido al disminuir la temperatura? ¿Por qué?

8. Isabel asegura que una pequeña taza de café caliente tiene mayor energía interna que un enorme témpano de hielo. ¿Está en lo correcto Isabel, sí o no y por qué?

9. ¿Por qué deben protegerse contra la congelación los tubos que conducen el agua potable en las localidades donde nieva?

10. ¿Qué sucede con la energía cinética de las moléculas de una sustancia cuando su temperatura va disminuyendo?

11. ¿Qué sucede con la energía interna de un sistema formado por un gas encerrado en un cilindro hermético si se le suministra energía calorífica?

12. Estela explica que independientemente del tipo de máquina térmica de que se trate, ya sea de vapor, motores de combustión interna o motores de reacción, su funcionamiento básico consiste en la dilatación de un gas caliente, mismo que al realizar un trabajo se enfría. ¿Está de acuerdo o no con Estela y por qué?

13. ¿Recomendaría usar la energía eólica, es decir, la energía producida por el movimiento del aire, en su localidad? Sí o no. Explique por qué.

Glosario

Calor
Es la transferencia de energía de una parte a otra de un cuerpo, o entre distintos cuerpos que se encuentren a diferente temperatura. Es energía en tránsito y siempre fluye de cuerpos de mayor temperatura a los de menor temperatura.

Calor específico
Es la cantidad de calor que necesita un gramo de una sustancia para elevar su temperatura un grado centígrado.

Calor latente de fusión y calor latente de solidificación
Es la cantidad de calor que requiere una sustancia para cambiar 1 g de sólido a 1 g de líquido y viceversa, sin variar su temperatura.

Calor latente de vaporización y calor latente de condensación
Es la cantidad de calor que requiere una sustancia para cambiar 1 g de líquido en ebullición a 1 g de vapor, o viceversa, manteniendo constante su temperatura.

Caloría
Es la cantidad de calor aplicado a un gramo de agua para elevar su temperatura 1 °C, de 14.5 a 15.5 °C.

Conducción
Forma de propagación del calor a través de un cuerpo sólido, debido al choque entre las moléculas.

Convección
Es la propagación del calor ocasionado por el movimiento de la sustancia caliente hacia arriba, y la masa de la sustancia fría hacia abajo.

Dilatación
Aumento en el tamaño de los cuerpos al incrementarse su temperatura.

Eficiencia de una máquina térmica
Es la relación entre el trabajo mecánico producido y la cantidad de calor que se le suministra.

Energía interna de un cuerpo o de un sistema
Es la suma de las energías cinética y potencial de las moléculas individuales que lo constituyen.

Entropía
Magnitud física que mide el grado de desorden de la materia.

Equivalente mecánico del calor
Establece que por cada joule de trabajo se producen 0.24 calorías, y que cuando una caloría de energía térmica se transforma en trabajo, se obtienen 4.2 joules.

Gas
Se caracteriza porque sus moléculas están muy separadas, razón por la cual carecen de forma definida y ocupan todo el volumen del recipiente que los contiene. Son sumamente compresibles.

Ley de Boyle
A una temperatura constante y para una masa dada de un gas, el volumen de dicho gas, varía de manera inversamente proporcional a la presión absoluta que recibe.

Ley de Charles
A una presión constante y para una masa dada de gas, el volumen del mismo varía de manera directamente proporcional a su temperatura absoluta.

Ley de Gay-Lussac
A un volumen constante y para una masa determinada de un gas, la presión absoluta que recibe dicho gas, es directamente proporcional a su temperatura absoluta.

Ley del intercambio del calor
En cualquier intercambio de calor efectuado, el calor cedido es igual al calor absorbido.

Máquina térmica
Son aparatos que se utilizan para transformar la energía calorífica en trabajo. Existen tres tipos: máquinas de vapor, motores de combustión interna y motores de reacción.

Poder calorífico de un combustible
Se expresa de acuerdo con el número de kilocalorías generadas por la combustión completa de 1 kg de dicho combustible.

Primera ley de la termodinámica
La variación en la energía interna de un sistema es igual a la energía transferida a los alrededores o por ellos en forma de calor y de trabajo, por lo que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma ($\Delta U = Q - W$).

Proceso isocórico
Es cuando en el sistema permanece constante el volumen.

Proceso térmico adiabático
Es cuando el sistema no cede ni recibe calor.

Proceso térmico no adiabático
Es cuando el sistema interacciona térmicamente con los alrededores.

Punto triple de una sustancia
Es aquél en el cual sus tres fases (sólido, líquido y gaseoso) coexisten en equilibrio termodinámico.

Radiación
Es la propagación del calor por medio de ondas electromagnéticas, esparcidas incluso en el vacío a una magnitud de velocidad aproximada de 300 000 km/s.

Segunda ley de la termodinámica
Tiene dos enunciados: a) El calor no puede por sí mismo, sin la intervención de un agente externo, pasar de un cuerpo frío a uno caliente. b) Es imposible construir una máquina térmica que transforme en trabajo todo el calor que se le suministra.

Sistema termodinámico
Es alguna porción de materia que separamos del resto del universo por medio de un límite o frontera para poder estudiarlo.

Temperatura
Es una magnitud física que indica qué tan caliente o fría está una sustancia, y se mide con un termómetro.

Tercera ley de la termodinámica
La entropía de un sólido cristalino puro y perfecto puede tomarse como cero a la temperatura del cero absoluto.

Termodinámica
Rama de la Física que estudia la transformación del calor en trabajo, y viceversa.

Trabajo termodinámico
Se produce cuando un gas encerrado por un pistón o émbolo se comprime o expande.

UNIDAD 12

CONTENIDO

- Antecedentes históricos de la electricidad
- Carga eléctrica…
- Interacción en cargas de igual o diferente signo
- Formas de electrizar a los cuerpos
- Electroscopio y jaula de Faraday
- Materiales conductores y aislantes
- Unidades de carga eléctrica
- Ley de Coulomb
- Campo eléctrico
- Potencial eléctrico
- Corriente eléctrica
- Fuerza electromotriz
- Conexión de pilas en serie y en paralelo
- Resistencia eléctrica
- Ley de Ohm
- Circuitos eléctricos y conexión de resistencias en serie, en paralelo y mixtas
- Potencia eléctrica…
- Leyes de Kirchhoff
- Capacitores o condensadores eléctricos
- Electroquímica y ley de Faraday de la electrólisis
- Actividades experimentales: 19, 20 y 21
- Resumen
- Autoevaluación
- Coevaluación
- Glosario

¿Ha pensado alguna vez en los cambios que habría en nuestra manera de vivir si por un largo periodo no tuviéramos energía eléctrica? En ocasiones, de seguro le habrá ocurrido lo siguiente: al querer encender el interruptor de algún aparato eléctrico, como la televisión, la radio, la licuadora, o cualquier otro electrodoméstico, con sorpresa y disgusto descubre que el suministro de energía eléctrica está suspendido. Sin embargo, después de un tiempo vemos con satisfacción su restablecimiento. Pero, ¿qué sucede cuando pasan horas, e incluso días, y el suministro de energía eléctrica sigue interrumpido? Seguramente concordará en que gran parte de las comodidades actuales se deben al empleo de la energía eléctrica. Gracias a ella es posible el funcionamiento de dispositivos, máquinas y equipos cuyo empleo ha posibilitado al hombre un amplio estudio sobre los fenómenos naturales y sociales, los cuales influyen en el comportamiento y bienestar humanos. La electricidad es una manifestación de la energía, y para su estudio se ha dividido en:

a) **Electrostática**, estudia las cargas eléctricas en reposo.

b) **Electrodinámica**, estudia las cargas eléctricas en movimiento.

c) **Electromagnetismo**, estudia la relación entre las corrientes eléctricas y el campo magnético.

En esta unidad estudiaremos la electrostática, y comprenderemos por qué un cuerpo tiene carga eléctrica cuando pierde o gana electrones. Mediante la **ley de Coulomb** sabremos que la magnitud de la fuerza eléctrica de atracción o de repulsión entre dos cargas puntuales es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia existente entre ellas. Veremos que una carga eléctrica siempre está rodeada por un campo eléctrico y calcularemos su intensidad. En la parte correspondiente a **electrodinámica se explicará que la corriente eléctrica es un movimiento o flujo de electrones a través de un conductor**. Se analizarán los conceptos de voltaje, resistencia e intensidad de corriente, y los relacionaremos por medio de la **ley de Ohm**. Finalmente, estudiaremos las leyes de Kirchhoff y resolveremos problemas de capacitores o condensadores eléctricos conectados en serie y en paralelo.



Electricidad

1 Antecedentes históricos de la electricidad

La palabra electricidad proviene del vocablo griego *elektron*, que significa ámbar. El ámbar es una resina fósil transparente de color amarillo, producido en tiempos muy remotos por árboles que actualmente son carbón fósil.

Los primeros fenómenos eléctricos fueron descritos por el matemático griego Tales (650-546 a. C.) nacido en Mileto, región situada en el Egeo, costa oeste de lo que hoy es Turquía. Él señalaba que al frotar el ámbar con una piel de gato podía atraer algunos cuerpos ligeros como polvo, cabellos o paja.

El físico alemán Otto de Guericke (1602-1686) construyó la primera máquina eléctrica, cuyo principio de funcionamiento se basaba en el frotamiento de una bola de azufre que al girar producía chispas eléctricas. El holandés Pieter Van Musschenbroek (1692-1761) descubrió la manera de almacenar cargas eléctricas al utilizar la llamada botella de Leyden (figura 12.1), la cual está constituida por una botella de vidrio que actúa como aislante o dieléctrico. Tiene dos armaduras consistentes de un forro o revestimiento metálico exterior y un relleno de papel metálico interior prolongado eléctricamente hacia afuera a través de una varilla metálica que atraviesa un tapón de corcho. La botella de Leyden se carga al sujetar una de sus armaduras y aplicar la otra al conductor de una máquina eléctrica. Si una de sus armaduras después se toca con un conductor, se produce una chispa que descargará parcialmente la botella.



figura 12.1

Botella de Leyden.

El estadounidense **Benjamin Franklin** (1706-1790) observó que cuando un conductor con carga negativa terminaba en punta, los electrones se acumulan en esa región y por repulsión abandonan dicho extremo, fijándose sobre las moléculas de aire o sobre un conductor cercano con carga positiva (o carente de electrones). De la misma manera, un conductor cargado positivamente atrae a los electrones por la punta, arrancándolos de las moléculas de aire cercanas. Estos fenómenos se producen debido al llamado poder de puntas (figura 12.2).

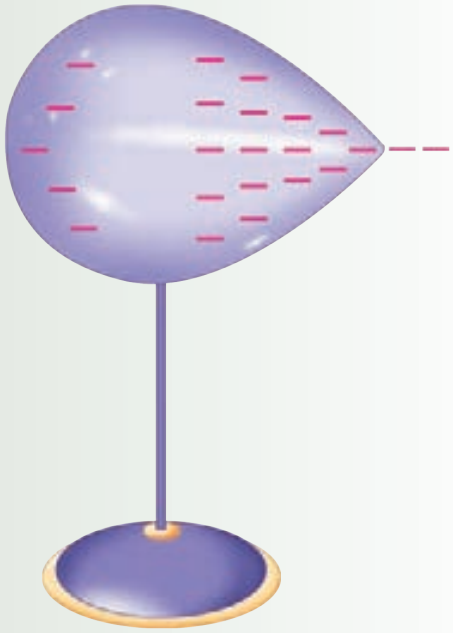


figura 12.2

Poder de puntas. Cuando un conductor eléctrico termina en punta, las cargas eléctricas se acumulan en esa región.

Benjamín Franklin propuso aplicar las propiedades antes descritas en la protección de edificios, mediante la construcción del pararrayos (figura 12.3). Un pararrayos es una larga barra metálica terminada en punta que se coloca en la parte más alta de las construcciones y, por medio de un cable de cobre, se conecta a una plancha metálica enterrada en el suelo húmedo.

Charles Coulomb, científico francés (1736-1806), estudió las leyes de atracción y repulsión eléctrica. En 1777 inventó la balanza de torsión para medir la magnitud de la fuerza de atracción o de repulsión por medio del retorcimiento de una fibra fina y rígida a la vez. Para ello, colocó una pequeña esfera con carga eléctrica a diferentes distancias de otras, también con carga, así logró medir la magnitud de la fuerza de atracción o repulsión de acuerdo con la torsión observada en la balanza.

El físico italiano Alessandro Volta (1745-1827) también contribuyó notablemente al estudio de la electricidad.



figura 12.3

Por medio de un pararrayos, las descargas eléctricas (rayos), que se producen en la atmósfera, se disipan en el suelo.

En 1775 inventó el electróforo, este dispositivo generaba y almacenaba electricidad estática. En 1800 explicó por qué se produce electricidad cuando dos cuerpos metálicos diferentes se ponen en contacto. Aplicó su descubrimiento en la elaboración de la primera pila eléctrica del mundo; para ello, combinó dos metales distintos con un líquido que servía de conductor.

Fue **Georg Ohm**, físico alemán (1789-1854), quien describió la resistencia eléctrica de un conductor, y en 1827 estableció la ley fundamental de las corrientes eléctricas al encontrar la existencia de una relación entre la resistencia de un conductor, la diferencia de potencial y la intensidad de corriente eléctrica.

Por su parte, **Michael Faraday**, físico y químico inglés (1791-1867), descubrió la inducción electromagnética al usar un imán para generar una corriente eléctrica al desplazarlo dentro de una espiral de hierro. Propuso la teoría sobre la electrización por influencia, al señalar que un conductor hueco (jaula de Faraday) forma una pantalla para las acciones eléctricas. A partir del descubrimiento de la inducción electromagnética, Faraday logró inventar el generador eléctrico.

El físico inglés **James Joule** (1818-1889) estudió los fenómenos producidos por las corrientes eléctricas y el calor desprendido en los circuitos eléctricos. Encontró que la cantidad de calor producido por una corriente eléctrica al circular a través de un conductor, es directamente proporcional a la resistencia, al cuadrado de la intensidad de la corriente y al tiempo que ésta dure en pasar.

Otros investigadores han contribuido al desarrollo de la electricidad, entre ellos figuran: el estadounidense **Joseph Henry** (1797-1878), constructor del primer electroimán; el ruso **Heinrich Lenz** (1804-1865), quien enunció la ley relativa al sentido de la corriente inducida; el escocés **James Maxwell** (1831-1879), quien propuso la teoría electromagnética de la luz y las ecuaciones generales del campo electromagnético; el yugoslavo **Nikola Tesla** (1856-1943), inventor del motor asincrónico y estudioso de las corrientes polifásicas, y el inglés **Joseph Thomson** (1856-1940), quien investigó la estructura de la materia y de los electrones.

En los últimos 70 años el estudio de la electricidad ha evolucionado intensamente porque se han comprobado sus ventajas sobre otros tipos de energía; por ejemplo: puede transformarse con facilidad, se transporta de manera sencilla y a grandes distancias a través de líneas aéreas no contaminantes (figura 12.4). También puede utilizarse en forma de corrientes muy potentes para alimentar enormes motores eléctricos, o bien, en pequeñas corrientes a fin de hacer funcionar dispositivos electrónicos.

En la actualidad, en los países desarrollados existen varios medios para producir energía eléctrica: centrales hidroeléctricas, termoeléctricas y nucleoeléctricas; estas últimas tienen la finalidad de evitar el consumo excesivo del petróleo, recurso natural no renovable que sólo debe aprovecharse como materia prima de otros productos, en vez de quemarse para obtener energía calorífica. Aunque los métodos utilizados en la obtención de energía eléctrica son diferentes, es innegable que la electrificación de pequeñas comunidades, pueblos o ciudades, trae consigo un considerable aumento en la producción y bienestar de sus pobladores.



figura 12.4

Las torres de electricidad cruzan por todas partes conduciendo por medio de cables corriente de alto voltaje para uso doméstico e industrial.

Sin embargo, no debemos olvidar la alarmante contaminación que se está produciendo en todo el mundo, al tratar de generar la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de aparatos y motores eléctricos.

2 Carga eléctrica y la ley de la conservación de la carga

Toda la materia, es decir, cualquier tipo de cuerpo, se compone de átomos y éstos de partículas elementales como los electrones, protones y neutrones. Los electrones y los protones tienen una propiedad llamada carga eléctrica (figura 12.5).

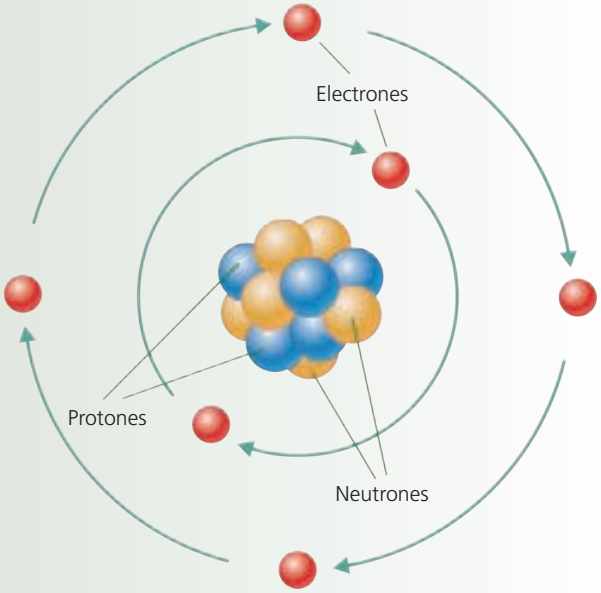


figura 12.5

Un átomo contiene cargas eléctricas; su núcleo está constituido por protones y neutrones.

Los neutrones son eléctricamente neutros porque carecen de carga. Los electrones poseen una carga negativa, mientras los protones la tienen positiva.

El átomo está constituido por un núcleo, en él se encuentran los protones y los neutrones, y a su alrededor giran los electrones. Los átomos de cualquier elemento químico son neutros, ya que tienen el mismo número de protones o cargas positivas y de electrones o cargas negativas. Sin embargo, un átomo puede ganar electrones y quedar con carga negativa, o bien, perderlos y adquirir carga positiva. La masa del protón es casi 2 mil veces mayor a la del electrón, pero la magnitud de sus cargas eléctricas es la misma. Por tanto, la carga de un electrón neutraliza la de un protón.

El frotamiento es una manera sencilla de cargar eléctricamente un cuerpo. Por ejemplo, cuando el cabello se peina con vigor pierde algunos electrones, adquiriendo entonces carga positiva; mientras tanto el peine gana dichos electrones y su carga final es negativa (figura 12.6). Es decir, cuando un objeto se electriza la carga no se crea, pues siempre ha estado ahí, ni se producen nuevos electrones, sólo pasan de un cuerpo a otro. Esta observación posibilita comprender la ley de la conservación de la carga que dice: es imposible producir o destruir una carga positiva sin producir al mismo tiempo una carga negativa de idéntica magnitud; por tanto, la carga eléctrica total del Universo es una magnitud constante, no se crea ni se destruye.



figura 12.6

Los electrones que pierde el cabello los gana el peine. Por tanto, la carga eléctrica no se crea ni se destruye.

3 Interacción entre cargas de igual o diferente signo

Un principio fundamental de la electricidad es el siguiente: cargas del mismo signo se repelen y cargas de signo contrario se atraen. Este principio puede demostrarse fácilmente mediante el empleo de un péndulo eléctrico (figura 12.7), que consiste en una esferilla de médula de saúco o bien una esferilla de unicel sostenida por un soporte con un hilo de seda aislante; también se necesita una barra de vidrio, una de ebonita (material plástico de caucho endurecido con azufre), o bien una regla de plástico y un trapo de lana.

Se procede como sigue: con el trapo de lana se frota vigorosamente la barra de ebonita o la regla de plástico y después se acerca a la esferilla, se observa que ésta se acerca

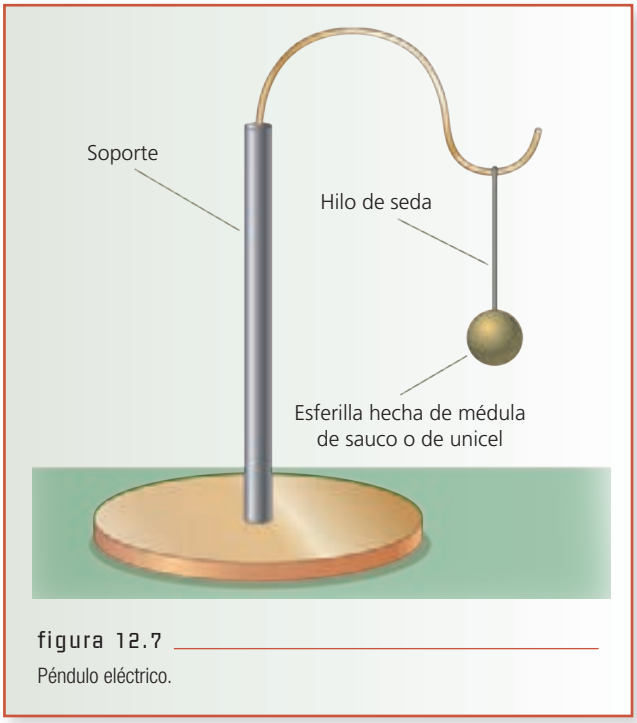


figura 12.7

Péndulo eléctrico.

a la barra de ebonita o a la regla de plástico hasta que entran en contacto. Después se aleja y al acercarse el plástico a la esfera, ésta siempre se aleja (ver siguiente figura).

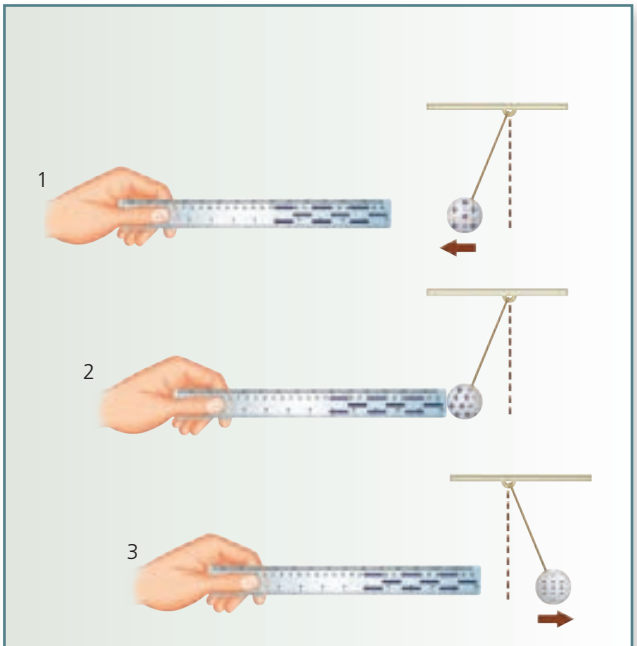


figura 12.8a

Al acercar la barra de ebonita o una regla de plástico a la esfera de médula de sauco o de unicel, primero es atraída (1), después de hacer contacto (2) es rechazada (3).

Para explicar qué sucede, consideraremos lo siguiente. Al frotar el plástico, éste adquiere una propiedad que no tenía y se manifiesta al atraer la esfera; cuando la esfera toca el plástico adquiere también esa propiedad y entonces es rechazada. Después, la barra de vidrio se frota con el trapo de lana y se acerca a la esfera. Se observa que mientras que la esfera era rechazada por la barra de plástico, ahora es atraída por la barra de vidrio hasta tocarse, adquirir la propiedad del vidrio y después ser rechazada. De acuerdo con lo observado, concluimos que la propiedad que adquiere el plástico es diferente de la que adquiere el vidrio. Si denominamos carga eléctrica a dicha propiedad, debemos concluir que ambos quedan cargados, aunque en forma distinta: el vidrio de una, a la que llamamos positiva, y el plástico de otra, a la que denominamos negativa.

El vidrio y el plástico, como hemos señalado, al ser frotados adquieren cargas de distinto signo y, sin embargo, ambos atraen a la esfera del péndulo. Para explicarlo debemos tener en cuenta que la esfera, como toda la materia en estado natural, es eléctricamente neutra porque tiene la misma cantidad de carga eléctrica positiva que negativa.

A medida que acercamos el plástico a la esfera, las cargas de ésta se separan, acercándose las positivas al plástico y alejándose las negativas de él. Al estar más cerca de las cargas positivas, se pone de manifiesto la atracción que existe entre cargas de distinto signo (ver siguiente figura).

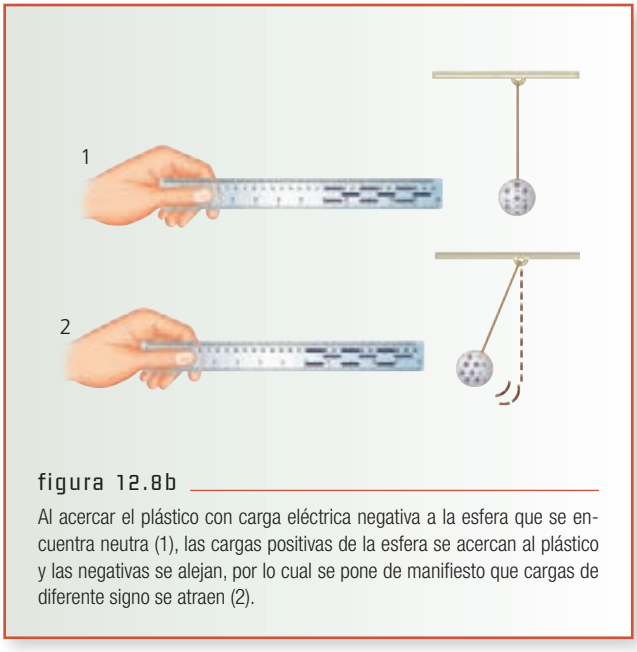


figura 12.8b

Al acercar el plástico con carga eléctrica negativa a la esfera que se encuentra neutra (1), las cargas positivas de la esfera se acercan al plástico y las negativas se alejan, por lo cual se pone de manifiesto que cargas de diferente signo se atraen (2).

Cuando se produce el contacto, la esfera recibe parte de la carga negativa del plástico, por lo que de inmediato es rechazada por éste. Lo anterior demuestra que cargas eléctricas del mismo signo se repelen.

4 Formas de electrizar a los cuerpos

Los cuerpos se electrizan al perder o ganar electrones. Si un cuerpo tiene carga positiva, esto no significa exceso de protones, pues no tienen facilidad de movimiento como los electrones. Por tanto, debemos entender que la carga de un cuerpo es positiva si pierde electrones y negativa, cuando los gana. Los cuerpos se electrizan por:

Frotamiento

Ya señalamos que el frotamiento es una forma sencilla de cargar eléctricamente un cuerpo. En la figura 12.6 se señala que cuando el cabello se peina con vigor, pierde algunos electrones, adquiriendo entonces carga positiva. Mientras tanto, el peine gana dichos electrones y su carga final es negativa. Por tanto, los cuerpos electrizados por frotamiento quedan con cargas opuestas.

Como seguramente ha observado, los cuerpos electrizados por frotamiento producen pequeñas chispas eléctricas, como sucede cuando después de caminar por una alfombra se toca un objeto metálico o a otra persona, o bien, al quitarse el suéter o un traje de lana. Si el cuarto es oscuro las chispas se verán además de oírse. Estos fenómenos se presentan en climas secos o cuando el aire está seco, ya que las cargas electrostáticas se escapan si el aire está húmedo.

Contacto

Este fenómeno de electrización se origina cuando un cuerpo saturado de electrones cede algunos a otro cuerpo con el cual tiene contacto. Pero si un cuerpo carente de electrones, o con carga positiva, se une con otro, atraerá parte de los electrones de dicho cuerpo.

Inducción

Esta forma de electrización se presenta cuando un cuerpo se carga eléctricamente al acercarse a otro ya electrizado. En la figura 12.9 una barra de plástico cargada se acerca a un trozo de papel en estado neutro o descargado; a medida que la barra se aproxima, repele los electrones del papel hasta el lado más alejado del átomo. Así pues, la capa superficial del papel más próxima a la barra cargada, tiene el lado positivo de los átomos, mientras la superficie más alejada tiene el lado negativo. Como la superficie positiva del papel está más cerca a la barra que la superficie negativa, la magnitud de la fuerza de repulsión es menor a la de atracción y la barra cargada atrae el pedazo de papel.

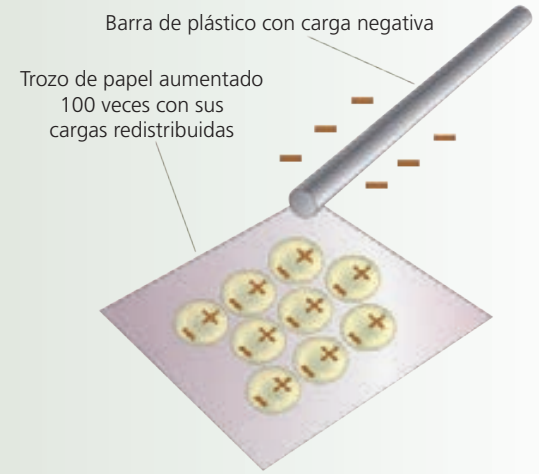


figura 12.9
Electrización del papel por inducción.

El trozo de papel, considerado como un todo, es eléctricamente neutro así como cada uno de sus átomos; pero las cargas se han redistribuido, aunque no hubo contacto entre el papel y la barra, la superficie del papel se cargó a distancia, esto es, por **inducción**. Cuando la barra electrizada se aleja, la carga inducida desaparece. También puede suceder que la barra cargada atraiga al pedazo de papel y éste se adhiera a la barra, pero después se suelta súbitamente; esto sucede porque el papel adquiere una carga negativa al tocar la barra y es repelido por tener la misma carga.

5 Electroscopio y jaula de Faraday

El electroscopio es un aparato que posibilita detectar la presencia de carga eléctrica en un cuerpo e identificar el signo de la misma. Consta de un recipiente de vidrio y un tapón aislador atravesado por una varilla metálica rematada en su parte superior por una esferilla también metálica; en su parte inferior tiene dos laminillas, las cuales pueden ser de oro, aluminio o de cualquier otro metal (figura 12.10). Si se acerca a la esferilla un

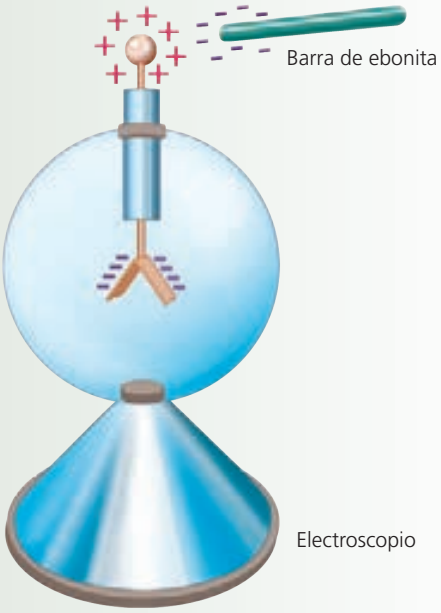


figura 12.10

Cuando la barra de ebonita con carga negativa se acerca al electroscopio, se inducen cargas positivas en la esferilla colectora y cargas negativas en las laminillas, las cuales se rechazan por tener cargas del mismo signo.

cuerpo con carga, la varilla y las laminillas se cargarán por inducción y ya que dos cuerpos con carga de igual signo se rechazan, se separarán una de la otra. Para conocer el signo de la electricidad de un cuerpo, primero se electriza el electroscopio con cargas de signo conocido; entonces se acerca a la esferilla el cuerpo del cual se quiere identificar el signo de la carga, y si ésta es igual, las laminillas se separan aún más, pero se juntan si son de signo contrario.

El físico inglés **Michael Faraday** demostró que en un cuerpo electrizado que se encuentre aislado, las cargas siempre se acumulan en su superficie. Si se trata de una esfera hueca, las cargas eléctricas se distribuirán uniformemente sobre la superficie, pero si la superficie del conductor tiene la forma de un huevo de gallina, las cargas se agrupan en mayor cantidad en las regiones en donde la superficie tiene mayor curvatura. Si el conductor es de forma cúbica, la mayor parte de la carga se localiza en los vértices o aristas del cubo. Faraday construyó una gran caja metálica cubierta que montó sobre soportes aisladores y después la cargó eléctricamente con un generador electrostático (aparato que puede generar cargas eléctricas en forma continua) y expresó las siguientes palabras: "Me metí dentro del cubo y me instalé en él, y usando velas encendidas, electrómetros y otras pruebas de estados de electrización no pude encontrar la mínima influencia sobre ellos... a pesar de que todo el tiempo el exterior del cubo estaba poderosamente cargado, y salían chispas y descargas dispersas de todos los puntos de su superficie exterior".

La caja metálica aislada o jaula de Faraday puede tener una superficie continua o estar constituida por una malla metálica (figura 12.11).



figura 12.11

Jaula de Faraday. Una persona encerrada en una jaula metálica aislada no correrá peligro alguno si toca sus caras interiores aunque esté fuertemente cargada. Pero si toca la superficie exterior puede recibir una fuerte descarga.

Cuando se desea descargar un cuerpo, sólo se requiere ponerlo en contacto con el suelo o, como se dice comúnmente, hacer tierra. Para hacerlo puede utilizarse un alambre o tocar con la mano el cuerpo cargado, para que a través del cuerpo las cargas pasen al suelo. Si un cuerpo con carga negativa hace tierra, los electrones se mueven hacia el suelo; pero si tiene carga positiva atrae electrones del suelo y se neutraliza.

6 Materiales conductores y aislantes

Los materiales conductores de electricidad son aquellos que se electrizan en toda su superficie, aunque sólo se frote un punto de la misma. En cambio, los materiales aislantes o malos conductores de electricidad, también llamados dieléctricos, sólo se electrizan en los puntos donde hacen contacto con un cuerpo cargado, o bien, en la parte frotada.

En general, los materiales son aislantes si al electrizarlos por frotamiento y sujetarlos con la mano, conservan su carga aun estando conectados con el suelo por medio de algún cuerpo. Los materiales son conductores si se electrizan por frotamiento sólo cuando no están sujetos por la mano y se mantienen apartados del suelo por medio de un cuerpo aislante (figura 12.12).

Algunos ejemplos de materiales aislantes son: la madera, el vidrio, el caucho, las resinas y los plásticos, la porcelana, la seda, la mica y el papel. Como conductores tenemos a todos los metales, soluciones de ácidos, bases y sales disueltas en agua, así como el cuerpo humano. Cabe mencionar que no hay un material 100% conductor ni un material 100% aislante; en realidad, todos los cuerpos son conductores eléctricos, pero unos lo son más que otros; por eso es posible hacer, en términos prácticos, una clasificación como la anterior. Aún más, entre conductores y aislantes existen otros materiales intermedios llamados semiconductores, como el carbón, germanio y silicio contaminados con otros elementos, y los gases húmedos.



figura 12.12

En los cables que se utilizan para pasar corriente de un automóvil a otro se observa que las terminales son de cobre (conductor) y se encuentran aisladas con forro plástico.

7 Unidades de carga eléctrica

Como ya señalamos, un cuerpo tiene carga negativa si tiene exceso de electrones, y carga positiva si tiene carencia o déficit de ellos. Por tal motivo, la unidad elemental para medir carga eléctrica es el electrón, pero como es una unidad muy pequeña se utilizan unidades prácticas de acuerdo con el sistema de unidades empleado.

En el Sistema Internacional (SI) se utiliza el coulomb (C). Un coulomb representa la carga eléctrica que tienen 6 trillones 240 mil billones de electrones, es decir:

$$1 \text{ coulomb} = 1 \text{ C} = 6.24 \times 10^{18} \text{ electrones}$$

Por tanto, si un cuerpo tuviera una carga negativa de un coulomb, significaría que tiene un exceso de 6.24×10^{18} electrones; o una carencia de igual cantidad de electrones, si su carga fuera positiva. El coulomb es una unidad de carga eléctrica muy grande, por lo cual es común utilizar submúltiplos, como el milicoulomb ($\text{mC} = 1 \times 10^{-3}$ C), el microcoulomb ($\mu\text{C} = 1 \times 10^{-6}$ C) o el nanocoulomb ($\text{nC} = 1 \times 10^{-9}$ C).

La carga de un electrón y un protón expresada en coulombs es la siguiente:

$$1 \text{ electrón} = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$1 \text{ protón} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

8 Ley de Coulomb

El científico francés Charles Coulomb estudió las leyes que rigen la atracción y repulsión de dos cargas eléctricas puntuales en reposo. (Una carga puntual es la que tiene distribuida un cuerpo electrizado, cuyo tamaño es pequeño comparado con la distancia que existe entre otro cuerpo cargado eléctricamente. Otra característica de la carga puntual es que su valor de carga también es pequeño y toda la carga del cuerpo se encuentra reunida en su centro.) Para ello, en 1777 inventó la balanza de torsión, ésta cuantificaba la magnitud de la fuerza de atracción o repulsión por medio del retorcimiento de un alambre de plata rígido (figura 12.13). Colocó una pequeña esfera con carga eléctrica a diversas distancias de otra también cargada, así logró medir la magnitud de la fuerza de atracción o repulsión según la torsión observada en la balanza.

Coulomb observó que a mayor distancia entre dos cuerpos cargados eléctricamente, menor es la magnitud de

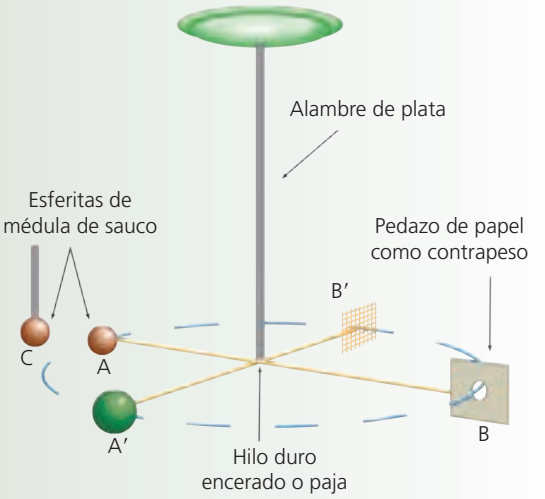


figura 12.13

Balanza de torsión. Cuando Coulomb puso cargas del mismo signo en A y en C, A giró por la repulsión entre cargas iguales. Conociendo cómo calcular la magnitud de la fuerza de torsión sobre el alambre, calculó las magnitudes de las fuerzas eléctricas producidas en su experimento.

la fuerza de atracción o repulsión. Pero la magnitud de la fuerza no se reduce en igual proporción al incremento de la distancia, sino respecto al cuadrado de la misma. Así, por ejemplo, si entre dos cargas eléctricas separadas por 1 cm hay una magnitud de la fuerza de repulsión de 2 newtons; al aumentar la distancia a 2 cm la magnitud de la fuerza se reducirá no a la mitad, sino a la cuarta parte, por lo cual será de 0.5 newton. Si la distancia aumentara tres veces, la magnitud de la fuerza se vuelve nueve veces menor; si se cuadruplica, la magnitud de la fuerza se vuelve 16 veces menor y así sucesivamente.

Coulomb también descubrió que la magnitud de la fuerza eléctrica de atracción o repulsión entre dos cuerpos cargados aumenta de modo proporcional al producto de sus cargas. Por tanto, si una carga duplica su valor, la fuerza también se duplica; y si además la otra carga se triplica, la magnitud de la fuerza entre las cargas sería seis veces mayor.

De acuerdo con sus observaciones, Coulomb estableció: la magnitud de la fuerza F de atracción o repulsión entre dos cargas puntuales, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia r que las separa; de donde:

$$F\alpha\frac{1}{r^2} \qquad (1)$$

Notó además que la magnitud de la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales es directamente proporcional al producto de sus cargas:

$$F\alpha q_1 q_2 \qquad (2)$$

Al relacionar las ecuaciones 1 y 2 tenemos:

$$F\alpha\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad (3)$$

Podemos transformar esta relación en una igualdad si cambiamos el signo de proporcionalidad α por un signo de igual e incluimos una constante de proporcionalidad que simplemente pudiera ser k, pero que en ocasiones se escribe como $1/4\pi\varepsilon_0$; así, la expresión matemática de la ley de Coulomb será:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad (4)$$

donde ε_0 recibe el nombre de **constante de permitividad en el vacío** y cuyo valor es igual a:

$$\varepsilon_0 = 8.85418 \times 10^{-12}\ \mathrm{C^2/Nm^2}$$

para facilitar la aplicación de la expresión matemática de la ley de Coulomb, tenemos lo siguiente:

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

$$= \frac{1}{4 \times 3.1416 \times 8.85418 \times 10^{-12}\ \mathrm{C^2/Nm^2}}$$

$$= 0.00899 \times 10^{12}\ \mathrm{Nm^2/C^2}$$

Cantidad que redondeada será:

$$= 9 \times 10^9\ \mathrm{Nm^2/C^2}$$

Por tanto, simplificando nuestra ecuación 4, la expresión matemática de la ley de Coulomb para el vacío queda simplemente como:

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad (5)$$

Como ya señalamos, la constante de proporcionalidad k tendrá un valor en el Sistema Internacional de Unidades (SI) de:

$$k = 9 \times 10^9\ \mathrm{Nm^2/C^2}$$

Finalmente, la ley de Coulomb queda enunciada en los siguientes términos: la magnitud de la fuerza eléctrica de atracción o repulsión entre dos cargas puntuales, q_1 y q_2, es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia r que las separa.

Puede observarse que la ley de Coulomb es similar a la ley de la gravitación universal. Sin embargo, las fuerzas debidas a la gravedad siempre son de atracción, mientras las fuerzas eléctricas pueden ser de atracción

o repulsión; además, **las eléctricas son más intensas que las ocasionadas por la gravedad** (figura 12.14).



figura 12.14

En una instalación de alto voltaje, al aplicarle 3.5 millones de voltios el aire se ioniza, convirtiéndose en conductor y provocando una chispa eléctrica de casi 5 m de largo.

La ecuación 5 de la ley de Coulomb sólo es válida cuando las cargas se encuentran en el vacío, o en forma aproximada si están en el aire. Pero si entre las cargas existe una sustancia o medio aislante, la magnitud de la fuerza eléctrica de interacción en éstas sufrirá una disminución, la cual será mayor o menor dependiendo del medio. La relación que existe entre la magnitud de la fuerza eléctrica de dos cargas en el vacío y la magnitud de la fuerza eléctrica de estas mismas cargas sumergidas en algún medio o sustancia aislante, recibe el nombre de permitividad relativa o coeficiente dieléctrico ε_r, de dicho medio o sustancia; por tanto:

$$\varepsilon_r = \frac{F}{F'}$$

donde: ε_r = permitividad relativa del medio (adimensional)

F = magnitud de la fuerza eléctrica entre las cargas en el vacío en newtons (N)

F' = magnitud de la fuerza eléctrica entre las mismas cargas colocadas en el medio en newtons (N)

En el cuadro 12.1 se listan algunos valores de permitividad relativa para algunos medios. Observe que la permitividad relativa del aire casi es igual a la del vacío; por ello, al resolver problemas de cargas eléctricas en el aire, las consideraremos como si se encontraran en el vacío.

cuadro 12.1	Permitividad relativa de algunos medios
Medio aislador	Permitividad relativa ε_r
Vacío	1.0000
Aire	1.0005
Gasolina	2.35
Aceite	2.8
Vidrio	4.7
Mica	5.6
Glicerina	45
Agua	80.5

Resolución de problemas de la ley de Coulomb

Nota: Los resultados se expresarán siempre con una cifra entera, modificando la potencia de base 10 cuando sea necesario.

1 Calcular la magnitud de la fuerza eléctrica entre dos cargas cuyos valores son: $q_1 = 2$ milicoulombs, $q_2 = 4$ milicoulombs, al estar separadas en el vacío por una distancia de 30 cm.

Solución:

Datos

$F = ?$

$q_1 = 2$ mC

$q_2 = 4$ mC

$r = 30$ cm $= 0.3$ m

$k = 9 \times 10^9$ N m^2/C^2

Fórmula

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Sustitución y resultado

$$F = \left(9\times10^{9}\ \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}\right)\frac{(2\times10^{-3}\ \text{C})(4\times10^{-3}\ \text{C})}{(0.3\ \text{m})^2}$$

$$= 8 \times 10^5\ \text{N}$$

2 Determinar la magnitud de la fuerza eléctrica entre dos cargas cuyos valores son: $q_1 = -3$ mi-

crocoulombs, $q_2 = 4$ microcoulombs, al estar separadas en el vacío por una distancia de 50 cm.

Solución:

Datos **Fórmula**

$F = ?$ $F = k\dfrac{q_1 q_2}{r^2}$

$q_1 = -3\ \mu C$

$q_2 = 4\ \mu C$

$r = 50\ cm = 0.5\ m$

$k = 9 \times 10^9\ Nm^2/C^2$

Sustitución y resultado

$$F = \left(9 \times 10^9\ \frac{Nm^3}{C^2}\right)\frac{(-3 \times 10^{-6}\ C)(4 \times 10^{-6}\ C)}{(0.5\ m)^2}$$

$$= -4.32 \times 10^{-1}\ N$$

El signo menos indica que se trata de una fuerza de atracción. Cuando el signo es positivo la fuerza es de repulsión.

3 Una carga de −3 nanocoulombs se encuentra en el aire a 0.15 m de otra carga de −4 nanocoulombs.

Calcular:

a) ¿Cuál es la magnitud de la fuerza eléctrica entre ellas?

b) ¿Cuál sería la magnitud de la fuerza eléctrica entre ellas si estuvieran sumergidas en aceite?

Solución:

Datos **Fórmulas**

$q_1 = -3 \times 10^{-9}\ C$ $F = k\dfrac{q_1 q_2}{r^2}$

$q_2 = -4 \times 10^{-9}\ C$

$r = 0.15\ m$ $\varepsilon_r = \dfrac{F}{F'} \therefore F' = \dfrac{F}{\varepsilon_r}$

$k = 9 \times 10^9\ Nm^2/C^2$

$F = ?$

$F'_{aceite} = ?$

Sustitución y resultados

a) $$F = \left(9 \times 10^9\ \frac{Nm^2}{C^2}\right)\frac{(-3 \times 10^{-9}\ C)(-4 \times 10^{-9}\ C)}{(0.15\ m)^2}$$

$$= 4.8 \times 10^{-6}\ N$$

b) Si estuvieran sumergidas en aceite cuya permitividad relativa ε_r es de 2.8 (leída en el cuadro 12.1), la magnitud de la fuerza eléctrica F' en el aceite se calcula de la siguiente manera:

$$\varepsilon_r = \frac{F}{F'} \therefore F' = \frac{F}{\varepsilon_r}$$

$$F' = \frac{4.8 \times 10^{-6}\ N}{2.8} = 1.71 \times 10^{-6}\ N$$

Nota: La magnitud de la fuerza eléctrica de repulsión entre las cargas disminuye al estar sumergidas en aceite.

4 Una carga eléctrica de 2 μC se encuentra en el aire a 60 cm de otra carga. La magnitud de la fuerza con la cual se rechazan es de 3×10^{-1} N. ¿Cuánto vale la carga desconocida?

Solución:

Datos **Fórmula**

$q_1 = 2 \times 10^{-6}\ C$ $F = k\dfrac{q_1 q_2}{r^2}$

$r = 60\ cm = 0.6\ m$ Despeje por pasos

$F = 3 \times 10^{-1}\ N$ $Fr^2 = k\, q_1 q_2 \therefore$

$q_2 = ?$ $q_2 = \dfrac{Fr^2}{kq_1}$

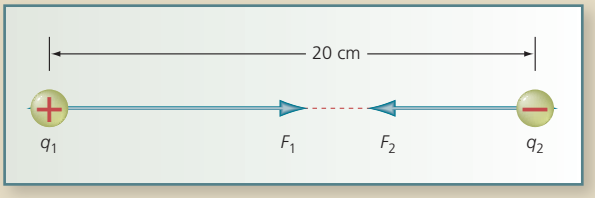
$k = 9 \times 10^9\ Nm^2/C^2$

Sustitución y resultado

$$q_2 = \frac{(3 \times 10^{-1}\ N)(0.6\ m)^2}{\left(9 \times 10^9\ \frac{Nm^2}{C^2}\right)(2 \times 10^{-6}\ C)}$$

$$= 6 \times 10^{-6}\ C = 6\ \mu C$$

5 Una carga de 5 μC se encuentra en el aire a 20 cm de otra carga de −2 μC como se aprecia a continuación:



Calcular

a) ¿Cuál es la magnitud de la fuerza F_1 ejercida por q_2 sobre q_1?

b) ¿La magnitud de la fuerza F_2 ejercida por q_1 sobre q_2 es igual o diferente a F_1?

c) ¿Cuál sería la magnitud de la fuerza eléctrica entre las cargas si estuvieran sumergidas en agua?

Solución:

Datos

$q_1 = 5 \times 10^{-6}$ C

$q_2 = -2 \times 10^{-6}$ C

$r = 20$ cm $= 0.2$ m

a) $F_1 = ?$

b) $F_2 = ?$

c) $F'_{\text{en el agua}} = ?$

Fórmulas

a) $F = k\dfrac{q_1 q_2}{r^2}$

b) $\varepsilon_r = \dfrac{F}{F'} \therefore F' = \dfrac{F}{\varepsilon_r}$

Sustitución y resultado

a) La magnitud de la fuerza F_1 ejercida sobre q_1 por q_2 es igual a:

$$F_1 = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$F_1 = \left(9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}\right)\frac{(5 \times 10^{-6}\ \text{C})(-2 \times 10^{-6}\ \text{C})}{(0.2\ \text{m})^2}$$

$$= -2.25\ \text{N}$$

b) La magnitud de la fuerza F_2 ejercida por q_1 sobre q_2 es exactamente igual a la magnitud de la fuerza F_1 ejercida por q_2 sobre q_1. Esto sucede porque de acuerdo con la tercera ley de Newton, las fuerzas F_1 y F_2 forman una pareja de acción y reacción, por ello actúan en la dirección o línea de acción que las une, pero apuntando en sentidos contrarios. En conclusión, no importa que el valor de las cargas q_1 y q_2 sea diferente, la magnitud de la fuerza con que q_1 atrae a q_2 es igual a la magnitud de la fuerza con que q_2 atrae a q_1, pero con sentido contrario.

c) Si las cargas estuvieran sumergidas en agua, cuya permitividad relativa ε_r es de 80.5 (leída en el cuadro 12.1) la magnitud de la fuerza eléctrica F' con la que se atraerían es igual a:

$$\varepsilon_r = \frac{F}{F'} \therefore F' = \frac{F}{\varepsilon_r}$$

$$F' = \frac{2.25\ \text{N}}{80.5} = 0.0279\ \text{N} = 2.79 \times 10^{-2}\ \text{N}$$

6 Determine la distancia a la que se encuentran dos cargas eléctricas de 7×10^{-8} C, al rechazarse con una fuerza cuya magnitud es de 4.41×10^{-3} N.

Solución:

Datos

$r = ?$

$q_1 = 7 \times 10^{-8}$ C

$q_2 = 7 \times 10^{-8}$ C

$F = 4.41 \times 10^{-3}$ N

$k = 9 \times 10^9\ \text{Nm}^2/\text{C}^2$

Fórmula

$F = k\dfrac{q_1 q_2}{r^2}$

Despeje por pasos

$Fr^2 = kq_1 q_2 \therefore$

$r^2 = \dfrac{kq_1 q_2}{F}$

Sustitución y resultado

$$r^2 = \frac{\left(9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}\right)(7 \times 10^{-8}\ \text{C})(7 \times 10^{-8}\ \text{C})}{4.41 \times 10^{-3}\ \text{N}}$$

$$= 100 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$$

$$r = \sqrt{100 \times 10^{-4}\ \text{m}^2}$$

$$= 10 \times 10^{-2}\ \text{m}^2 = 1 \times 10^{-1}\ \text{m} = 0.1\ \text{m} = 10\ \text{cm}$$

7 En un átomo de hidrógeno, un electrón gira alrededor de un protón en una órbita de radio igual a 5.3×10^{-11} m. ¿Con qué magnitud de fuerza eléctrica se atraen el protón y el electrón?

Solución:

Datos

$q_1 = -1.6 \times 10^{-19}$ C

(carga del electrón)

$q_2 = 1.6 \times 10^{-19}$ C

(carga del protón)

$r = 5.3 \times 10^{-11}$ m

$k = 9 \times 10^9\ \text{Nm}^2/\text{C}^2$

$F = ?$

Fórmula

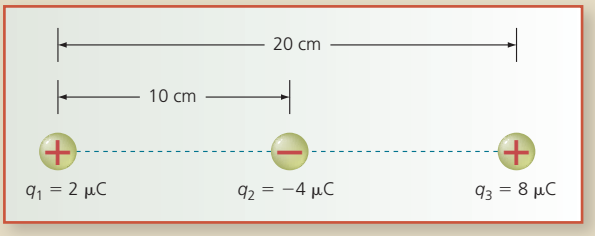
$F = k\dfrac{q_1 q_2}{r^2}$

Sustitución y resultado

$$F = \left(9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}\right)\frac{(-1.6 \times 10^{-19}\ \text{C})(1.6 \times 10^{-19}\ \text{C})}{(5.3 \times 10^{-11}\ \text{m})^2}$$

$$= -8.2 \times 10^{-8}\ \text{N}$$

8 Una carga $q_1 = 2\ \mu\text{C}$ se encuentra a una distancia de 20 cm de otra carga $q_3 = 8\ \mu\text{C}$, como se ve en la figura. Determinar la magnitud de la fuerza resultante y su sentido, sobre una carga $q_2 = -4\ \mu\text{C}$ al ser colocada en medio de las otras dos cargas.



Solución:

Datos

$q_1 = 2 \times 10^{-6}\ \text{C}$

$q_2 = -4 \times 10^{-6}\ \text{C}$

$q_3 = 8 \times 10^{-6}\ \text{C}$

$r = 10\ \text{cm}$

$k = 9 \times 10^9\ \text{Nm}^2/\text{C}^2$

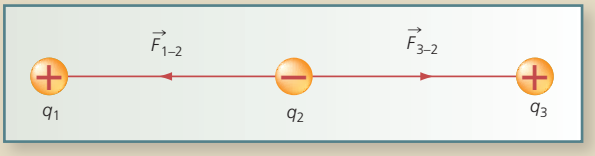
$F_{R\ \text{sobre}\ q_2} = ?$

Fórmulas

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$\vec{F}_R = \Sigma\vec{F}_{1-2} + \vec{F}_{3-2}$$

Para encontrar la magnitud de la fuerza resultante sobre q_2, observamos que sobre esta carga actúan dos fuerzas, una a causa de q_1 ($\vec{F}_{1-2}$) y otra debida a q_3 ($\vec{F}_{3-2}$). De acuerdo con el principio de superposición de las fuerzas eléctricas, la fuerza resultante que experimenta una carga eléctrica es igual a la suma vectorial de las fuerzas eléctricas que cada una produce. Por tanto, la fuerza resultante sobre q_2 será igual a la suma vectorial de la fuerza producida por q_1 y q_3.



Cálculo de la magnitud de la fuerza causada por q_1:

$$F_{1-2} = \left(9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}\right)\frac{(2 \times 10^{-6}\ \text{C})(-4 \times 10^{-6}\ \text{C})}{(0.1\ \text{m})^2}$$

$$= -7.2\ \text{N}$$

(fuerza de atracción con sentido hacia la izquierda).

Cálculo de la magnitud de la fuerza debida a q_3:

$$F_{3-2} = \left(9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}\right)\frac{(8 \times 10^{-6}\ \text{C})(-4 \times 10^{-6}\ \text{C})}{(0.1\ \text{m})^2}$$

$$= -28.8\ \text{N}$$

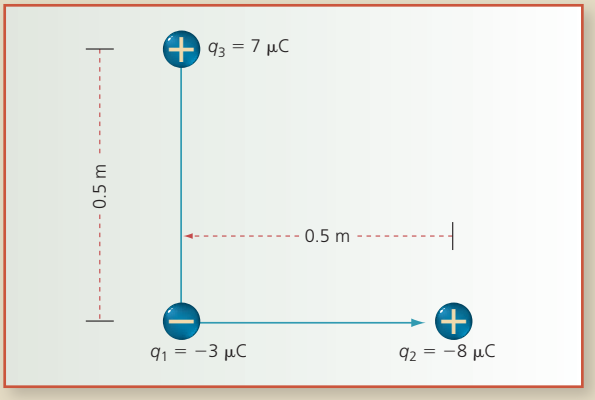
(fuerza de atracción con sentido hacia la derecha).

Cálculo de la magnitud de la fuerza resultante y determinación de su sentido: como las dos fuerzas actúan en la misma línea de acción pero con sentido contrario, la fuerza resultante será la diferencia de las dos fuerzas y el sentido, el que tenga la fuerza causada por q_3 ($\vec{F}_{3-2}$) (a la derecha), pues es mayor la magnitud de su fuerza de atracción que la proporcionada por q_1 ($\vec{F}_{1-2}$).

$$F_R = F_{3-2} - F_{1-2} = 28.8\ \text{N} - 7.2\ \text{N}$$

$$\vec{F}_R = 21.6\ \text{N hacia la derecha}$$

9 Una carga $q_1 = -3\ \mu\text{C}$ recibe una fuerza de atracción debido a dos cargas $q_2 = 8\ \mu\text{C}$ y $q_3 = 7\ \mu\text{C}$, que se encuentran distribuidas como señala la siguiente figura. Determinar la magnitud de la fuerza eléctrica resultante que actúa sobre q_1, así como el ángulo que forma respecto al eje horizontal.



Solución:

Datos

$q_1 = -3\ \mu\text{C}$

$q_2 = 8\ \mu C$

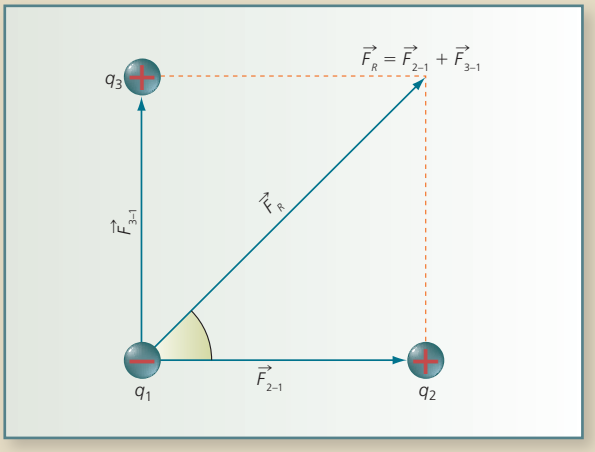
$q_3 = 7\ \mu C$

$r = 0.5\ m$

$k = 9 \times 10^9\ Nm^2/C^2$

$F_{R \text{ sobre } q_1} = ?$

La carga q_1 se encuentra sujeta a dos fuerzas eléctricas de atracción, una debida a q_2 ($\vec{F}_{2-1}$) y otra debida a q_3 ($\vec{F}_{3-1}$) como se ve en el siguiente diagrama de fuerzas eléctricas:



Para encontrar la magnitud de la resultante calculamos primero la magnitud de la fuerza $\vec{F}_{2-1}$, después la magnitud de la fuerza $\vec{F}_{3-1}$, y finalmente aplicamos el teorema de Pitágoras. El ángulo α se determinará con la función trigonométrica tangente.

$$F_{2-1} = \left(9 \times 10^9\ \frac{Nm^2}{C^2}\right)\frac{(8 \times 10^{-6}\ C)(-3 \times 10^{-6}\ C)}{(0.5\ m)^2}$$

$$= -8.64 \times 10^{-1}\ N$$

$$F_{3-1} = \left(9 \times 10^9\ \frac{Nm^2}{C^2}\right)\frac{(7 \times 10^{-6}\ C)(-3 \times 10^{-6}\ C)}{(0.5\ m)^2}$$

$$= -7.56 \times 10^{-1}\ N$$

Nota: Recuerde que el signo (−) sólo indica que la fuerza eléctrica es de atracción, por tanto, en nuestra aplicación del teorema de Pitágoras y en el cálculo del ángulo α se puede omitir:

$$F_R = \sqrt{F_{2-1}^{\ 2} + F_{3-1}^{\ 2}}$$

$$F_R = \sqrt{(8.64 \times 10^{-1}\ N)^2 + (7.56 \times 10^{-1}\ N)^2}$$

$$= \sqrt{131.8 \times 10^{-2}\ N^2}$$

$$= 11.48 \times 10^{-1}\ N = 1.148\ N$$

Cálculo del ángulo de la resultante:

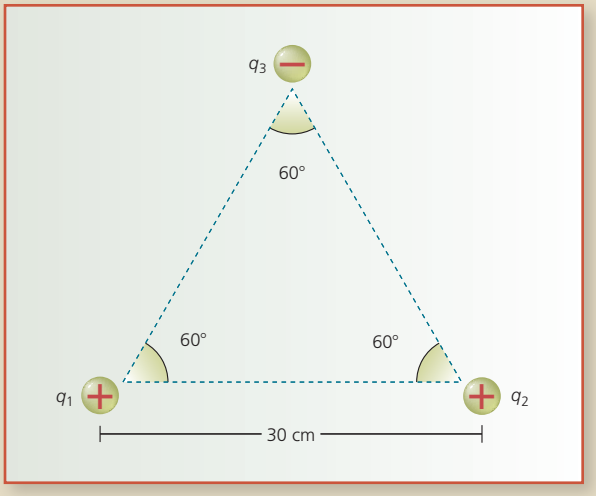
$$\tan \alpha = \frac{F_{3-1}}{F_{2-1}} = \frac{7.56 \times 10^{-1}\ N}{8.64 \times 10^{-1}\ N}$$

$$\tan \alpha = 0.875$$

α = ángulo cuya tangente es 0.875

$\alpha = 41.2° = 41°\ 12'$

10 Tres cargas cuyos valores son: $q_1 = 3\ \mu C$, $q_2 = 3\ \mu C$ y $q_3 = -3\ \mu C$, están colocadas en los vértices de un triángulo equilátero que mide 30 cm en cada uno de sus lados, como se ve en la figura. Determine la magnitud de la fuerza resultante sobre la carga q_2, así como el ángulo α que forma respecto al eje horizontal.



Solución:

Datos

$q_1 = 3 \times 10^{-6}\ C$

$q_2 = 3 \times 10^{-6}\ C$

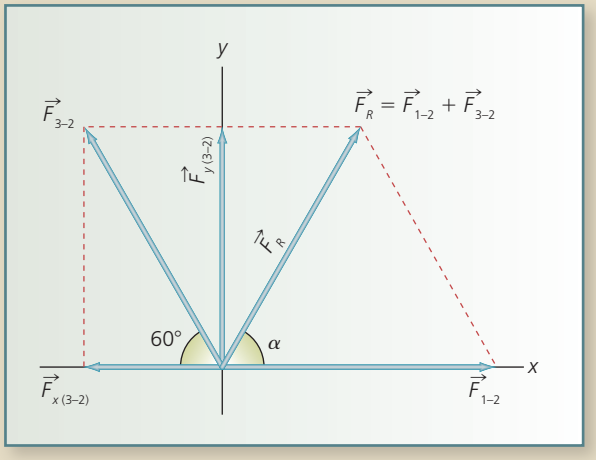
$q_3 = -3 \times 10^{-6}\ C$

$r = 30\ cm = 0.3\ m$

$k = 9 \times 10^9\ Nm^2/C^2$

$F_{R \text{ sobre } q_2} = ?$

La carga q_2 se encuentra sujeta a dos fuerzas eléctricas, una de repulsión resultado de q_1 ($\vec{F}_{1-2}$) y otra de atracción debida a q_3 ($\vec{F}_{3-2}$), como se ve en el siguiente diagrama de fuerzas eléctricas:



Para encontrar la resultante, primero calculamos la magnitud de la fuerza $\vec{F}_{1-2}$, que será igual a la magnitud de la fuerza $\vec{F}_{3-2}$, pues las cargas son iguales. Después encontraremos la magnitud de la componente en X y en Y de la fuerza $\vec{F}_{3-2}$ ($\vec{F}_{1-2}$ sólo tiene componente en X). Si conocemos las magnitudes de todas las componentes en X y en Y, debemos hacer la suma de éstas en X y en Y para que el sistema original de fuerzas se reduzca a dos fuerzas perpendiculares entre sí: una que represente la resultante de todas las componentes en X y otra, la resultante de todos los componentes, en Y. Finalmente, encontraremos la magnitud de la resultante de las dos fuerzas perpendiculares utilizando el teorema de Pitágoras y el ángulo que forma la resultante con la horizontal, por medio de la función tangente.

Cálculo de la magnitud de la fuerza eléctrica $F_{1-2} = F_{3-2}$:

$$F_{1-2} = \left(9 \times 10^9 \ \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}\right)\frac{(3 \times 10^{-6}\ \text{C})(3 \times 10^{-6}\ \text{C})}{(0.3\ \text{m})^2}$$

$$F_{1-2} = F_{3-2} = 9 \times 10^{-1}\ \text{N}$$

Cálculo de las componentes en X y en Y de la fuerza F_{3-2}

$$-F_{x\,(3-2)} = -F_{3-2} \cos 60° = -9 \times 10^{-1}\ \text{N} \times 0.5$$
$$= -4.5 \times 10^{-1}\ \text{N}$$

(negativa porque va a la izquierda)

$$F_{Y(3-2)} = F_{3-2} \operatorname{sen} 60° = 9 \times 10^{-1}\ \text{N} \times 0.8660$$
$$= 7.794 \times 10^{-1}\ \text{N}$$

Cálculo de la resultante de la suma de todas las componentes en X y en Y.

$$R_x = \Sigma F_x = F_{1-2} + (-F_{x(3-2)})$$

$$R_x = 9 \times 10^{-1}\ \text{N} - 4.5 \times 10^{-1}\ \text{N} = 4.5 \times 10^{-1}\ \text{N}$$

$$R_y = F_{Y(3-2)} \text{ (única componente en } Y)$$
$$= 7.794 \times 10^{-1}\ \text{N}$$

Cálculo de la magnitud de la resultante aplicando el teorema de Pitágoras:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

$$R = \sqrt{(4.5 \times 10^{-1}\ \text{N})^2 + (7.749 \times 10^{-1}\ \text{N})^2}$$

$$= \sqrt{81 \times 10^{-2}\ \text{N}^2} \ = 9 \times 10^{-1}\ \text{N}$$

Cálculo del ángulo α formado por la resultante:

$$\tan \alpha = \frac{R_y}{R_x} = \frac{7.794 \times 10^{-1}\ \text{N}}{4.5 \times 10^{-1}\ \text{N}}$$

$$\tan \alpha = 1.732$$

α = ángulo cuya tangente es 1.732

$\alpha = 60°$

Ejercicios propuestos

1. Determinar la magnitud de la fuerza eléctrica entre dos cargas cuyos valores son: $q_1 = -5\ \mu\text{C}$ y $q_2 = -4\ \mu\text{C}$, al estar separadas en el vacío una distancia de 20 cm.

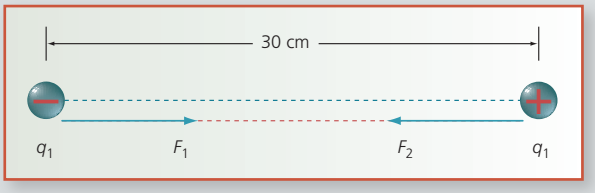
2. Calcular la magnitud de la fuerza eléctrica entre dos cargas cuyos valores son: $q_1 = -2$ mC, $q_2 = 6$ mC, al estar separadas en el vacío por una distancia de 40 cm. Determinar también la magnitud de la fuerza eléctrica, si las cargas se sumergieran en agua.

3. Una carga de 7×10^{-9} C se encuentra en el aire a 0.1 m de otra carga de 3×10^{-9} C. Determinar

la magnitud de la fuerza eléctrica entre ellas. Calcular también la magnitud de la fuerza eléctrica si las cargas se sumergen en gasolina.

4 La magnitud de la fuerza con la que se rechaza una carga de 8 μC con otra carga, es de 4×10^{-1} N. Determinar el valor de la carga desconocida, si las dos cargas están en el aire a una distancia de 50 cm.

5 Una carga de -3 μC se encuentra en el vacío a 30 cm de otra carga de 6 μC, como se ve en la figura:



a) Determinar la magnitud de la fuerza F_1 ejercida sobre q_1 por q_2.

b) ¿La magnitud de la fuerza F_2 ejercida sobre q_2 por q_1 es igual o diferente a F_1?

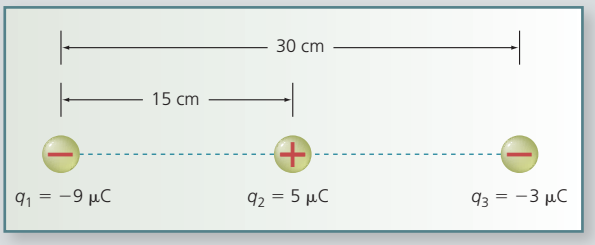
c) Calcular la magnitud de la fuerza eléctrica entre las cargas si estuvieran sumergidas en aceite (ver cuadro 12.1 de permitividades relativas).

6 Dos cargas iguales se encuentran en el aire a 20 cm de distancia y se rechazan con una fuerza cuya magnitud es de 8×10^{-1} N. ¿Cuánto vale cada carga en coulombs?

7 Calcular la distancia a la que se encuentran dos cargas eléctricas de 4×10^{-7} C cada una, al rechazarse con una fuerza cuya magnitud es de 5×10^{-2} N.

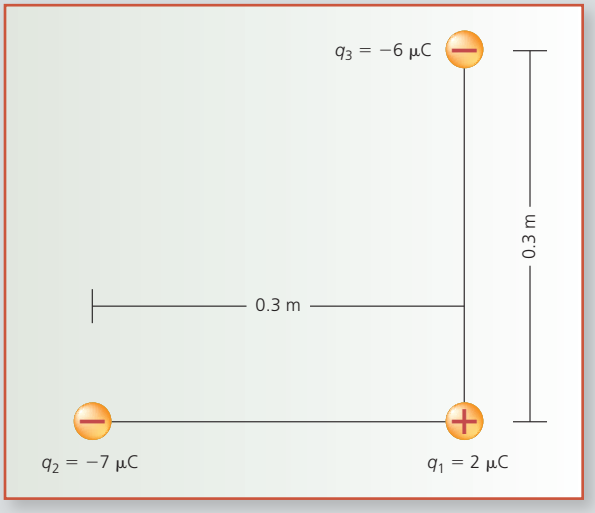
8 Calcular la magnitud de la fuerza de repulsión entre dos protones que se encuentran a una distancia de 4.2×10^{-15} m en un núcleo de cobalto.

9 Una carga $q_1 = -9$ μC se encuentra a una distancia de 30 cm de otra carga $q_3 = -3$ μC como se ve en la figura:



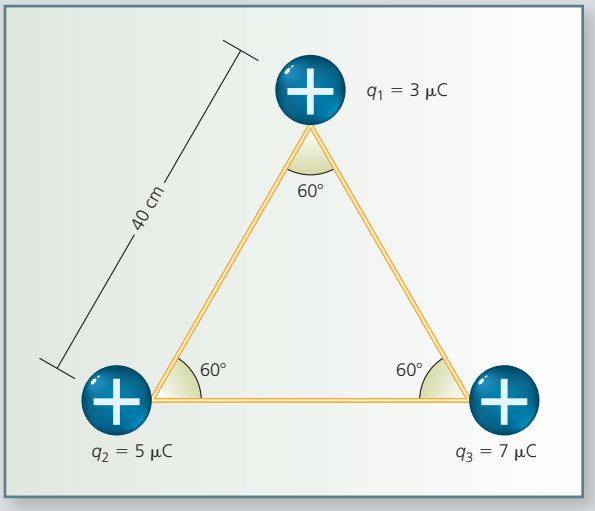
Si una carga $q_2 = 5$ μC se coloca en medio de las cargas q_1 y q_3, calcular la magnitud de la fuerza resultante sobre q_2, así como su sentido.

10 Una carga $q_1 = 2$ μC recibe una fuerza de atracción debido a dos cargas: $q_2 = -7$ μC y $q_3 = -6$ μC distribuidas como a continuación se muestra:



Calcular la magnitud de la fuerza eléctrica resultante que actúa sobre q_1, así como el ángulo formado respecto al eje horizontal.

11 Tres cargas cuyos valores son: $q_1 = 3$ μC, $q_2 = 5$ μC y $q_3 = 7$ μC, están colocadas en los vértices de un triángulo equilátero que mide 40 cm en cada uno de sus lados como se ve en la figura:

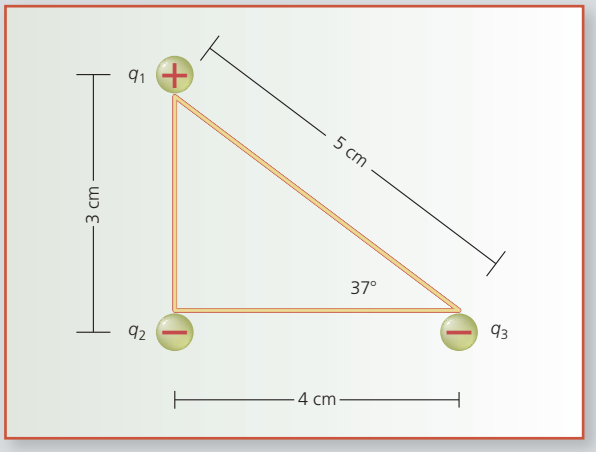


a) Dibuje el diagrama de las fuerzas eléctricas a las que se encuentra sujeta la carga q_1 debido a q_2 y q_3.

b) ¿Cuál es la magnitud de la fuerza resultante sobre la carga q_1?

c) ¿Qué ángulo forma la fuerza resultante respecto al eje horizontal?

12 Tres cargas eléctricas cuyos valores son: $q_1 = 3\mu C$, $q_2 = -5\ \mu C$ y $q_3 = -7\ \mu C$, se encuentran distribuidas como se señala en la siguiente figura:



a) Dibuje el diagrama de las fuerzas eléctricas a las que se encuentra sujeta la carga q_3 debido a q_1 y q_2.

b) ¿Cuál es la magnitud de la fuerza resultante sobre la carga q_3 y su ángulo respecto al eje horizontal?

9 Campo eléctrico y líneas de fuerza

Una carga eléctrica se encuentra siempre rodeada por un campo eléctrico. Las cargas de diferente signo se atraen y las de igual signo se rechazan, aun cuando se encuentren separadas. Esto quiere decir que las cargas eléctricas influyen sobre la región que está a su alrededor; la región de influencia recibe el nombre de campo eléctrico. El campo eléctrico es invisible, pero su fuerza ejerce acciones sobre los cuerpos cargados y por ello es fácil detectar su presencia, así como medir su intensidad.

El electrón y todos los cuerpos electrizados tienen a su alrededor un campo eléctrico cuya fuerza se manifiesta sobre cualquier carga cercana a su zona de influencia. El campo eléctrico es inherente a la naturaleza del electrón e independiente de sus movimientos. No así el campo magnético que aparece sólo cuando el electrón está en movimiento.

Como el campo eléctrico no se puede ver, el inglés Michael Faraday introdujo, en 1823, el concepto de líneas de fuerza, para poder representarlo gráficamente (figuras 12.15, 12.16, 12.17 y 12.18).

En la figura 12.15 las líneas de fuerza que representan al campo eléctrico de una carga positiva salen radialmente de la carga, mientras en una carga negativa (figura 12.16) las líneas de fuerza llegan de modo radial a la carga. Éstas pueden dibujarse de tal manera que señalen, además de su dirección y sentido, el punto más intenso del campo eléctrico. Para ello, las líneas de fuerza estarán más juntas entre sí cuando el campo eléctrico sea intenso y más separadas al disminuir la intensidad.

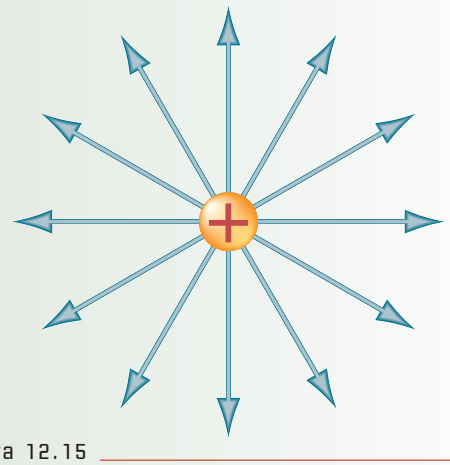


figura 12.15
Configuración del campo eléctrico producido por una carga puntual positiva.

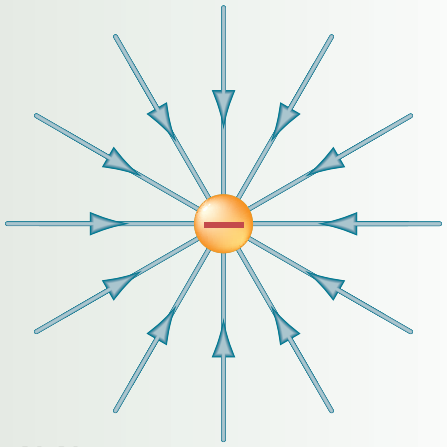


figura 12.16

Configuración del campo eléctrico producido por una carga puntual negativa.

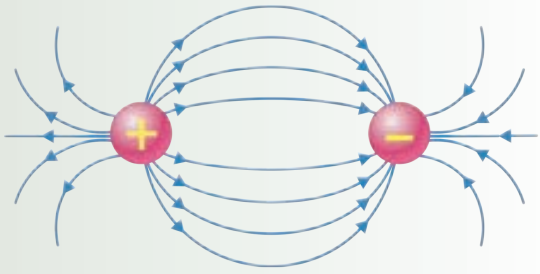


figura 12.17

Configuración del campo eléctrico producido por dos cargas de diferente signo.

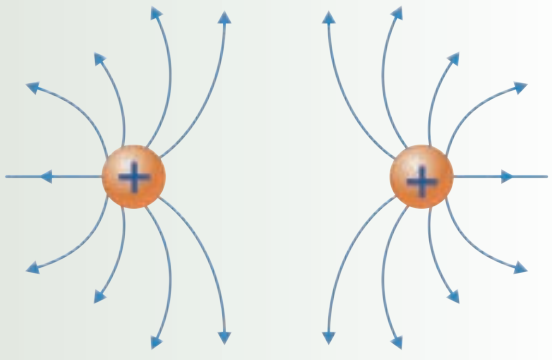


figura 12.18

Configuración del campo eléctrico producido por dos cargas del mismo signo.

Intensidad del campo eléctrico

Para poder interpretar cómo es la intensidad del campo eléctrico producido por una carga eléctrica, se emplea una carga positiva (por convención) de valor muy pequeño llamada carga de prueba, de esta manera sus efectos, debido a su propio campo eléctrico, se pueden despreciar. Esa pequeña carga de prueba q se coloca en el punto del espacio a investigar figura 12.19). Si la carga de prueba recibe una fuerza de origen eléctrico, diremos que en ese punto del espacio existe un campo eléctrico cuya intensidad $\vec{E}$ es igual a la relación dada entre la fuerza $\vec{F}$ y el valor de dicha carga de prueba q. Por tanto:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

donde: $\vec{E}$ = intensidad del campo eléctrico en N/C

$\vec{F}$ = fuerza que recibe la carga de prueba en newtons (N)

q = valor de la carga de prueba en coulombs (C)

Como se observa, la intensidad del campo eléctrico $\vec{E}$ es una magnitud vectorial, toda vez que la fuerza $\vec{F}$ también lo es, por ello, los campos eléctricos se suman vectorialmente. Así pues, la dirección y sentido del vector representativo de la intensidad del campo eléctrico en un punto será igual a la de la fuerza que actúa en ese punto sobre la carga de prueba, la cual, como señalamos, es positiva por convención (figuras 12.19, 12.20 y 12.21). La magnitud de la intensidad del campo eléctrico $\vec{E}$ no es constante, sino que disminuye a medida que aumenta la distancia. Sin embargo, la magnitud de $\vec{E}$ será el mismo para todos los puntos con igual distancia del centro de una carga.

Cuando se tiene un cuerpo esférico cargado eléctricamente cuyas dimensiones posibilitan suponerla como una carga puntual (la cual tiene un cuerpo cargado de pequeñas

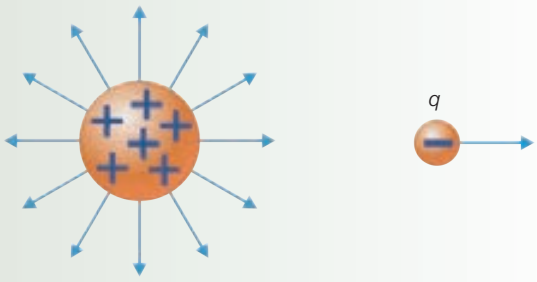


figura 12.19

En la figura se observa la dirección y el sentido del vector campo eléctrico $\vec{E}$ debido a un cuerpo con carga positiva que actúa sobre la carga de prueba q. Si el cuerpo tuviera carga negativa, el sentido del vector campo eléctrico $\vec{E}$ sería el contrario.

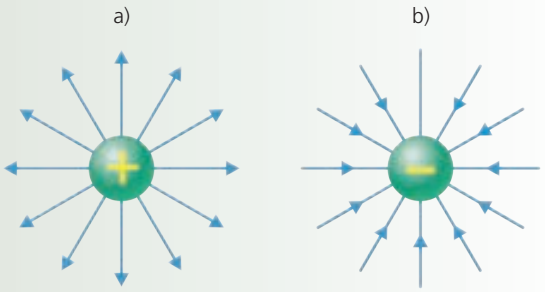


figura 12.20

a) La dirección y el sentido de la intensidad del campo eléctrico $\vec{E}$ en cualquier punto del espacio que rodea a una carga positiva están dirigidos radialmente hacia afuera de la carga. b) Si la carga es negativa, $\vec{E}$ está dirigido hacia adentro.

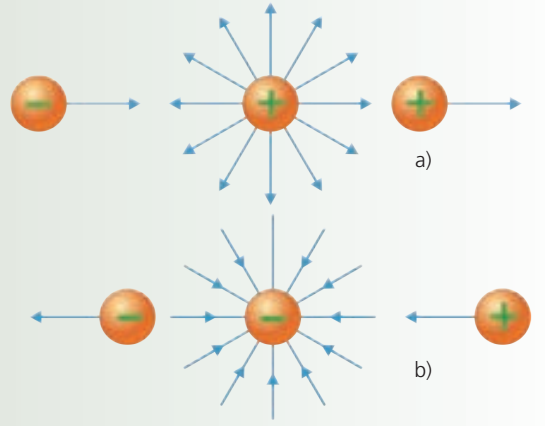


figura 12.21

En las figuras a) y b) observamos que cuando una carga positiva está situada en un campo eléctrico ya sea positivo o negativo, su movimiento siempre es en la misma dirección de éste. Una carga negativa, en cambio, se moverá siempre en la dirección contraria al campo eléctrico.

dimensiones), la magnitud de la intensidad de su campo eléctrico en determinado punto a su alrededor se determina basándonos en que toda la carga de la esfera está reunida en su centro como si fuera una carga puntual.

Si se desea calcular la intensidad del campo eléctrico $\vec{E}$ a una determinada distancia r de una carga q (figura 12.22), se considera que una carga de prueba q^1 colocada a dicha distancia recibe una fuerza $\vec{F}$ debida a q y de acuerdo con la ley de Coulomb, su magnitud se se calcula con la expresión siguiente:

$$F = k\frac{qq^1}{r^2} \qquad (1)$$

como

$$E = \frac{F}{q^1} \qquad (2)$$

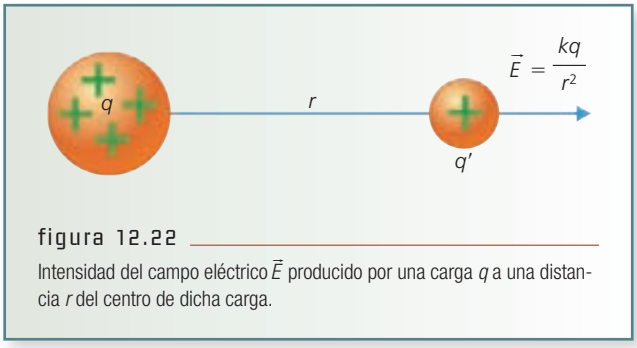


figura 12.22

Intensidad del campo eléctrico $\vec{E}$ producido por una carga q a una distancia r del centro de dicha carga.

sustituyendo la ecuación 1 en 2 tenemos:

$$E = \frac{\frac{kqq^1}{r^2}}{q^1} \qquad (3)$$

donde:

$$E = \frac{kq}{r^2} \qquad (4)$$

La ecuación 4 nos posibilitará calcular la magnitud de $\vec{E}$ en cualquier punto de una carga eléctrica. El valor de k como sabemos es de 9×10^9 Nm²/C² en el SI.

En caso de tener la presencia de más de una carga eléctrica (figura 12.23) el vector resultante de la intensidad del campo eléctrico en un punto P, será igual a la suma vectorial de cada uno de los campos producidos individualmente por cada carga. Así:

$$\vec{E}_R = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + ... + \vec{E}_n$$

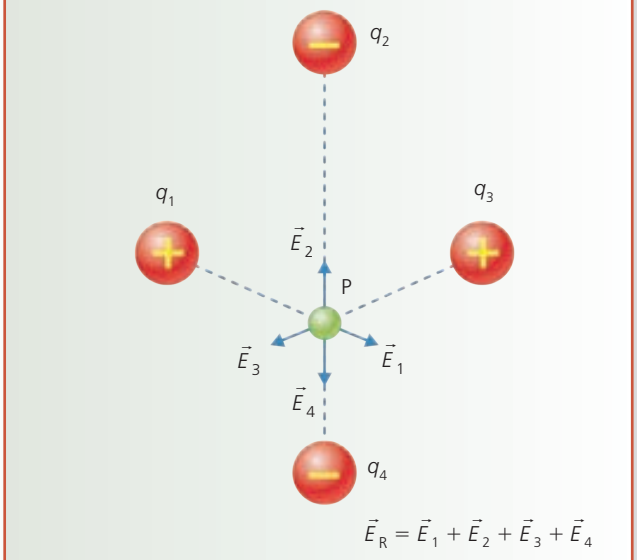


figura 12.23

El vector resultante de la intensidad del campo eléctrico E_R en el punto P será igual a la suma vectorial de los campos producidos por cada carga.

Resolución de problemas de la intensidad del campo eléctrico

1 Una carga de prueba de 3×10^{-7} C recibe una fuerza horizontal hacia la derecha de 2×10^{-4} N. ¿Cuál es la magnitud de la intensidad del campo eléctrico en el punto donde está colocada la carga de prueba?

Solución:

Datos	**Fórmula**
$q = 3 \times 10^{-7}$ C	$E = \dfrac{F}{q}$
$F = 2 \times 10^{-4}$ N	
$E = ?$	

Sustitución y resultado

$$E = \frac{2 \times 10^{-4}\ \text{N}}{3 \times 10^{-7}\ \text{C}} = 6.66 \times 10^{2}\ \text{N/C}$$

2 Una carga de prueba de 2 μC se sitúa en un punto en el que la intensidad del campo eléctrico tiene una magnitud de 5×10^{2} N/C. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza que actúa sobre ella?

Solución:

Datos	**Fórmulas**
$q = 2 \times 10^{-6}$ C	$E = \dfrac{F}{q} \therefore F = Eq$
$E = 5 \times 10^{2}$ N/C	
$F = ?$	

Sustitución y resultado

$$F = 5 \times 10^{2}\ \frac{\text{N}}{\text{C}} \times 2 \times 10^{-6}\ \text{C} = 1 \times 10^{-3}\ \text{N}$$

3 Calcular la magnitud de la intensidad del campo eléctrico a una distancia de 50 cm de una carga de 4 μC.

Solución:

Datos	**Fórmula**
$E = ?$	$E = \dfrac{kq}{r^2}$
$r = 50\ \text{cm} = 0.5\ \text{m}$	
$q = 4 \times 10^{-6}$ C	
$k = 9 \times 10^{9}\ \text{Nm}^2/\text{C}^2$	

Sustitución y resultado

$$E = \frac{9 \times 10^{9}\ \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \times 4 \times 10^{-6}\ \text{C}}{(0.5\ \text{m})^2} = 1.44 \times 10^{5}\ \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

4 La intensidad del campo eléctrico producido por una carga de 3 μC en un punto determinado tiene una magnitud de 6×10^{6} N/C. ¿A qué distancia del punto considerado se encuentra la carga?

Solución:

Datos	**Fórmula**
$q = 3 \times 10^{-6}$ C	$E = \dfrac{kq}{r^2}$
$E = 6 \times 10^{6}$ N/C	Despeje por pasos
$k = 9 \times 10^{9}\ \text{Nm}^2/\text{C}^2$	$Er^2 = kq$
$r = ?$	$r^2 = \dfrac{kq}{E}$

Sustitución y resultado

$$r^2 = \frac{9 \times 10^{9}\ \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \times 3 \times 10^{-6}\ \text{C}}{6 \times 10^{6}\ \frac{\text{N}}{\text{C}}}$$

$$= 4.5 \times 10^{-3}\ \text{m}^2 = 45 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$$

$$r = \sqrt{45 \times 10^{-4}\ \text{m}^2} = 6.7 \times 10^{-2}\ \text{m} = 6.7\ \text{cm}$$

5 Una esfera metálica, cuyo diámetro es de 20 cm, está electrizada con una carga de 8 μC distribuida uniformemente en su superficie. ¿Cuál es la magnitud de la intensidad del campo eléctrico a 8 cm de la superficie de la esfera?

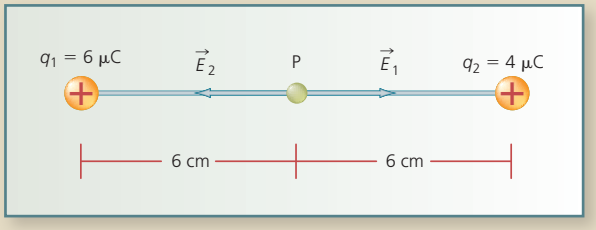
Solución:

Datos	**Fórmula**
$\phi = 20\ \text{cm} \therefore r_{esf.} = 10\ \text{cm}$	$E = \dfrac{kq}{r^2}$
$q = 8 \times 10^{-6}$ C	
$k = 9 \times 10^{9}\ \text{Nm}^2/\text{C}^2$	
$r = 10\ \text{cm} + 8\ \text{cm} = 18\ \text{cm}$	
$E = ?$	

Sustitución y resultado

$$E = \frac{9 \times 10^{9}\ \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \times 8 \times 10^{-6}\ \text{C}}{(0.18\ \text{m})^2} = 2.22 \times 10^{6}\ \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

6 Calcular la magnitud de la intensidad del campo eléctrico en el punto medio P entre dos cargas puntuales cuyos valores son $q_1 = 6$ μC y $q_2 = 4$ μC, separadas a una distancia de 12 cm como a continuación se muestra:



Solución:

La dirección del vector campo eléctrico es la misma en las dos cargas, pero el sentido en el punto *P* debido a q_1 está dirigido hacia la derecha, mientras el sentido del campo eléctrico debido a q_2 está dirigido hacia la izquierda, pues las dos son positivas.

La intensidad del campo eléctrico resultante $\vec{E}_R$ en el punto P será el vector suma de las intensidades de cada una de las cargas. Por tanto:

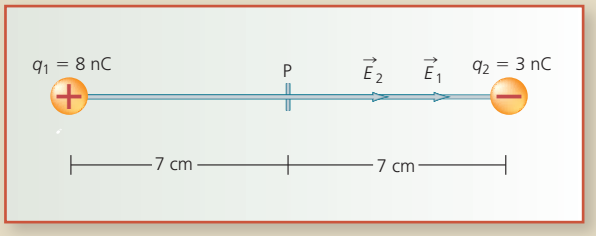
$$\vec{E}_R = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$E_R = \frac{kq_1}{r^2} + \left(-\frac{kq_2}{r^2}\right) = \frac{k}{r^2}(q_1 - q_2)$$

Nota: El signo (−) del campo eléctrico debido a la carga q_2 es porque va a la izquierda.

$$E_R = \frac{9\times10^9\ \frac{Nm^2}{C^2}}{(0.06\ m)^2}(6-4)10^{-6}\ C = 5\times10^6\ \frac{N}{C}$$

7 Determinar la intensidad del campo eléctrico en el punto medio P entre dos cargas puntuales $q_1 = 8$ nC y $q_2 = -3$ nC separadas por una distancia de 14 cm. Calcular también la fuerza que actuaría sobre una carga de 2 nC si se colocara en el punto *P* de esas mismas cargas.



Solución:

El sentido del campo eléctrico en el punto *P* debido a q_1 está dirigido hacia la derecha por ser carga positiva y el sentido del campo eléctrico debido a q_2 también va a la derecha por ser negativa. Por tanto:

$$\vec{E}_R = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$E_R = \frac{kq_1}{r^2} + \frac{kq_2}{r^2} = \frac{k}{r^2}(q_1 + q_2)$$

$$E_R = \frac{9\times10^9\ \frac{Nm^2}{C^2}}{(0.07\ m)^2}(8+3)10^{-9}\ C$$

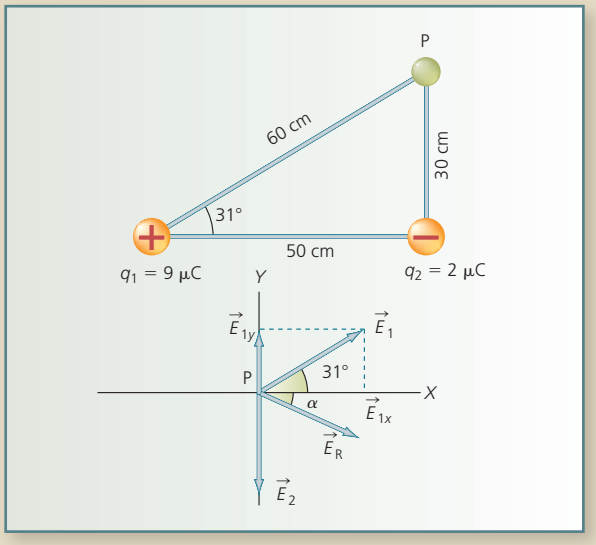
$$\vec{E} = 2.02\times10^4\ \frac{N}{C}\ \text{hacia la derecha}$$

Cálculo de la fuerza que actuaría sobre una carga de 2 nC situada en el punto *P*:

$$F = Eq = 2.02\times10^4\ \frac{N}{C}\times 2\times10^{-9}\ C$$

$$\vec{F} = 4.04\times10^{-5}\ N\ \text{hacia la derecha}$$

8 Determinar la magnitud de la intensidad del campo eléctrico en el punto P originado por dos cargas puntuales $q_1 = 9\ \mu C$ y $q_2 = -2\ \mu C$ distribuidas de la siguiente manera:



Solución:

Primero calculamos la magnitud de la intensidad del campo eléctrico en el punto *P* originado por las cargas q_1 y q_2, posteriormente determinamos la intensidad del campo eléctrico resultante en el punto *P* mediante la suma vectorial de $\vec{E}_1$ y $\vec{E}_2$ por el método de las componentes perpendiculares.

Cálculo de E_2:

Como se observa en el diagrama vectorial de los campos eléctricos, la intensidad del campo

en P originada por q_2 está dirigida verticalmente hacia abajo, por ello su signo será negativo y su magnitud es:

$$E_2 = -\frac{kq_2}{r_2^2}$$

$$E_2 = -\frac{9\times10^9\ \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}\times 2\times10^{-6}\ \text{C}}{(0.3\ \text{m})^2} = -2\times10^5\ \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Cálculo de E_1

$$E_1 = \frac{kq_1}{r_1^2}$$

$$E_1 = \frac{9\times10^9\ \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}\times 9\times10^{-6}\ \text{C}}{(0.6\ \text{m})^2} = 2.25\times10^5\ \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Cálculo de las componentes en X y en Y de $\vec{E}_1$:

$$E_{1x} = E_1 \cos 31° = 2.25\times10^5\ \frac{\text{N}}{\text{C}}\times 0.8572$$
$$= 1.93\times10^5\ \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_{1y} = E_1 \operatorname{sen} 31° = 2.25\times10^5\ \frac{\text{N}}{\text{C}}\times 0.5150$$
$$= 1.16\times10^5\ \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Cálculo de la resultante de la suma de todas las componentes en X y en Y de $\vec{E}$:

$$E_{Rx} = \Sigma E_x = E_{1x} = 1.93\times10^5\ \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$\vec{E}_{Ry} = \Sigma\,\vec{E}_y = \vec{E}_{1y} + \vec{E}_{2y}$$

$$E_{Ry} = 1.16\times10^5\ \frac{\text{N}}{\text{C}} + \left(-2\times10^5\ \frac{\text{N}}{\text{C}}\right) = -0.84\times10^5\ \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Cálculo de la magnitud de la resultante del campo eléctrico a partir del teorema de Pitágoras:

$$E_R = \sqrt{E_{Rx}^2 + E_{Ry}^2}$$

$$E_R = \sqrt{\left(1.93\times10^5\ \frac{\text{N}}{\text{C}}\right)^2 + \left(-0.84\times10^5\ \frac{\text{N}}{\text{C}}\right)^2}$$

$$= \sqrt{4.43+10^{10}\ \frac{\text{N}^2}{\text{C}^2}} = 2.1\times10^5\ \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Cálculo del ángulo α formado por la resultante:

$$\tan\alpha = \frac{E_{Ry}}{E_{Rx}} = \frac{0.84\times10^5\ \frac{\text{N}}{\text{C}}}{1.93\times10^5\ \frac{\text{N}}{\text{C}}}$$

$\tan\alpha = 0.4352$

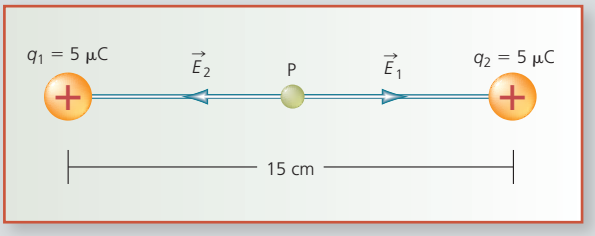
α = ángulo cuya tan es: 0.4352

$\alpha = 23.5° = 23°\ 30'$

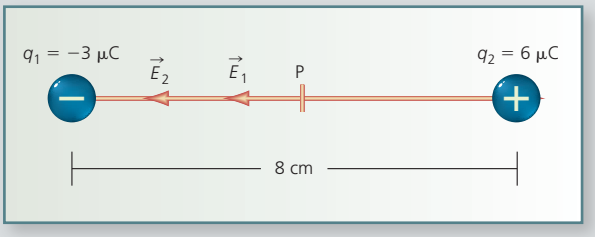
Ejercicios propuestos

1. Determine la magnitud de la intensidad del campo eléctrico en un punto donde se coloca una carga de prueba de 7 μC, la cual recibe una fuerza eléctrica vertical hacia arriba de 5×10^{-3} N.
2. Determinar la magnitud de la fuerza que actúa sobre una carga de prueba de 2×10^{-7} C al situarse en un punto en el que la intensidad del campo eléctrico tiene una magnitud de 6×10^4 N/C.
3. Calcular la magnitud de la intensidad del campo eléctrico a una distancia de 40 cm de una carga de 9 μC.
4. La magnitud de la intensidad del campo eléctrico producido por una carga es de 4×10^5 N/C a 50 cm de distancia de ésta. ¿Cuál es el valor de la carga eléctrica?
5. La magnitud de la intensidad del campo eléctrico producido por una carga de 7 μC en un punto determinado es de 5×10^5 N/C. ¿A qué distancia del punto considerado se encuentra la carga?
6. Una esfera metálica de 11 cm de radio está electrizada con una carga de 2 μC que se encuentra distribuida uniformemente en su superficie. Determinar la magnitud de la intensidad del campo eléctrico a 10 cm de distancia de la superficie de la esfera.
7. Determinar la magnitud de la intensidad del campo eléctrico en el punto medio P entre dos

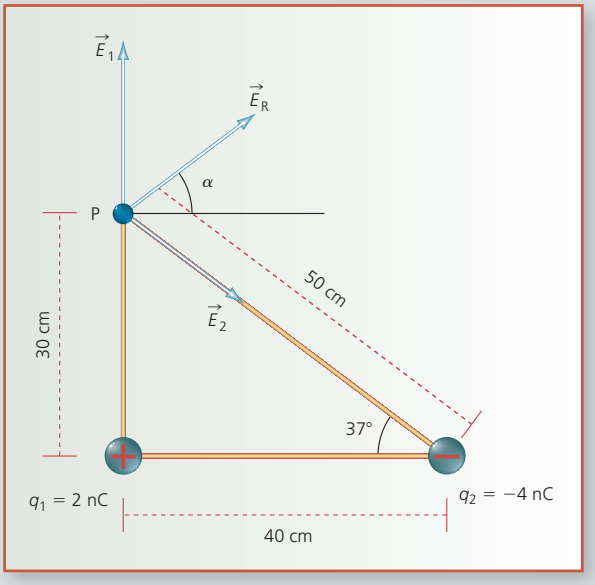
cargas puntuales iguales de 5 μC cada una, separadas 15 cm como se indica a continuación:



8 Calcular la intensidad del campo eléctrico en el punto medio P entre dos cargas puntuales $q_1 = -3\ \mu$C y $q_2 = 6\ \mu$C separadas a una distancia de 8 cm como se ve en la figura. Determinar también la fuerza que actuaría sobre una carga de 4 μC al colocarse en el punto P.



9 Encontrar la magnitud de la intensidad del campo eléctrico y el ángulo que forma respecto al eje horizontal en el punto P, originado por dos cargas puntuales $q_1 = 2$ nC y $q_2 = -4$ nC distribuidas de la siguiente forma:



10 Potencial eléctrico

Existe analogía entre la energía potencial eléctrica y la energía potencial gravitacional de un cuerpo. Cuando un cuerpo se eleva a una cierta altura h sobre el nivel del suelo (figura 12.24), su energía potencial es positiva, pues al regresar a éste será capaz de realizar un trabajo equivalente a su energía potencial:

$$T = Ep = mgh$$

Si el cuerpo se encuentra a una distancia h' bajo el nivel del suelo, su energía potencial será negativa, porque al bajar a ese punto cede energía y para subirlo se debe realizar un trabajo negativo cuyo valor será igual a:

$$-T = -Ep = -mgh$$

En general, cuando un cuerpo se encuentra dentro del campo gravitatorio terrestre tiene una energía potencial gravitatoria. Análogamente, una carga eléctrica situada dentro de un campo eléctrico tendrá una energía potencial eléctrica, pues la fuerza que ejerce el campo es capaz de realizar un trabajo al mover la carga.

Toda carga eléctrica, positiva o negativa, tiene una energía potencial eléctrica debido a su capacidad para realizar

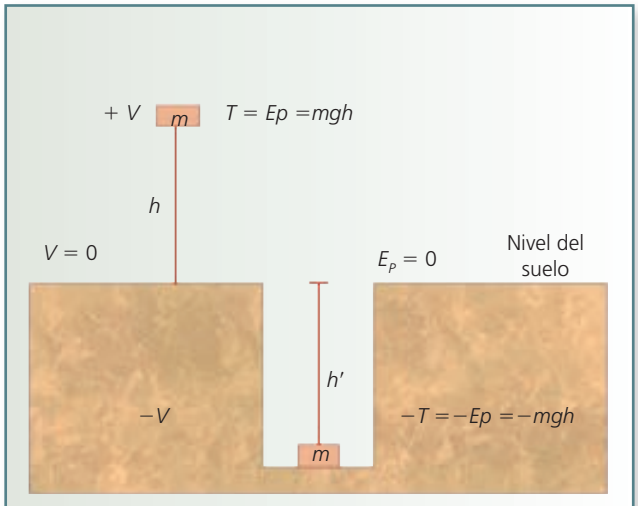


figura 12.24

El nivel del suelo se puede considerar como nivel cero de energía potencial. De la misma manera, el potencial eléctrico se toma como cero en ese lugar.

trabajo sobre otras cargas. Cuando una carga es positiva se dice que tiene un potencial positivo, y si es negativa su potencial es igualmente negativo. No obstante, existen muchos casos en los cuales esta regla no se cumple, por eso es preferible definir los potenciales positivo y negativo de la siguiente manera: un potencial es positivo si al conectar un cuerpo a tierra, por medio de un conductor eléctrico, los electrones fluyen desde el suelo al cuerpo; y será negativo si al conectarlo a tierra los electrones fluyen del cuerpo al suelo. En estas definiciones se considera que el potencial eléctrico de la Tierra es cero. Sin embargo, tal como sucede en el caso de la energía potencial de un cuerpo debido a la gravedad (véase el tema Energía potencial en la unidad 5) el cero del potencial eléctrico se puede considerar en el punto más conveniente, ya sea el suelo o el infinito.

Una carga positiva dentro de un campo eléctrico tiende a desplazarse de los puntos donde el potencial eléctrico es mayor hacia los puntos donde éste es menor. Si la carga es negativa la tendencia de su movimiento es de los puntos de menor a los de mayor potencial eléctrico.

Por definición: el potencial eléctrico V en cualquier punto de un campo eléctrico es igual al trabajo T que se necesita realizar para transportar a la unidad de carga positiva q desde el potencial cero hasta el punto considerado. Por tanto:

$$V = \frac{T}{q} \qquad (1)$$

donde: V = potencial eléctrico en el punto considerado medido en volts (V)

T = trabajo realizado en joules (J)

q = carga transportada en coulombs (C)

Si al transportar una carga hasta determinado punto de un campo eléctrico se realizó un trabajo muy grande, se tendrá un potencial eléctrico altamente positivo. Por el contrario, si en lugar de suministrar un trabajo, éste se cede, el potencial es negativo. De aquí que podamos hablar de potenciales tales como 220 volts, 110 volts, −200 volts, −500 volts, etcétera.

El potencial eléctrico es una magnitud escalar como lo es cualquier tipo de energía, a diferencia del campo eléctrico que como vimos es una magnitud vectorial; se define también como la energía potencial que tiene la unidad de carga eléctrica positiva en un punto determinado.

$$V = \frac{Ep}{q} \qquad (2)$$

donde: V = potencial eléctrico en volts (V)

Ep = energía potencial en joules (J)

q = carga eléctrica en coulombs (C)

Por tanto, cuando existe un potencial de un volt en un punto de un campo eléctrico significa que una carga de un coulomb en ese punto tendrá una energía potencial de un joule. Al despejar la energía potencial de la ecuación 2 tenemos:

$$Ep = qV \qquad (3)$$

Esta ecuación nos señala que la energía potencial es igual al producto de la carga eléctrica por el potencial eléctrico.

Determinación del valor del potencial eléctrico en un punto de una carga

En la figura 12.25 vemos una carga puntual positiva Q. Su campo eléctrico, como sabemos, está dirigido radialmente hacia afuera y una carga positiva q de prueba es obligada a acercarse, en contra de su repulsión, del punto 1 al 2.

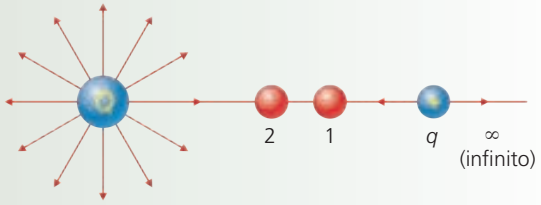


figura 12.25

Energía potencial de una carga que se encuentra dentro de un campo eléctrico: $Ep = T$.

La magnitud de la intensidad del campo eléctrico de la carga Q disminuye en relación inversa con el cuadrado de la distancia y su valor en el punto 1 y 2 será igual a:

$$E_1 = \frac{kQ}{r_1^2} \qquad (4)$$

$$E_2 = \frac{kQ}{r_2^2} \qquad (5)$$

La magnitud promedio de la intensidad del campo eléctrico $\vec{E}$ entre los puntos 1 y 2 lo encontramos al sustituir r_1^2 y r_2^2 por el producto $r_1 r_2$, donde:

$$E = \frac{kQ}{r_1 r_2} \qquad (6)$$

La magnitud de la fuerza eléctrica experimentada por una carga que se encuentra en un campo eléctrico se calcula con la expresión:

$$F = Eq \qquad (7)$$

Sustituyendo la ecuación 6 en la 7 tenemos:

$$F = \frac{kQq}{r_1 r_2} \tag{8}$$

De donde el trabajo que realiza el campo eléctrico, al mover la carga q del punto 2 al 1 equivalente a $r_1 - r_2$, es igual a:

$$T_{2\to 1} = F\,(r_1 - r_2) \tag{9}$$

Sustituyendo la ecuación 8 en 9 tenemos:

$$T_{2\to 1} = \frac{kQq}{r_1 r_2}(r_1 - r_2) \tag{10}$$

como: $$\frac{r_1 - r_2}{r_1 r_2} = \frac{r_1}{r_1 r_2} - \frac{r_2}{r_1 r_2} = \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}$$

$$T_{2\to 1} = kQq\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right) \tag{11}$$

Ahora, como se desea calcular el trabajo realizado por las fuerzas eléctricas cuando se mueve una carga de prueba q desde el infinito (∞) hasta una distancia r de la carga Q, de acuerdo con la ecuación 11 el trabajo será igual a:

$$T_{2\to 1} = kQq\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\infty}\right) \tag{12}$$

como $\frac{1}{\infty} = 0$

$$T_{2\to 1} = \frac{kQq}{r} \tag{13}$$

De la ecuación 13 se concluye: la energía potencial es igual al trabajo realizado en contra de las fuerzas eléctricas cuando se mueve una carga q desde el infinito hasta un punto determinado. Para calcular la energía potencial existente entre una carga Q y otra q separadas por una distancia r, se emplea la expresión:

$$Ep = \frac{kQq}{r} \tag{14}$$

donde: Ep = energía potencial en joules (J)

$k = 9 \times 10^9\ \mathrm{Nm^2/C^2}$

Q y q = valor de las cargas eléctricas en coulombs (C)

Finalmente, para calcular cuál es el valor del potencial eléctrico (V) en cualquier punto que se encuentre a una distancia r de una carga Q, tenemos que de acuerdo con la ecuación 2:

$$V = \frac{Ep}{q} \tag{2}$$

Al sustituir la ecuación 14 en la 2 nos queda:

$$V = \frac{\frac{kQq}{r}}{q}$$

$$V = \frac{kQ}{r} \tag{15}$$

El potencial eléctrico V de una carga q es el mismo en todos los puntos que se encuentren a la misma distancia de su centro. Por tanto, si se unen imaginariamente todos los puntos que tienen el mismo potencial eléctrico, tendremos una **superficie equipotencial**. Por definición: una superficie equipotencial es aquella que resulta de la unión de todos los puntos de un campo eléctrico que se encuentran al mismo potencial eléctrico. Alrededor de un cuerpo electrizado existen tantas superficies equipotenciales como potenciales eléctricos diferentes se consideren (figura 12.26).

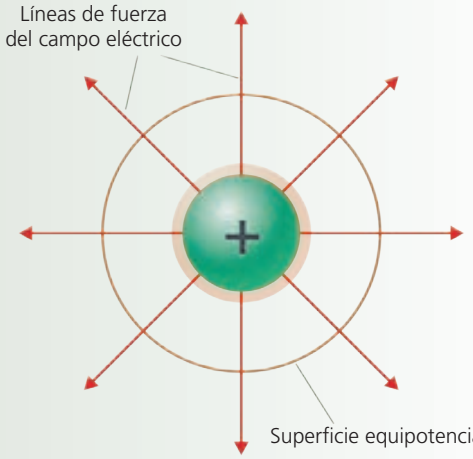


figura 12.26

Los puntos de un campo eléctrico que se encuentran al mismo potencial forman una superficie equipotencial.

Las superficies equipotenciales son siempre perpendiculares en todos sus puntos a las líneas de fuerza del campo eléctrico, por ello su forma dependerá de la del conductor. En el caso de una carga puntual o de un cuerpo esférico cargado, la forma de la superficie equipotencial será de esferas concéntricas de diferente radio.

Es importante señalar que en una superficie equipotencial no se necesita realizar ningún trabajo eléctrico para llevar una carga de un punto a otro de dicha superficie.

Cuando se tienen varias cargas eléctricas, como se ve en la figura 12.27, y se desea calcular el potencial en determinado punto de ellas, éste se calcula de manera

individual y luego se suman algebraicamente, pues, como señalamos, el potencial eléctrico es una magnitud escalar y no una magnitud vectorial.

En el punto A el potencial eléctrico es igual a:

$$V_A = V_1 + V_2 + V_3$$

es decir:

$$V_A = \frac{kq_1}{r_1} + \frac{kq_2}{r_2} + \frac{kq_3}{r_3}$$

Cuando la carga es negativa, como sucede con q_3 de la figura 12.27, el potencial de dicha carga será también negativo.

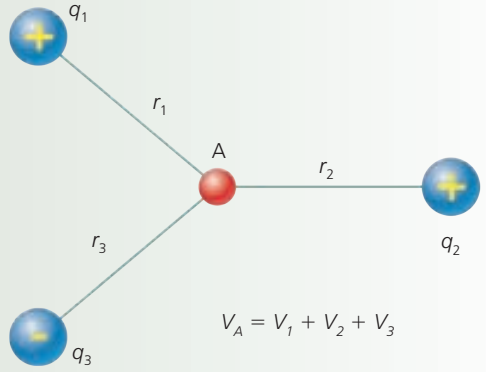


figura 12.27

El potencial eléctrico en el punto A es igual a la suma algebraica de los potenciales debidos a cada carga.

Diferencia de potencial

En términos prácticos, no es tan importante conocer el potencial eléctrico existente en determinado punto de un campo, sino cuál es la diferencia de éste entre dos puntos y con ello determinar la cantidad de trabajo necesario para mover cargas eléctricas de un punto a otro. Por definición: la diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera A y B es igual al trabajo por unidad de carga positiva que realizan fuerzas eléctricas al mover una carga de prueba desde el punto A al B. Por tanto:

$$V_{AB} = \frac{T_{AB}}{q} \qquad (16)$$

donde: V_{AB} = diferencia de potencial entre los puntos A y B determinada en volts (V)

T_{AB} = trabajo sobre una carga de prueba q que se desplaza de A a B calculado en joules (J)

q = carga de prueba desplazada de A a B medida en coulombs (C)

La diferencia de potencial también recibe los nombres de voltaje y de tensión. Al igual que el potencial eléctrico, la diferencia de potencial es una magnitud escalar.

La diferencia de potencial entre dos puntos se puede determinar si se conoce el potencial de cada uno y se obtiene su diferencia. Veamos: si el potencial en un punto A es de 110 V y en un punto B es de 60 V, la diferencia de potencial de A a B es:

$$V_{AB} = V_A - V_B = 110\ \text{V} - 60\ \text{V} = 50\ \text{V}$$

Como el resultado indica 50 volts equivalentes a 50 J/C, entenderemos que el campo eléctrico realiza 50 joules de trabajo por cada coulomb de carga positiva para moverla del punto A al B. Si se quiere determinar cuál es el trabajo realizado por el campo eléctrico al mover una carga q desde un punto A a uno B, tendremos que al despejar al trabajo T_{AB} de la ecuación 16 nos queda:

$$T_{A\to B} = qV_{AB} \qquad (17)$$

donde:

$$T_{A\to B} = q(V_A - V_B) \qquad (18)$$

El trabajo realizado por la fuerza eléctrica para que la carga se mueva del punto A al B es independiente de la trayectoria seguida por la carga durante su desplazamiento (figura 12.28). Por ello, la fuerza eléctrica es un ejemplo de **fuerza conservativa**, como lo es la fuerza debida a la gravedad. Esto implica que la diferencia de potencial entre dos puntos de un campo eléctrico es la misma, independientemente de la trayectoria de la carga durante su desplazamiento del punto A al B.

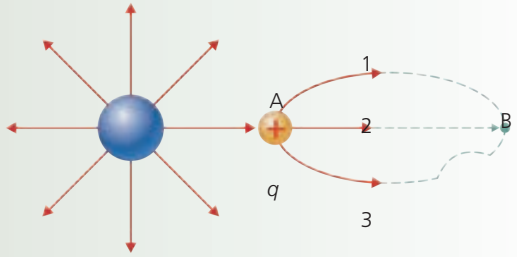


figura 12.28

La fuerza eléctrica es una fuerza conservativa, pues el trabajo realizado para que la carga q se mueva del punto A al B es independiente de la trayectoria 1, 2, 3 o cualquier otra que pueda seguir la carga durante su desplazamiento.

Campo eléctrico uniforme

Un campo eléctrico uniforme se tiene cuando existe un campo constante en magnitud y dirección, como el formado por dos placas metálicas planas y paralelas con cargas de igual magnitud, pero de signo contrario (figura 12.29).

Grupo Editorial Patria

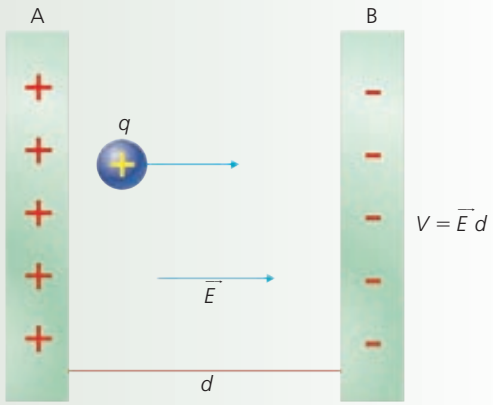


figura 12.29

Diferencia de potencial en un campo eléctrico uniforme.

La diferencia de potencial entre las dos placas con cargas de igual magnitud pero de signo contrario, se puede determinar a partir de la siguiente deducción: la carga q se encuentra situada entre las placas A y B experimentando una fuerza eléctrica cuya magnitud se calcula con la ecuación 7.

$$F = qE$$

La fuerza eléctrica realiza un trabajo al llevar la carga q de la placa A a la B recorriendo una distancia d que equivale a:

$$T_{A \longrightarrow B} = Fd = qEd \qquad (19)$$

De acuerdo con la ecuación 17 tenemos:

$$T_{A \longrightarrow B} = qV_{AB}$$

de donde, por las ecuaciones 17 y 19 tenemos que el trabajo se puede expresar como:

$$qV_{AB} = qEd \qquad (20)$$

Ahora dividimos la ecuación 20 entre q y tenemos que la diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera de un campo uniforme es igual a:

$$V = Ed \qquad (21)$$

donde: V = diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera en un campo uniforme en volts (V)

E = magnitud de la intensidad del campo eléctrico medida en V/m

d = distancia entre los puntos, medida en la misma dirección del vector campo eléctrico, en metros (m)

De la ecuación 21 podemos despejar la magnitud de la intensidad del campo eléctrico $\vec{E}$ y encontramos que su magnitud se calcula con la expresión:

$$E = \frac{V}{d} \qquad (22)$$

La ecuación 22 nos señala que la magnitud de la intensidad del campo eléctrico en un lugar determinado puede ser calculada mediante la relación existente entre la diferencia de potencial y la distancia al punto considerado.

Como resultado de sustituir las unidades de V y d, encontramos que la intensidad del campo eléctrico $\vec{E}$ se da en volt/metro equivalente a la unidad para $\vec{E}$, vista con anterioridad, igual a N/C según la siguiente demostración:

$$E = \frac{F}{q} = \frac{V}{d}$$

como $$V = \frac{T}{q} = \frac{Fd}{q}$$

$$E = \frac{F}{q} = \frac{Fd}{dq}$$

como $$\frac{Fd}{q} = \frac{\text{Nm}}{\text{C}} = \frac{\text{J}}{\text{C}} = \text{V}$$

$$E = \frac{\text{N}}{\text{C}} = \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

La ventaja de medir la magnitud de la intensidad del campo eléctrico en función de la diferencia de potencial es que ésta se puede determinar con el uso de un voltímetro (figura 12.30), lo cual no es así de simple si se quiere



figura 12.30

Con el voltímetro se puede medir la diferencia de potencial entre dos puntos.

calcular la magnitud de la fuerza eléctrica recibida por una carga debida al campo. Es por ello que resulta práctico medir la magnitud de $\vec{E}$ en volt/metro aunque, como ya demostramos, es igual a N/m.

Resolución de problemas de potencial eléctrico

1 Para transportar una carga de 5 μC desde el suelo hasta la superficie de una esfera cargada se realiza un trabajo de 60×10^{-6} J. ¿Cuál es el potencial eléctrico de la esfera?

Solución:

Datos

$q = 5 \times 10^{-6}$ C

$T = 60 \times 10^{-6}$ J

$V = ?$

Fórmula

$$V = \frac{T}{q}$$

Sustitución y resultado

$$V = \frac{60 \times 10^{-6}\ \text{J}}{5 \times 10^{-6}\ \text{C}} = 12\,\frac{\text{J}}{\text{C}} = 12\ \text{V}$$

2 Determine la carga transportada desde un punto a otro al realizarse un trabajo de 10×10^{-4} J, si la diferencia de potencial es 2×10^{2} V.

Solución:

Datos

$q = ?$

$T = 10 \times 10^{-4}$ J

$V = 2 \times 10^{2}$ V

Fórmula

$$V = \frac{T}{q} \therefore q = \frac{T}{V}$$

Sustitución y resultado

$$q = \frac{10 \times 10^{-4}\ \text{J}}{2 \times 10^{2}\ \frac{\text{J}}{\text{C}}} = 5 \times 10^{-6}\ \text{C}$$

3 Una carga de 7 μC se coloca en un determinado punto de un campo eléctrico y adquiere una energía potencial de 63×10^{-6} J. ¿Cuál es el potencial eléctrico en ese punto?

Solución:

Datos

$q = 7 \times 10^{-6}$ C

$Ep = 63 \times 10^{-6}$ J

$V = ?$

Fórmula

$$V = \frac{Ep}{q}$$

Sustitución y resultado

$$V = \frac{63 \times 10^{-6}\ \text{J}}{7 \times 10^{-6}\ \text{C}} = 9\ V$$

4 Determinar el potencial eléctrico a una distancia de 10 cm de una carga puntual de 8 nC.

Solución:

Datos

$V = ?$

$r = 10\ \text{cm} = 0.1\ \text{m}$

$q = 8 \times 10^{-9}$ C

$k = 9 \times 10^{9}\ \text{Nm}^2/\text{C}^2$

Fórmula

$$V = \frac{kq}{r}$$

Sustitución y resultado

$$V = \frac{9 \times 10^{9}\ \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \times 8 \times 10^{-9}\ \text{C}}{0.1\ \text{m}} = 7.2 \times 10^{2}\ V$$

5 Un conductor esférico de 20 cm de diámetro tiene una carga de 3 nC. Calcular:

a) ¿Cuál es el potencial eléctrico en la superficie de la esfera?

b) ¿Cuál es el potencial eléctrico a 30 cm de su superficie?

Solución:

Datos

$k = 9 \times 10^{9}\ \text{Nm}^2/\text{C}^2$

$\phi = 20\ \text{cm} \therefore r = 10\ \text{cm}$

$q = 3 \times 10^{-9}$ C

a) $V_{\text{en la superficie}} = ?$

b) $V_{\text{a 30 cm de la superficie}} = ?$

Fórmula

$$V = \frac{kq}{r}$$

Sustitución y resultados

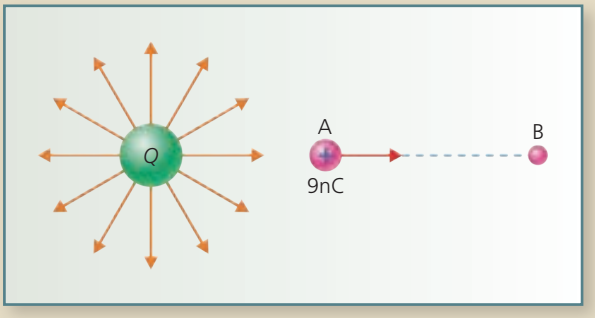
a) $$V = \frac{9 \times 10^{9}\ \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \times 3 \times 10^{-9}\ \text{C}}{0.1\ \text{m}} = 270\ \text{V}$$

b) $$V = \frac{9 \times 10^{9}\ \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \times 3 \times 10^{-9}\ \text{C}}{0.4\ \text{m}} = 67.5\ \text{V}$$

6 Una carga de prueba se mueve del punto A al B como se ve en la figura. Calcular:

a) La diferencia de potencial V_{AB}, si la distancia del punto A a la carga Q de 4 μC es de 20 cm y la distancia del punto B a la carga Q es de 40 cm.

b) El trabajo realizado por el campo eléctrico de la carga Q al mover la carga de prueba de 9 nC desde el punto A al B.



Solución:

a) Para calcular la diferencia de potencial entre los puntos A y B, determinamos primero el potencial en A y en B:

$$V_A = \frac{kQ}{r_A}$$

$$= \frac{9\times10^9 \dfrac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \times 4\times10^{-6}\ \text{C}}{0.2\ \text{m}} = 1.8\times10^5\ \text{V}$$

$$V_B = \frac{kQ}{r_B}$$

$$= \frac{9\times10^9 \dfrac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \times 4\times10^{-6}\ \text{C}}{0.4\ \text{m}} = 0.9\times10^5\ \text{V}$$

Por tanto, la diferencia de potencial V_{AB} es igual a:

$$V_{AB} = V_A - V_B = 1.8\times10^5\ \text{V} - 0.9\times10^5\ \text{V}$$
$$= 0.9\times10^5\ V$$

b) El trabajo realizado por el campo eléctrico de la carga Q para mover del punto A al B a la carga de prueba q es:

$$T_{A\to B} = q\,(V_A - V_B)$$

$$T_{A\to B} = 9\times10^{-9}\,\text{C}\times0.9\times10^5\,\text{V} = 8.1\times10^{-4}\,\text{J}$$

7 Si la diferencia de potencial o voltaje entre dos placas (como las de la figura 12.29), que se encuentran separadas 1 cm es de 500 volts. Calcular:

a) ¿Cuál es la magnitud de la intensidad del campo eléctrico entre las placas?

b) Si una carga de 2 μC se encontrara entre las placas, ¿qué magnitud de fuerza eléctrica recibiría?

Solución:

Datos

$V = 500$ V

$d = 1$ cm $= 0.01$ m

$q = 2\times10^{-6}$ C

a) $E = ?$

b) $F = ?$

Fórmulas

a) $E = \dfrac{V}{d}$

b) $F = Eq$

Sustitución y resultados

a) $$E = \frac{500\ \text{V}}{0.01\ \text{m}} = 50\,000\ \frac{\text{V}}{\text{m}}$$
$$= 5\times10^4\ \frac{\text{V}}{\text{m}} = 5\times10^4\ \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

b) $$F = Eq = 5\times10^4\ \frac{\text{N}}{\text{C}} \times 2\times10^{-6}\ \text{C}$$
$$= 10\times10^{-2}\ \text{N}$$

8 Una carga de 6 μC está separada 30 cm de otra carga de 3 μC. ¿Cuál es la energía potencial del sistema?

Solución:

Datos

$Q = 6\times10^{-6}$ C

$q = 3\times10^{-6}$ C

$r = 30$ cm $= 0.3$ m

$k = 9\times10^9\ \dfrac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$

$Ep = ?$

Fórmulas

$Ep = \dfrac{kQq}{r}$

Sustitución y resultado

$$E_p = \frac{9\times10^9 \dfrac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \times 6\times10^{-6}\ \text{C}\times3\times10^{-6}\ \text{C}}{0.3\ \text{m}}$$

$$= 5.4\times10^{-1}\ \text{J}$$

9 Calcular:

a) El potencial eléctrico en un punto A que se encuentra a 20 cm de una carga Q de -5 μC.

b) La energía potencial eléctrica si en el punto A se coloca una q carga de 8 μC.

Solución:

Datos

a) $V_A = ?$

$r = 20$ cm $= 0.2$ m

$Q = -5\times10^{-6}$ C

Fórmulas

a) $V_A = \dfrac{kQ}{r}$

b) $E_P = qV_A$

$$k = 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$
$$q = 8 \times 10^{-6}\ \text{C}$$

b) $E_p = ?$

Sustitución y resultado

a) $$V_A = \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \times -5 \times 10^{-6}\ \text{C}}{0.2\ \text{m}}$$
$$= -2.25 \times 10^5\ \text{V}$$

b) $E_p = 8 \times 10^{-6}\ \text{C} \times -2.25 \times 10^5\ V = -18 \times 10^{-1}\ \text{J}$

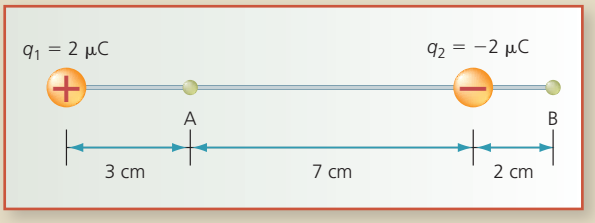
La energía potencial es negativa porque debe realizarse un trabajo en contra del campo eléctrico para separar a las cargas entre sí. En nuestro caso, se debe suministrar un trabajo de 18×10^{-1} J por medio de una fuerza externa para mover la carga de 8 μC al infinito.

10 Dos cargas cuyos valores son: $q_1 = 2\ \mu\text{C}$ y $q_2 = -2\ \mu\text{C}$ se encuentran a una distancia de 10 cm. Calcular:

a) ¿El potencial en los puntos A y B?

b) ¿Cuál es la diferencia de potencial entre los puntos A y B?

c) ¿Cuál es el trabajo que debe realizar el campo eléctrico para mover una carga de $-3\ \mu$C del punto A al B?



Solución:

a) Cálculo del potencial eléctrico en el punto A:

$$V_A = \frac{kq_1}{r_1} + \frac{kq_2}{r_2}$$
$$V_A = \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \times 2 \times 10^{-6}\ \text{C}}{0.03\ \text{m}} + \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \times -2 \times 10^{-6}\ \text{C}}{0.07\ \text{m}}$$
$$= 600 \times 10^3\ \text{V} + (-257.14 \times 10^3\ \text{V})$$
$$= 342.86 \times 10^3\ \text{V}$$

Cálculo del potencial eléctrico en el punto B:

$$V_B = \frac{kq_1}{r_1} + \frac{kq_2}{r_2}$$
$$V_B = \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \times 2 \times 10^{-6}\ \text{C}}{0.12\ \text{m}} + \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \times -2 \times 10^{-6}\ \text{C}}{0.02\ \text{m}}$$
$$= 150 \times 10^3\ \text{V} + (-900 \times 10^3\ \text{V})$$
$$= -750 \times 10^3\ \text{V}$$

b) Cálculo de la diferencia de potencial entre los puntos A y B:

$$V_{AB} = V_A - V_B$$
$$V_{AB} = 342.86 \times 10^3\ \text{V} - (-750 \times 10^3\ \text{V})$$
$$= 1\,092.86 \times 10^3\ \text{V} \approx 1.093 \times 10^6\ \text{V}$$

Como el potencial de A es mayor que el de B el campo eléctrico realizará un trabajo positivo si una carga positiva se mueve del punto A al B. Pero, si la carga que se mueve del punto A al B es negativa, el trabajo realizado por el campo será negativo.

c) Cálculo del trabajo que realizará el campo eléctrico al mover una carga de $-3\ \mu$C del punto A al B:

$$T_{A \to B} = q\,(V_A - V_B)$$
$$T_{A \to B} = -3 \times 10^{-6}\text{C} \times 1{,}093 \times 10^6\ V$$
$$= -3.28\ \text{J}$$

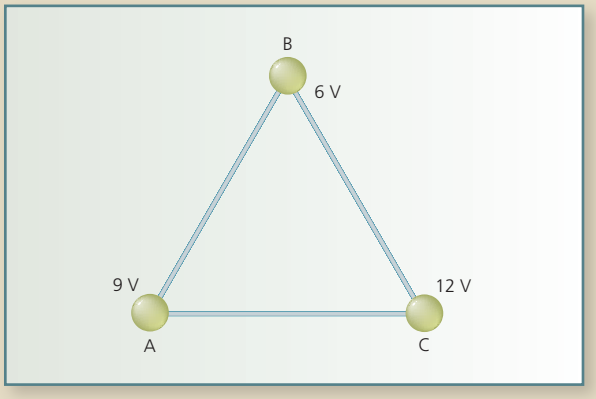
Como el trabajo que realiza el campo eléctrico es negativo, para mover la carga de $-3\ \mu$C del punto A al B, una fuente de energía externa debe suministrar el trabajo de 3.28 J.

11 En la figura de la página siguiente se señalan tres puntos diferentes con su respectivo potencial eléctrico. Calcular:

a) El trabajo total que debe realizar el campo eléctrico al transportar una carga de 5 C del punto A al B y luego del B al C.

b) Si la carga de 5 C pasa directamente del punto A al C, ¿cuánto trabajo realiza el campo eléctrico?

c) ¿Es el mismo trabajo si la carga pasa primero por B y luego llega a C que si de A pasa directamente a C?



Solución:

a) $T_{A \to B} = q\,(V_A - V_B)$

$T_{A \to B} = 5\text{ C}\,(9\text{ V} - 6\text{ V}) = 15\text{ J}$

$T_{B \to C} = q\,(V_B - V_C)$

$T_{B \to C} = 5\text{ C}\,(6\text{ V} - 12\text{ V}) = -30\text{ J}$

$T_T = T_{A \to B} + T_{B \to C}$

$T_T = 15\text{ J} + (-30\text{ J}) = -15\text{ J}$

b) $T_{A \to C} = q\,(V_A - V_C)$

$T_{A \to C} = 5\text{ C}\,(9\text{ V} - 12\text{ V}) = -15\text{ J}$

c) Como se observa, el trabajo realizado por el campo eléctrico es el mismo si la carga pasa del punto A al B y luego de B a C que si del punto A pasa directamente al C. Esto confirma que el trabajo realizado por un campo eléctrico sobre una carga es el mismo, independientemente de la trayectoria seguida por ésta. Por último, es importante señalar que el trabajo realizado para ir del punto A al B es positivo porque la carga positiva se mueve de un punto de mayor potencial a otro de menor potencial. En cambio, el trabajo realizado para ir del punto B al C o del A al C es negativo, pues la carga positiva se mueve de un punto de menor potencial a otro de mayor potencial.

Ejercicios propuestos

1. Una carga de 4 nC es transportada desde el suelo hasta la superficie de una esfera cargada, con un trabajo de 7×10^{-5} J. Determinar el potencial eléctrico de la esfera.

2. Una carga de 2 μC se coloca en un determinado punto de un campo eléctrico adquiriendo una energía potencial de 4×10^{-4} J. Calcular el potencial eléctrico en ese punto.

3. Calcular el trabajo realizado para transportar una carga de 3 nC desde un punto a otro en que la diferencia de potencial es de 3×10^3 V.

4. Determinar el potencial eléctrico a una distancia de 15 cm de una carga puntual de 6 μC.

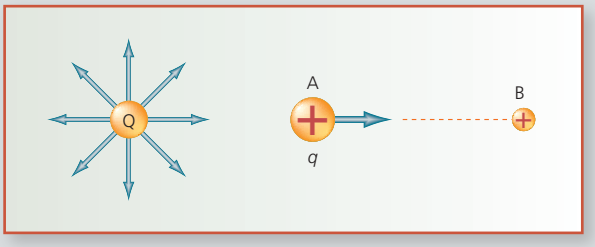
5. ¿A qué distancia de una carga puntual de 9 nC existirá un potencial de 4×10^2 V?

6. Un conductor esférico de 12 cm de diámetro tiene una carga de 3×10^{-6}. Calcular:

   a) El potencial eléctrico en la superficie de la esfera.

   b) El potencial eléctrico a 20 cm de su superficie.

7. Una carga de prueba se mueve del punto A al B como se ve a continuación:



Calcular:

   a) La diferencia de potencial V_{AB}, si la distancia del punto A a la carga Q de 5 μC es de 10 cm y la distancia del punto B a la carga Q es de 20 cm.

   b) El trabajo realizado por el campo eléctrico de la carga Q para mover la carga de prueba q igual a 2 nC del punto A al B.

8. Entre dos placas separadas a una distancia de 2 cm existe una diferencia de potencial de 4×10^2 V. Calcular:

   a) ¿Cuál es la magnitud de la intensidad del campo eléctrico entre las placas?

b) ¿Qué magnitud de fuerza recibirá una carga de 3 nC al encontrarse entre las dos placas?

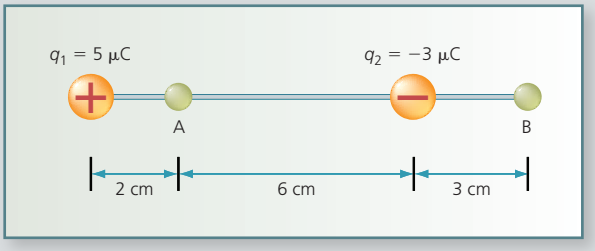
9 Una carga de 3 nC está separada 20 cm de otra carga de 7 μC. ¿Cuál es la energía potencial del sistema?

10 Calcular:

a) El potencial eléctrico en un punto A que se encuentra a 15 cm de una carga de $-8\ \mu$C.

b) La energía potencial eléctrica si en el punto A se coloca una carga de 3 nC.

11 Dos cargas: $q_1 = 5\ \mu$C, $q_2 = -3\ \mu$C se encuentran separadas a una distancia de 8 cm como se ve en la figura:



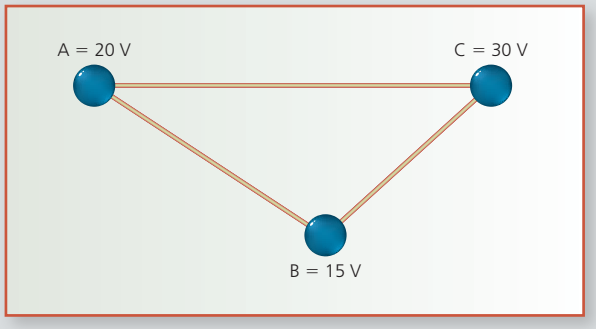
Calcular:

a) ¿Cuál es el potencial en los puntos A y B?

b) ¿Cuál es la diferencia de potencial entre los puntos A y B?

c) ¿Cuál es el trabajo que debe realizar el campo eléctrico para mover una carga de $-6\ \mu$C del punto A al B?

12 En la siguiente figura se señalan tres puntos diferentes con su respectivo potencial eléctrico:



a) Determinar el trabajo total que debe realizar el campo eléctrico al transportar una carga de 2 μC del punto A al B y luego del B al C.

b) Calcular el trabajo que realiza el campo eléctrico si la carga de 2 μC pasa directamente del punto A al C.

c) Explique por qué el trabajo calculado para el inciso **a)** del problema es igual al calculado para el inciso **b)**.

11 Corriente eléctrica

La parte de la Física encargada del estudio de las cargas eléctricas en movimiento dentro de un conductor, recibe el nombre de electrodinámica.

La corriente eléctrica es un movimiento de las cargas negativas a través de un conductor (figura 12.31). Como los protones están fuertemente unidos al núcleo del átomo, son los electrones los que en realidad tienen la libertad de moverse en un material conductor. Por ello, en general se puede decir que la corriente eléctrica se origina por el movimiento o flujo electrónico a través de un conductor, el cual se produce debido a que existe una diferencia de potencial y los electrones circulan de una terminal negativa a una positiva. Como en el siglo XIX no se conocía la naturaleza de éstos, se supuso, en forma equivocada, que las partículas positivas fluían a través del conductor. Por tanto, **convencionalmente, pero de manera errónea se dice que el** sentido de la corriente es del polo positivo al negativo.

Cuando dos cuerpos cargados con diferente potencial se conectan mediante un alambre conductor, las cargas se mueven del punto de potencial eléctrico más alto al más bajo, lo cual genera una corriente eléctrica instantánea que cesará cuando el voltaje sea igual en todos los puntos. En caso de que mediante algún procedimiento se lograra mantener en forma constante la diferencia

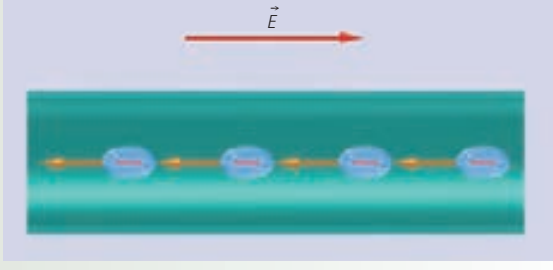


figura 12.31

Flujo de electrones en un conductor. Obsérvese que el movimiento de los electrones es en dirección contraria al campo eléctrico.

de potencial entre los cuerpos electrizados, el flujo de electrones sería continuo.

La corriente eléctrica se transmite por los conductores a la misma magnitud de la velocidad de la luz: 300 mil km/s. Sin embargo, los electrones no se desplazan a la misma magnitud de la velocidad, en general el promedio es de 10 cm/s. Esto se explica porque cada electrón obliga al siguiente a moverse en forma instantánea, tal como sucede con el movimiento de un tren cuyo desplazamiento puede ser lento, pero al comenzar su avance la transmisión del movimiento es instantánea desde la máquina guía hasta el último vagón.

El flujo de electrones se presenta en los metales, en los líquidos llamados electrolitos y en los gases. En el primer caso se debe a la facilidad que tienen los electrones más alejados del núcleo de separarse de sus órbitas cuando se les somete a la influencia de campos eléctricos, con lo cual se convierten en electrones libres atraídos por átomos que también los han perdido, esto da lugar a un flujo continuo de electrones de átomo en átomo. **Los electrólitos** son soluciones capaces de conducir la corriente eléctrica. Tal es el caso de ácidos (figura 12.32), bases y sales que al ser diluidos en agua se disocian en sus átomos constituyentes, los cuales reciben el nombre de iones. La mayoría de los gases conducen la electricidad cuando por algún medio apropiado se les ioniza (leer sección 20 de esta unidad: Electroquímica y ley de Faraday de la electrólisis).

Existen dos tipos de corriente eléctrica: la continua (CC) y la alterna (CA) (figura 12.33). La corriente continua o directa se origina cuando el campo eléctrico permanece constante, esto provoca que los electrones se muevan siempre en el mismo sentido, es decir, de negativo a positivo (recuerde: el sentido convencional de la corriente en forma equivocada señala que es de positivo a negativo). La corriente alterna se origina cuando el campo eléctrico cambia alternativamente de sentido, por lo que los electrones oscilan a uno y otro lado del conductor, así, en un instante el polo positivo cambia a negativo y viceversa (figura 12.34 b). Cuando el electrón cambia de sentido, efectúa una alternancia; dos alternancias consecutivas constituyen un ciclo. El número de ciclos por segundo recibe el nombre de frecuencia, ésta es en general de 60 ciclos/segundo para la corriente alterna.

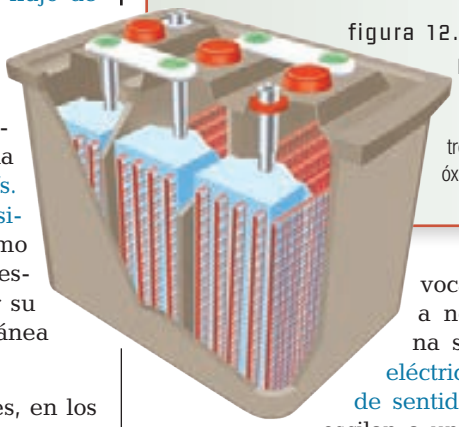


figura 12.32

La bateria de un automóvil transforma energía química en energía eléctrica a través del ácido sulfúrico (electrólito) y placas alternadas de plomo y óxido de plomo.

Intensidad de la corriente eléctrica

La intensidad de la corriente eléctrica es la cantidad de carga que pasa por cada sección de un conductor en un segundo. Por tanto:

$$I = \frac{q}{t}$$

donde: I = intensidad de la corriente eléctrica en C/s = ampere = A





figura 12.33

El Sistema de Transporte Colectivo Metro utiliza corriente eléctrica continua y el alumbrado público emplea corriente alterna.

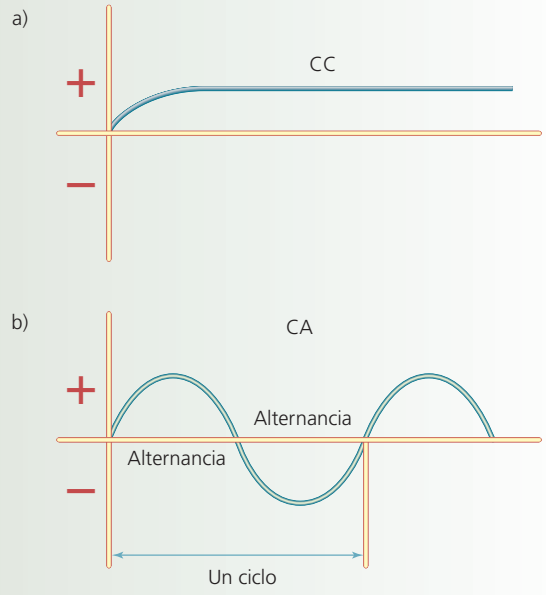


figura 12.34

Representación gráfica de la corriente continua o directa (CC) y de la corriente alterna (CA).

q = carga eléctrica que pasa por cada sección de un conductor en coulombs (C)

t = tiempo que tarda en pasar la carga q en segundos (s)

La unidad empleada en el SI para medir la intensidad de la corriente eléctrica es el amper (A). Por definición: un amper equivale al paso de una carga de un coulomb a través de una sección de un conductor en un segundo. De uso muy frecuente en la práctica es el miliampere (mA), que es igual a 1×10^{-3} A.

$$1 \text{ amper} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ segundo}} = \text{A} = \frac{\text{C}}{\text{s}}$$

Para medir la intensidad de la corriente eléctrica se utiliza un aparato llamado **amperímetro**. Los amperímetros electromagnéticos basan su funcionamiento en el uso de una bobina (alambre enrollado) provista de un núcleo, en el cual se articula la aguja indicadora; dicho núcleo es atraído con mayor o menor magnitud de fuerza por la bobina, según la intensidad de la corriente eléctrica que pasa por ésta.

En el caso de la electricidad, la utilización de aparatos para medir es de suma importancia, ya que la electricidad no se puede ver, sólo se puede detectar y cuantificar por los efectos que produce.

Resolución de problemas de intensidad de la corriente eléctrica

1 Determinar la intensidad de la corriente eléctrica en un conductor cuando circulan 86 coulombs por una sección del mismo en una hora. Dé el resultado en ampers y en miliampers.

Solución:

Datos

$I = ?$

$q = 86$ C

$t = 1$ h $= 3600$ s

Fórmula

$$I = \frac{q}{t}$$

Sustitución y resultado

$$I = \frac{86 \text{ C}}{3600 \text{ s}} = 0.0238 \text{ A} = 23.8 \text{ mA}$$

2 La intensidad de la corriente eléctrica en un circuito es de 13 mA. ¿Cuánto tiempo se requiere para que circulen por el circuito 120 coulombs? Exprese el resultado en horas.

Solución:

Datos

$I = 13 \times 10^{-3}$ A

$q = 120$ C

$t = ?$

Fórmula

$$I = \frac{q}{t} \therefore t = \frac{q}{I}$$

Sustitución y resultado

$$t = \frac{120 \text{ C}}{13 \times 10^{-3} \dfrac{\text{C}}{\text{s}}} = 9.23 \times 10^{3} \text{ s}$$

Transformación de unidades

$$9.23 \times 10^{3} \text{ s} \times \frac{1 \text{ h}}{3.6 \times 10^{3} \text{ s}}$$

$t = 2.56$ horas

3 ¿Cuántos electrones pasan cada segundo por una sección de un conductor donde la intensidad de la corriente es de 5 A?

Solución:

Datos

$q = ?$

$t = 1$ s

Fórmula

$$I = \frac{q}{t} \therefore q = It$$

$I = 5$ A

$1\ \text{C} = 6.24 \times 10^{18}\ \text{e}^-$

Sustitución y resultado

$$q = 5\ \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 1\ \text{s} = 5\ \text{C}$$

Transformación de unidades

$$5\ \text{C} \times \frac{6.24 \times 10^{18}\ \text{e}^-}{1\ \text{C}}$$

$q = 31.2 \times 10^{18}$ electrones

Ejercicios propuestos

1. Calcular la intensidad de la corriente eléctrica en amperes y en miliamperes, si por una sección de un conductotr circulan 65 coulombs en 30 minutos.
2. Determinar la cantidad de electrones que pasa cada 10 segundos por una sección de un conductor donde la intensidad de la corriente es de 20 mA.
3. Calcular el tiempo requerido para que por una sección de un conductor circulen 5 coulombs; la intensidad de la corriente eléctrica es de 5 mA.

12 Fuerza electromotriz

Como ya señalamos, **la corriente eléctrica se origina por el movimiento o flujo de electrones a través de un conductor, debido a la existencia de una diferencia de potencial**. Si se desea que una corriente eléctrica fluya continuamente por un conductor, debe existir un suministro constante de electrones en un extremo del mismo y una salida de ellos por el otro.

Para obtener un suministro continuo de electrones se utilizan las pilas y los generadores eléctricos. Una pila es un dispositivo que transforma la energía química en eléctrica; un generador es un aparato que transforma la energía mecánica en eléctrica (figura 12.35). Así pues, una pila o un generador transformarán su energía, ya sea química o mecánica, a una energía potencial y cinética de los electrones. Si hacemos una analogía hidráulica podemos decir: así como una bomba eleva el agua de un nivel menor a otro mayor, una pila o un generador llevan a los electrones de un punto de menor potencial a otro mayor, con lo cual se produce una diferencia de potencial permanente entre los electrones que se encuentran en cada extremo de sus terminales o bornes. Esta diferencia impulsa la corriente eléctrica a través del conductor y, por tal motivo, se le denomina fuerza electromotriz de la pila o del generador.

La fuerza electromotriz (*fem*), mide la cantidad de energía que proporciona un elemento generador de corriente eléctrica. Por tanto, la fuerza electromotriz aplicada en un circuito eléctrico es igual a la energía suministrada para que la unidad de carga recorra el circuito completo.

$$\in = \frac{T}{q}$$

donde: $\in$ = fuerza electromotriz (*fem*) en volts (V)



figura 12.35

Un generador eléctrico es todo dispositivo capaz de mantener un diferencial de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos.

T = trabajo realizado para que la carga recorra todo el circuito en joules (J)

q = carga que recorre el circuito en coulombs (C)

Como puede observarse, el término fuerza electromotriz no es utilizado con propiedad, pues se trata, en realidad, de una energía y no de una fuerza. Sin embargo, es muy común escuchar el término incorrecto de fuerza electromotriz.

13 Conexión de pilas en serie y en paralelo

Una pila es un dispositivo que transforma la energía química en energía eléctrica. Una batería es un agrupamiento de dos o más pilas unidas en serie o en paralelo. Una muy usada en radios portátiles, lámparas de mano o rasuradoras eléctricas es la pila seca que produce una fuerza electromotriz (*fem*) de 1.5 volts entre sus terminales.

En la figura 12.36 se describe la constitución de una pila seca:

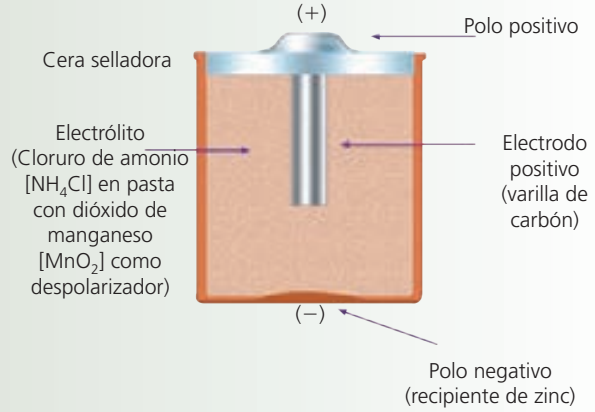


figura 12.36

Corte seccional de una pila seca.

La conexión de pilas en serie se efectúa al unir el polo positivo de una con el polo negativo de la otra y así sucesivamente de acuerdo con la *fem* que se desea obtener (figura 12.37).

La conexión de pilas en paralelo se realiza al enlazar, por una parte, todos los polos positivos y, por la otra, todos los polos negativos. En la figura 12.38 se muestra una conexión en paralelo. El resultado obtenido al medir la diferencia de potencial entre las terminales de la conexión es el mismo que se tiene al medir la diferencia de potencial de cualquiera de las pilas conectadas.

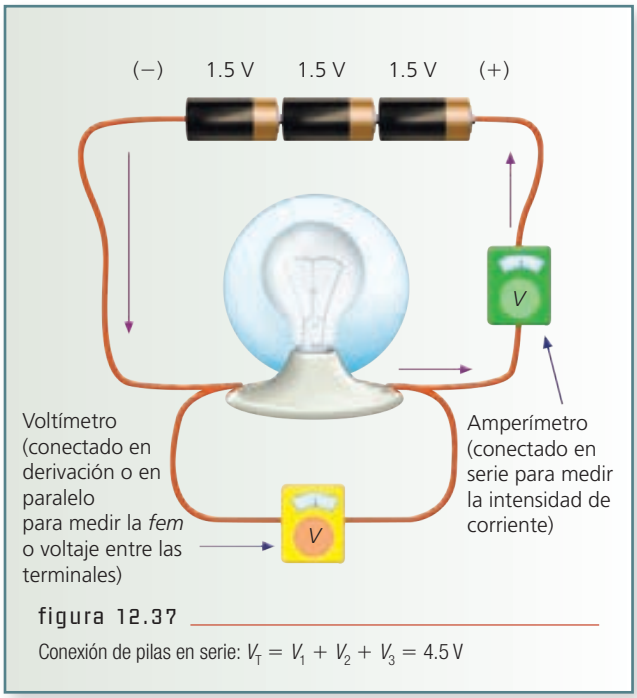


figura 12.37

Conexión de pilas en serie: $V_T = V_1 + V_2 + V_3 = 4.5$ V

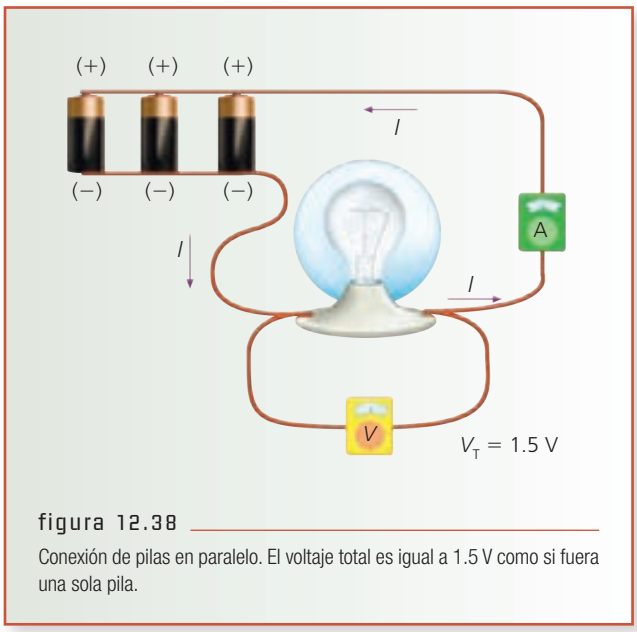


figura 12.38

Conexión de pilas en paralelo. El voltaje total es igual a 1.5 V como si fuera una sola pila.

14 Resistencia eléctrica

Todos los materiales presentan cierta oposición al flujo de electrones o corriente eléctrica, pero unos obstruyen la circulación más que otros. Esto se debe a que en los átomos de algunos materiales los electrones externos son cedidos con relativa facilidad, disminuyendo la resistencia al paso de la corriente. Por definición, la resistencia eléctrica de un material es la oposición que presenta al paso de la corriente o flujo de electrones.

Como sabemos, la corriente eléctrica circula con relativa facilidad en los metales, por ello se utilizan en la construcción de circuitos para conducir la energía eléctrica y se denominan conductores.

En cambio, existen otros materiales, como el hule, la madera, el plástico, el vidrio, la porcelana, la seda y el corcho, que presentan gran dificultad para permitir el paso de la corriente, por eso reciben el nombre de aislantes o dieléctricos. Los alambres de conexión en los circuitos casi siempre están protegidos con hule o algún recubrimiento aislante plástico, a fin de evitar que la corriente pase de un alambre a otro al ponerse accidentalmente en contacto (figura 12.39). Entre los materiales conductores y dieléctricos hay otro tipo de sustancias denominadas semiconductores, como el germanio y silicio, contaminados con pequeñas impurezas de otros metales.

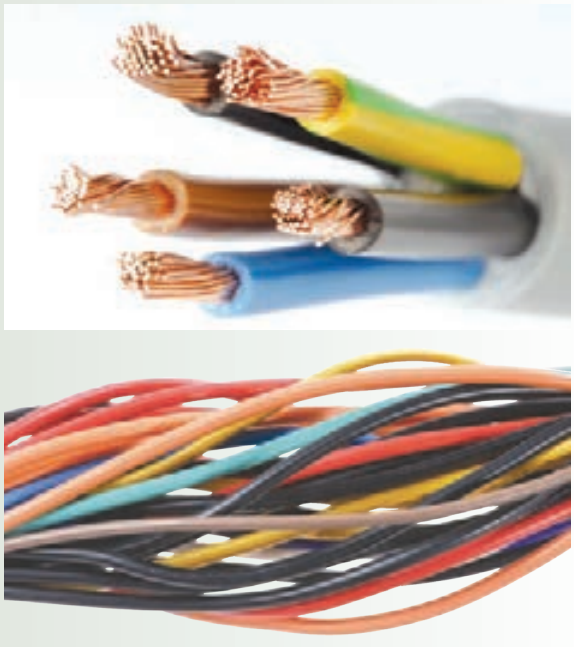


figura 12.39

Ejemplos de conductores aislados.

Existen varios factores que influyen en la resistencia eléctrica de un conductor (figura 12.40).

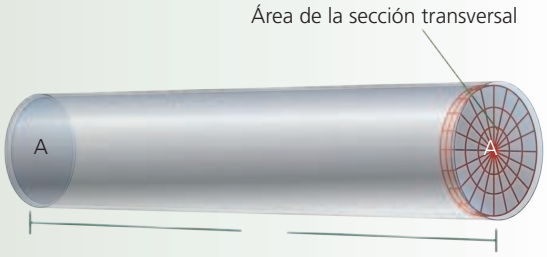


figura 12.40

La resistencia de un conductor a una determinada temperatura está en relación directamente proporcional de su longitud e inversamente proporcional al área (A) de su sección transversal.

Naturaleza del conductor

Si tomamos alambres de la misma longitud y sección transversal de los siguientes materiales: plata, cobre, aluminio y hierro, podemos verificar que la plata tiene una menor resistencia y que el hierro es el de mayor valor de los cuatro.

Longitud del conductor

A mayor longitud mayor resistencia. Si se duplica la longitud del alambre, también lo hace su resistencia.

Sección o área transversal

Al duplicarse la superficie de la sección transversal, se reduce la resistencia a la mitad.

Temperatura

En el caso de los metales su resistencia aumenta casi en forma directamente proporcional a su temperatura (figura 12.41). Sin embargo, el carbón disminuye su resistencia al incrementarse la temperatura, porque la energía que produce la elevación de temperatura libera más electrones.



figura 12.41

En los focos existe un filamento que presenta una considerable resistencia al paso de la corriente eléctrica, por lo tanto, se calienta y se pone incandescente.

La resistencia que corresponde a cada material recibe el nombre de resistencia específica o resistividad (ρ). La resistividad de una sustancia a una determinada temperatura está definida como la resistencia de un alambre de dicha sustancia de 1 m de largo y de 1 m^2 de sección transversal. En el cuadro 12.2 se dan valores de resistividad para algunos metales. A medida que la resistividad de un alambre aumenta, disminuye su capacidad de conducir la corriente eléctrica. Por ello, la conductividad (σ) se emplea para especificar la capacidad de un material para conducir la corriente y se define como la inversa de la resistividad.

$$\text{conductividad} = \frac{1}{\text{resistividad}}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

La unidad empleada para medir la resistencia eléctrica es el ohm en honor al físico alemán **George Simon Ohm**, quien en 1841 recibió la medalla Copley de la Sociedad Real de Londres por la publicación de un trabajo sobre corrientes eléctricas. El ohm, cuyo símbolo se escribe con la letra griega omega (Ω), se define como la resistencia opuesta a una corriente continua de electrones por una columna de mercurio a 0 °C de 1 mm^2 de sección transversal y 106.3 cm de largo.

En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad de resistencia es el volt/ampere, por tanto, un ohm es la relación entre estos últimos.

$$1\ \Omega = \frac{1\ \text{V}}{1\ \text{A}}$$

Al estudiar la ley de Ohm veremos con mayor detalle esta relación.

La resistencia de un alambre conductor a una determinada temperatura es directamente proporcional a su longitud e inversamente proporcional al área de su sección transversal:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

donde: R = resistencia del conductor en ohms (Ω)

ρ = resistividad del material de que está hecho el conductor en Ω-m

L = longitud del conductor en metros (m)

A = área de la sección transversal del conductor en metros cuadrados (m^2)

cuadro 12.2	Resistividad de algunos metales
Metal	ρ en Ω-m a 0 °C
Plata	1.06×10^{-8}
Cobre	1.72×10^{-8}
Aluminio	3.21×10^{-8}
Platino	11.05×10^{-8}
Mercurio	94.10×10^{-8}

Resolución de un problema de resistencia eléctrica

1 Determinar la resistencia eléctrica de un alambre de cobre de 2 km de longitud y 0.8 mm^2 de área en su sección transversal a 0° C.

Solución:

Datos

$\rho = 1.72 \times 10^{-8}\ \Omega$-m

(leído en el cuadro 12.2)

$R = ?$

$L = 2\ \text{km} = 2 \times 10^3\ \text{m}$

$A = 0.8\ \text{mm}^2$

Fórmula

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Transformación de unidades

$1\ \text{m} = 1000\ \text{mm}$

$(1\ \text{m})^2 = (1000\ \text{mm})^2$

$1\ \text{m}^2 = 1 \times 10^6\ \text{mm}^2$

$$0.8\ \text{mm}^2 \times \frac{1\ \text{m}^2}{1 \times 10^6\ \text{mm}^2} = 0.8 \times 10^{-6}\ \text{m}^2$$

Sustitución y resultado

$$R = \frac{1.72 \times 10^{-8}\ \Omega\text{-m} \times 2 \times 10^3\ \text{m}^3}{0.8 \times 10^{-6}\ \text{m}^2} = 43\ \Omega$$

Variación de la resistencia con la temperatura

Ya señalamos que la resistencia eléctrica de los conductores metálicos aumenta casi en forma proporcional a su temperatura. Experimentalmente, se ha demostrado que cuando se desea calcular la resistencia R de un conductor a una cierta temperatura T, si se conoce su resistencia R a una temperatura de 0 °C, se puede utilizar la expresión:

$$R_T = R_0(1 + \alpha T)$$

donde: R_T = resistencia del conductor en ohms (Ω) a cierta temperatura T

R_0 = resistencia del conductor en Ω a 0 °C

α = coeficiente de temperatura de la resistencia del material conductor en °C^{-1}. Indica la variación relativa de la resistencia del material por cada grado centígrado de incremento en su temperatura

T = temperatura del conductor en °C

En el caso de los metales, α es mayor que cero, pues su resistencia aumenta con la temperatura. En cambio, para el carbón, silicio y germanio, el valor de α es negativo, porque su resistencia eléctrica disminuye con la temperatura. Algunos valores del coeficiente de temperatura de la resistencia de algunas sustancias, se proporcionan en el cuadro 12.3.

Una aplicación práctica de que la resistencia eléctrica de los metales varía con la temperatura se tiene en la construcción de termómetros de resistencia utilizados para medir altas temperaturas. Por ejemplo, en los de platino, la temperatura se puede determinar fácilmente, ya que se conoce la resistencia del alambre para diferentes temperaturas.

cuadro 12.3	Coeficiente de temperatura para algunas sustancias
Metal	α en °C^{-1}
Acero	3.0×10^{-3}
Plata	3.7×10^{-3}
Cobre	3.8×10^{-3}
Platino	3.9×10^{-3}
Hierro	5.1×10^{-3}
Níquel	8.8×10^{-3}
Carbón	-5.0×10^{-4}

Otro fenómeno importante se observa cuando algunas sustancias alcanzan temperaturas muy bajas, casi iguales a 0 K (cero absoluto). A estas temperaturas la resistencia eléctrica de los metales prácticamente es cero, lo cual quiere decir que sus electrones libres se desplazan sin dificultad a través de su red cristalina, esto produce el fenómeno llamado superconductividad eléctrica. En estas condiciones, una vez que existe una corriente eléctrica por un superconductor, las pérdidas de energía producidas por la resistencia eléctrica, como el calentamiento del conductor (efecto Joule), serían nulas, por ello se aprovecharía íntegramente la energía eléctrica que producen los generadores. Sin embargo, la dificultad es mantener a los conductores a bajas temperaturas, motivo por el cual aún no tiene aplicación práctica a gran escala. Por ejemplo, el plomo se transforma en un superconductor a menos de 7.2 K.

Resolución de problemas de resistencia en función de temperaturas

1 La resistencia de un alambre de cobre es de 15 Ω a 0 °C, calcular su resistencia a 60 °C

Solución:

Datos **Fórmula**

$\alpha_{Cu} = 3.8 \times 10^{-3}$ °C^{-1} $R_T = R_0(1 + \alpha T)$

(leído en el cuadro 12.3)

$R_0 = 15\ \Omega$

$R_T = ?$

$T = 60$ °C

Sustitución y resultado

$R_T = 15\ \Omega\ (1 + 3.8 \times 10^{-3}\ °C^{-1} \times 60\ °C)$

$= 18.42\ \Omega$

2 Un termómetro de platino tiene una resistencia de 8 Ω a 150 °C; calcular su resistencia a 400 °C.

Solución:

Datos **Fórmula**

$\alpha_{pt} = 3.9 \times 10^{-3}$ °C^{-1} $R_T = R_0(1 + \alpha T)$

(leído en el cuadro 12.3)

$R_{150\,°C} = 8\ \Omega$

$R_0 = ?$

$R_T = ?$

$T = 400$ °C

Solución:

Como desconocemos la resistencia del termómetro de platino a 0 °C, primero calculamos R_0 de la siguiente manera:

$R_T = 8\ \Omega$ a 150 °C, por tanto:

$R_T = R_0\,(1 + \alpha T)$

Despejando R_0 de la fórmula tenemos:

$$R_0 = \frac{R_T}{1 + \alpha T}$$

Sustituyendo valores:

$$R_0 = \frac{8\ \Omega}{1 + (3.9 \times 10^{-3}\ °C^{-1} \times 150\ °C)}$$

$$= 5.05\ \Omega$$

Una vez conocida R_0 determinamos R_T a 400 °C:

$R_T = 5.05\ \Omega\,(1 + 3.9 \times 10^{-3}\ °C \times 400\ °C)$

$= 12.93\ \Omega$

Ejercicios propuestos

1. Calcular la resistencia eléctrica a 0 °C de un alambre de platino de 0.5 m de longitud y 0.7 mm^2 de área en su sección transversal. (Consulte el cuadro 12.2.)
2. Determine la longitud que debe tener un alambre de cobre enrollado de 0.5 mm^2 de área en su sección transversal para que a 0 °C su resistencia sea de 12 Ω. (Consulte el cuadro 12.2.)
3. Un alambre de plata tiene una resistencia de 5 Ω a 0 °C. ¿Cuál será su resistencia a 25 °C? (Consulte el cuadro 12.3.)
4. Determinar la resistencia de un termómetro de platino a 500 °C, si a 50 °C su resistencia es de 3.8 Ω. (Consulte el cuadro 12.3.)

15 Ley de Ohm

George Simon Ohm (1787-1854), físico y profesor alemán, utilizó en sus experimentos instrumentos de medición bastante confiables y observó que si aumenta la diferencia de potencial en un circuito, mayor es la intensidad de la corriente eléctrica; también comprobó que al incrementar la resistencia del conductor, disminuye la intensidad de la corriente eléctrica. Con base en sus observaciones, en 1827 enunció la siguiente ley que lleva su nombre: **la intensidad de la corriente eléctrica que pasa por un conductor en un circuito es directamente proporcional a la diferencia de potencial aplicado a sus extremos e inversamente proporcional a la resistencia del conductor** (figura 12.42).

Matemáticamente esta ley se expresa de la siguiente manera:

$$I = \frac{V}{R} \therefore V = IR$$

donde: V = diferencia de potencial aplicado a los extremos del conductor en volts (V)

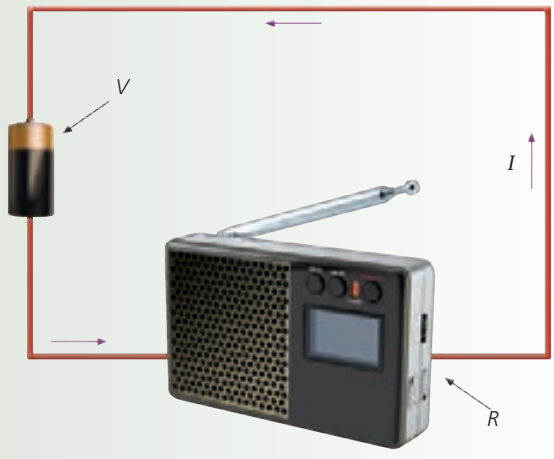


figura 12.42

La intensidad de la corriente eléctrica que pasa por un conductor será mayor si aumenta el voltaje que recibe y será menor si aumenta su resistencia.

R = resistencia del conductor en ohms (Ω)

I = intensidad de la corriente que circula por el conductor en ampers (A)

Al despejar la resistencia de la expresión matemática de la ley de Ohm, tenemos que:

$$R = \frac{V}{I}$$

Con base en esta ecuación la ley de Ohm define a la unidad de resistencia eléctrica de la siguiente manera: la resistencia de un conductor es de 1 ohm (1 Ω) si existe una corriente de un amper, cuando se mantiene una diferencia de potencial de un volt a través de la resistencia.

$$R \text{ (en ohms)} = \frac{V \text{ (en volts)}}{I \text{ (en ampers)}}$$

es decir: $1\ \Omega = \frac{\text{V}}{\text{A}}$

Cabe señalar que la ley de Ohm presenta algunas limitaciones, como son:

a) Se puede aplicar a los metales, mismos que reciben el nombre de conductores óhmicos, pero no así al carbón o a los materiales utilizados en los transistores, es decir, a los semiconductores, que se llaman conductores no óhmicos, pues no siguen la ley de Ohm, ya que su resistencia no permanece constante cuando se aplican voltajes diferentes.

b) Al utilizar esta ley debe recordarse que la resistencia cambia con la temperatura, pues todos los materiales se calientan por el paso de la corriente.

c) Algunas aleaciones conducen mejor las cargas en una dirección que en otra.

Resolución de problemas de la ley de Ohm

1 Determinar la intensidad de la corriente eléctrica a través de una resistencia de 30 Ω al aplicarle una diferencia de potencial de 90 V.

Solución:

Datos

$I = ?$

$R = 30\ \Omega$

$V = 90$ V

Fórmula

$$I = \frac{V}{R}$$

Sustitución y resultado

$$I = \frac{90\ \text{V}}{30\ \Omega} = 3\ \text{A}$$

2 Un tostador eléctrico tiene una resistencia de 15 Ω cuando está caliente. ¿Cuál será la intensidad de la corriente que fluirá al conectarlo a una línea de 120 V?

Solución:

Datos

$R = 15\ \Omega$

$V = 120$ V

$I = ?$

Fórmula

$$I = \frac{V}{R}$$

Sustitución y resultado

$$I = \frac{120\ \text{V}}{15\ \Omega} = 8\ \text{A}$$

3 Un alambre conductor deja pasar 6 A al aplicarle una diferencia de potencial de 110 V. ¿Cuál es su resistencia?

Solución:

Datos

$I = 6$ A

$V = 110$ V

$R = ?$

Fórmula

$$I = \frac{V}{R} \therefore R = \frac{V}{I}$$

Sustitución y resultado

$$R = \frac{110\ \text{V}}{6\ \text{A}} = 18.33\ \Omega$$

4 Calcular la diferencia de potencial aplicada a una resistencia de 10 Ω, si por ella fluyen 5 A.

Solución:

Datos

$V = ?$

$R = 10\ \Omega$

$I = 5$ A

Fórmula

$$I = \frac{V}{R} \therefore V = IR$$

Sustitución y resultado

$V = 5\ \text{A} \times 10\ \Omega = 50$ V

Ejercicios propuestos

1. Calcular la intensidad de la corriente que pasará por una resistencia de 20 Ω al conectarse a un acumulador de 12 V.
2. Determinar la resistencia del filamento de una lámpara que deja pasar 0.6 A de intensidad de corriente al ser conectado a una diferencia de potencial de 120 V.
3. Por una resistencia de 10 Ω circula una corriente de 2 A. ¿Cuál es la diferencia de potencial *a* la que están conectados sus extremos?
4. Calcular la resistencia de un conductor que al conectarse a una diferencia de potencial de 12 V deja pasar una corriente de 90 miliampers.

16 Circuitos eléctricos y conexión de resistencias en serie, en paralelo y mixtas

Un circuito eléctrico es un sistema en el cual la corriente fluye por un conductor en una trayectoria completa, es decir, cerrada, debido a una diferencia de potencial. Un foco conectado a una pila por medio de un conductor es un ejemplo de un circuito eléctrico básico (figura 12.43).

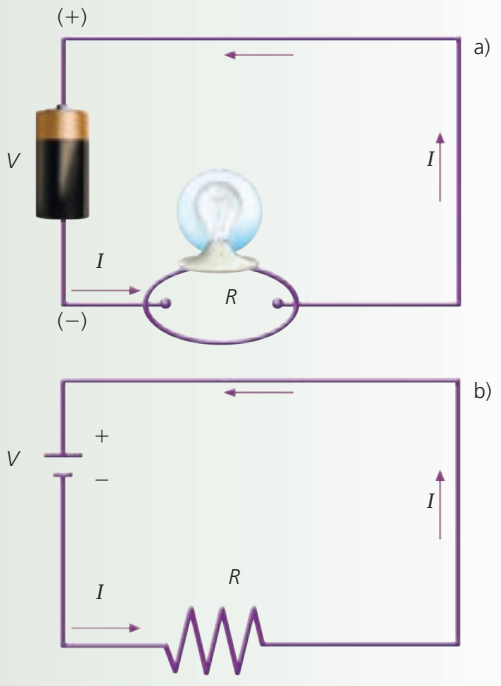


figura 12.43

a) Circuito eléctrico básico que consta de una diferencia de potencial o voltaje, corriente eléctrica y una resistencia.
b) Representación simbólica del voltaje, la corriente y la resistencia.

En cualquier circuito eléctrico por donde se desplazan los electrones a través de una trayectoria cerrada, existen los siguientes elementos fundamentales:

a) Voltaje.

b) Corriente.

c) Resistencia.

El circuito está cerrado cuando la corriente eléctrica circula en todo el sistema, y abierto cuando no circula por él. Para abrir o cerrar el circuito se emplea un interruptor (figura 12.44).

Los circuitos eléctricos pueden estar conectados en serie, en paralelo o en forma mixta. Cuando un circuito se conecta en serie, los elementos conductores están unidos uno a continuación del otro; es por ello que toda la corriente eléctrica debe circular a través de cada uno de los elementos, de tal forma que, si se abre el circuito en cualquier parte, se interrumpe totalmente la corriente. Si el circuito se encuentra en paralelo, los elementos conductores se hallan separados en dos o más ramales y



figura 12.44

Para encender la luz el circuito de energía se cierra (se juntan los conductores); al apagar la luz el circuito de energía queda abierto (se separan los conductores).

la corriente eléctrica se divide entre cada uno de ellos; así, al abrir el circuito en cualquier parte, la corriente no será interrumpida en los demás. Un circuito mixto significa que los elementos conductores se conectan tanto en serie como en paralelo.

La figura 12.45 muestra un circuito eléctrico que consta de una batería y dos focos. En la figura 12.45a los focos están en serie y en la figura 12.45b, en paralelo.

En la conexión en serie circula la misma corriente en cada foco, pues los electrones que pasan del punto 1 al 2 también lo hacen del punto 2 al 3, por eso no se acumulan en ninguna parte. De donde el flujo de cargas por unidad de tiempo, es decir, la corriente eléctrica, es la misma en cualquier parte del circuito en serie. Si se retira cualquier foco de su lugar, el circuito quedará abierto y ya no fluirá la corriente (figura 12.45a).

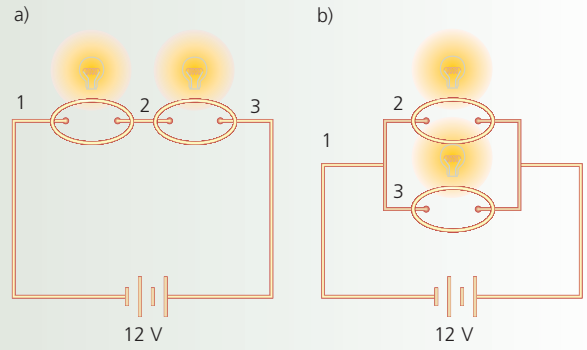


figura 12.45

Focos conectados a) en serie y b) en paralelo. En serie, por cada foco circula la misma intensidad de corriente. En paralelo, cada foco tiene el mismo voltaje entre sus terminales y la corriente se divide entre los dos focos.

En la conexión en paralelo, la corriente se divide y pasa en cantidades iguales a través de cada foco, si ambos son de la misma potencia. Al retirar un foco, sólo seguirá circulando la mitad de la corriente porque la mitad de la trayectoria conductora se ha eliminado. Como el voltaje suministrado en nuestro ejemplo es de 12 V, cada foco conectado en paralelo debe recibir el mismo voltaje para igualar la diferencia de potencial de la fuente de energía; si el foco fuera menor de 12 V se fundiría rápidamente y si fuera mayor, no iluminaría con toda su intensidad al no recibir la energía necesaria.

Si los dos focos conectados reciben 12 V y son de la misma potencia iluminarán con igual intensidad. Éstos, conectados en paralelo, descargarán a la batería en la mitad del tiempo que lo haría uno solo. En la figura 12.45b un interruptor colocado en el punto 1 controlaría todas las luces del circuito, pero si estuviera en el punto 3 únicamente controlaría al foco de la rama inferior del circuito.



figura 12.46

Pocos son los casos en los cuales la conexión es en serie, por ejemplo, los focos del árbol de navidad que tienen un solo cable.

Conexión de resistencias en serie

Cuando las resistencias se conectan en serie, se unen por sus extremos una a continuación de la otra (figura 12.47), de tal manera que la intensidad de corriente que pasa por una, sea la misma en las demás, por tanto, si se interrumpe en una, también se interrumpirá en las otras.

Al conectar dos o más resistencias en serie, se puede calcular la resistencia equivalente de la combinación, la cual, por definición, es aquella que presenta la misma oposición al paso de la corriente que **presentan las demás resistencias conectadas**, por tanto, puede sustituir al sistema en serie del circuito. Para ello, se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$R_e = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$$

donde: R_e = resistencia equivalente

$R_1 + R_2 + \ldots + R_n$ = suma del valor de cada una de las resistencias conectadas en serie, es decir, 1, 2, hasta n número de ellas

En la figura 12.47 vemos tres resistencias: R_1, R_2 y R_3, conectadas en serie a las terminales de una fuente de energía. El voltaje se reparte entre cada una de las resistencias del circuito, por lo que si denominamos como V_1 a

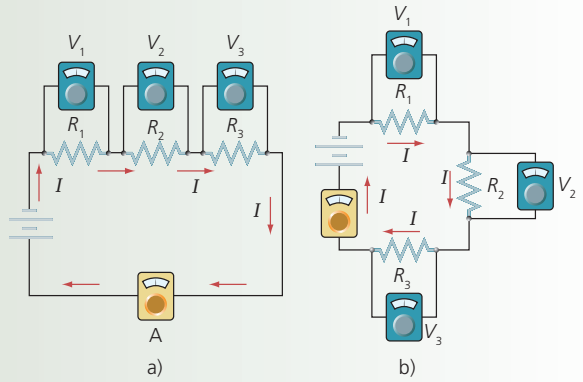


figura 12.47

Conexión de tres resistencias en serie tanto en a) como en b), pero con diferente arreglo. Sin embargo, su efecto es el mismo, pues la corriente eléctrica que pasa por cada una de las resistencias en serie es la misma. Obsérvese la conexión del voltímetro en paralelo y la del amperímetro en serie.

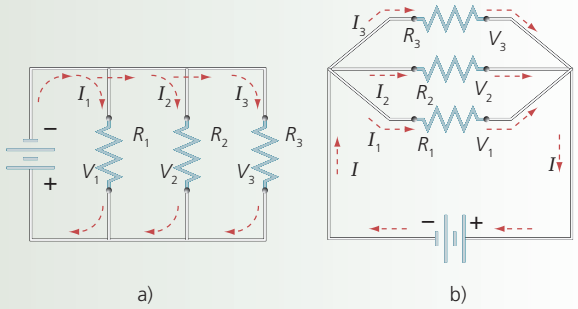


figura 12.48

Conexión de tres resistencias en paralelo tanto en a) como en b), pero con diferente arreglo. Obsérvese que la corriente eléctrica I se divide en varios ramales, por tanto:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

El voltaje tiene el mismo valor, en cada una de las resistencias, de manera que:

$$V = V_1 = V_2 = V_3$$

la diferencia de potencial entre los extremos de R_1; V_2 al voltaje entre los extremos de R_2; y V_3 a la tensión entre los extremos de R_3; entonces, el valor del voltaje total V entre la primera y la última resistencia es:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

En virtud de que la intensidad de la corriente es igual para cada resistencia, tendremos que el valor del voltaje de cada una de éstas lo podemos calcular de acuerdo con la ley de Ohm con la expresión:

$$V_1 = IR_1;\ V_2 = IR_2;\ V_3 = IR_3;$$

por tanto: $V = IR_1 + IR_2 + IR_3$

pero como la resistencia equivalente R_e es igual a $R_1 + R_2 + R_3$, una vez que ésta ha sido calculada podemos determinar el voltaje aplicado al circuito o la intensidad de la corriente que circula por el mismo.

Conexión de resistencias en paralelo

Cuando las resistencias se conectan en paralelo sus terminales se unen en dos bornes (extremos) comunes que se enlazan a la fuente de energía o voltaje (figura 12.48). En esta conexión la corriente eléctrica se divide en cada uno de los ramales o derivaciones del circuito y dependerá del número de resistencias que se conecten en paralelo; de tal manera que si una resistencia es desconectada las demás seguirán funcionando, pues la corriente eléctrica no se interrumpirá en ellas.

Al conectar dos o más resistencias en paralelo, se puede calcular la resistencia equivalente de la combinación con la siguiente expresión matemática:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

En la figura 12.48 vemos tres resistencias: R_1, R_2 y R_3, conectadas en paralelo a las terminales de una fuente de energía. Si estas resistencias permiten que por ellas circulen las corrientes I_1, I_2, I_3 respectivamente, el valor de la intensidad de la corriente total I, que circula por todo el circuito, será igual a: $I = I_1 + I_2 + I_3$. Respecto al voltaje aplicado a cada resistencia, su valor es igual para cada una de ellas y es el mismo que se le suministra al circuito, toda vez que las terminales de cada resistencia están conectadas directamente a los bornes comunes de la fuente de energía. De donde:

$$V = V_1 = V_2 = V_3$$

De acuerdo con la ley de Ohm sabemos que:

$$I = \frac{V}{R} \text{ y como } I = I_1 + I_2 + I_3, \text{ entonces:}$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1};\ I_2 = \frac{V}{R_2};\ I_3 = \frac{V}{R_3}$$

por tanto:

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

es decir: $I = V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)$

Como la inversa de la resistencia equivalente $\frac{1}{R_e}$ es igual a la suma de las inversas de sus resistencias componentes, o sea: $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$, calculada la resistencia equivalente, al aplicar la ley de Ohm podemos determinar el valor de la intensidad de la corriente que circula por el circuito mediante la expresión $I = \frac{V}{R}$.

Conexión mixta de resistencias

Cuando se tiene una conexión mixta de resistencias, significa que están agrupadas tanto en serie como en paralelo. La forma de resolver matemáticamente estos circuitos es calculando parte por parte las resistencias equivalentes de cada conexión, ya sea en serie o en paralelo, de tal manera que se simplifique el circuito hasta encontrar el valor de la resistencia equivalente de todo el sistema eléctrico (ver ejemplos resueltos de las pp. 420 a 422). En la figura 12.49 se muestra un ejemplo de conexión mixta de resistencias.

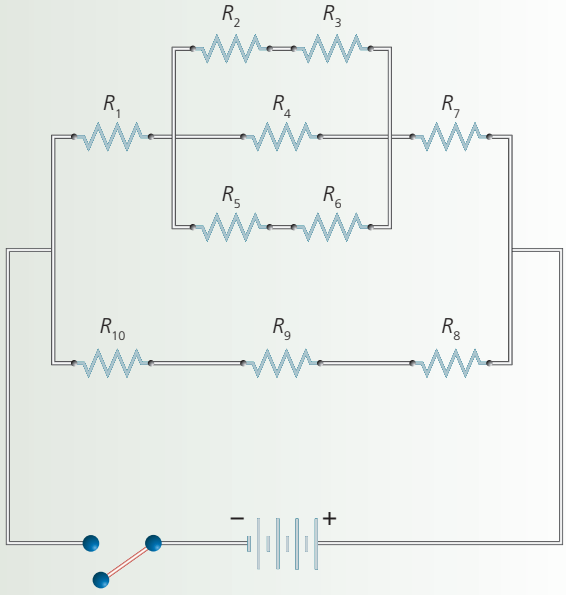


figura 12.49
Conexión mixta de resistencias.

Resistencia interna de una pila

En la figura 12.50 vemos una batería formada por la unión en serie de cuatro pilas secas de 1.5 V cada una, la cual está conectada a una resistencia de 3 Ω aproximadamente. Si se mide con un voltímetro la fuerza electromotriz de la batería al estar abierto el interruptor Z, se leerá un valor de 6 V (figura 12.50a). Pero si se cierra el interruptor y la corriente eléctrica I fluye por la resistencia R, al volver a medir la diferencia de potencial entre los bornes de la batería se observará que su valor ha disminuido, por ejemplo: 5.5 V (figura 12.50b). Esta caída en el voltaje de la batería: de 6 V a 5.5 V, se produce por la resistencia interna de las pilas de la batería; debido a ello la diferencia de potencial o voltaje real suministrado por ésta al circuito será de 5.5 V. En la resolución de problemas, si no se señala la resistencia interna de la batería, consideraremos el valor de la diferencia de potencial como el voltaje real que recibe el circuito al estar cerrado.

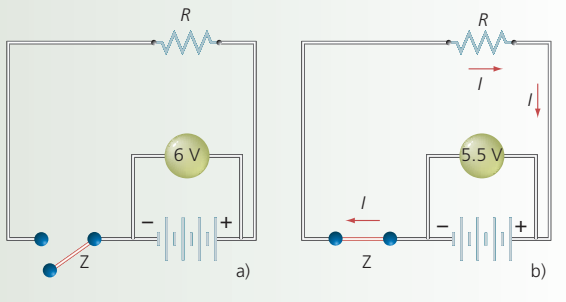


figura 12.50
El voltaje leído al estar abierto el circuito a) es mayor que al encontrarse cerrado b) debido a la resistencia interna de la batería.

Resolución de problemas de circuitos con resistencias conectadas en serie, en paralelo y mixtas

1 Calcular la resistencia equivalente de tres resistencias cuyos valores son: $R_1 = 2\ \Omega$, $R_2 = 5\ \Omega$, $R_3 = 7\ \Omega$, conectadas primero en: **a)** serie y **b)** paralelo.

Solución:

Datos

$R_1 = 2\ \Omega$

$R_2 = 5\ \Omega$

$R_3 = 7\ \Omega$

Fórmulas

a) $R_e = R_1 + R_2 + R_3$

b) $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

a) $R_{e\ \text{en serie}} = ?$

b) $R_{e\ \text{en paralelo}} = ?$

Sustitución y resultados

a) $R_e = 2 + 5 + 7 = 14\ \Omega$

b) $\dfrac{1}{R_e} = \dfrac{1}{2} + \dfrac{1}{5} + \dfrac{1}{7}$

$= 0.5 + 0.2 + 0.14$

$= 0.84$

$R_e = \dfrac{1}{0.84} = 1.19\ \Omega$

Notas:

1. Observe que la resistencia equivalente en un circuito en paralelo tiene siempre un valor menor que cualquiera de las resistencias componentes conectadas. Ello se debe a que la corriente encuentra menor oposición mientras existan más ramificaciones en su trayectoria. En una conexión en serie la resistencia equivalente siempre será mayor que cualquiera de las resistencias conectadas.
2. La suma de fracciones se puede hacer por el método tradicional, de la siguiente manera:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{2} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7}$$

$$\frac{1}{R_e} = \frac{35 + 14 + 10}{70} = \frac{59}{70}$$

$$R_e = \frac{70}{59} = 1.19\ \Omega$$

2 Calcular el valor de la resistencia que se debe conectar en paralelo con una resistencia de 10 Ω para que la resistencia equivalente del circuito se reduzca a 6 Ω.

Solución:

Datos

$R_1 = ?$

$R_2 = 10\ \Omega$

$R_e = 6\ \Omega$

Fórmula

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \therefore \quad \frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_e} - \frac{1}{R_2}$$

Sustitución y resultado

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{6} - \frac{1}{10} = 0.166 - 0.1 = 0.066$$

$$R_1 = \frac{1}{0.066} = 15\ \Omega$$

3 Calcular la resistencia equivalente de las siguientes cuatro resistencias: $R_1 = 10\ \Omega$, $R_2 = 20\ \Omega$, $R_3 = 25\ \Omega$ y $R_4 = 50\ \Omega$ conectadas en: **a)** serie y **b)** paralelo.

Dibujar el diagrama para cada caso.

Solución:

Datos

$R_1 = 10\ \Omega$

$R_2 = 20\ \Omega$

$R_3 = 25\ \Omega$

$R_4 = 50\ \Omega$

a) $R_{e\ \text{en serie}} = ?$

b) $R_{e\ \text{en paralelo}} = ?$

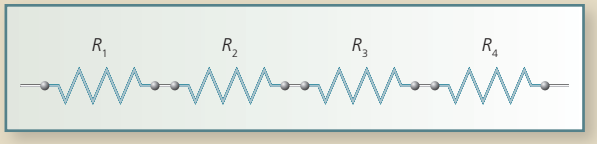
Fórmulas

a) $R_e = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$

b) $\dfrac{1}{R_e} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{R_3} + \dfrac{1}{R_4}$

Sustitución y resultados

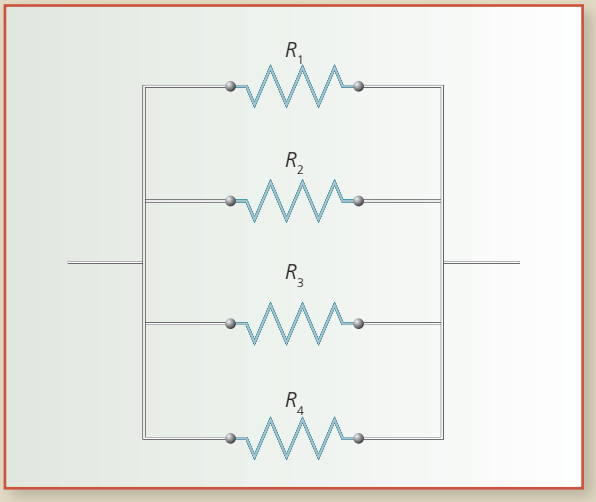
a) Diagrama de las resistencias conectadas en serie:



Cálculo de la resistencia equivalente:

$R_e = 10 + 20 + 25 + 50 = 105\ \Omega$

b) Diagrama de las resistencias conectadas en paralelo:



Cálculo de la resistencia equivalente:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{25} + \frac{1}{50}$$

$$\frac{1}{R_e} = 0.1 + 0.05 + 0.04 + 0.02 = 0.21$$

$$R_e = \frac{1}{0.21} = 4.76\ \Omega$$

4 Dos focos, uno de 70 Ω y otro de 80 Ω, se conectan en serie con una diferencia de potencial de 120 V.

a) Representar el circuito eléctrico.

b) Calcular la intensidad de la corriente que circula por el circuito.

c) Determinar la caída de voltaje o de tensión en cada resistencia.

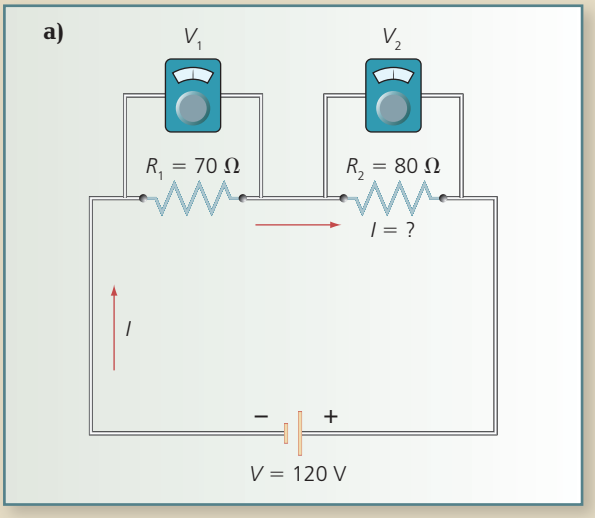
Solución:

Recuerde: Para resistencias en serie:

$$R_e = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$$

Ley de Ohm: $I = \dfrac{V}{R}$

a)



b) Cálculo de la resistencia equivalente del circuito:

$R_e = R_1 + R_2 = 70\ \Omega + 80\ \Omega = 150\ \Omega$

Aplicando la ley de Ohm calculamos la intensidad de la corriente eléctrica que pasa por R_1 y R_2:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120\ \text{V}}{150\ \Omega} = 0.8\ \text{A}$$

c) Para determinar la caída de voltaje o de tensión en cada resistencia y dado que la intensidad de corriente que circula por R_1 es igual a la de R_2:

$V_1 = IR_1 = 0.8\ \text{A} \times 70\ \Omega = 56\ \text{V}$

$V_2 = IR_2 = 0.8\ \text{A} \times 80\ \Omega = 64\ \text{V}$

Como se observa, al sumar la caída de tensión en R_1 más la caída de tensión en R_2, obtenemos: 56 V + 64 V = 120 V que es igual al valor del voltaje suministrado.

5 Una plancha eléctrica de 60 Ω se conecta en paralelo a un tostador eléctrico de 90 Ω con un voltaje de 120 V.

a) Representar el circuito eléctrico.

b) Determinar la resistencia equivalente del circuito.

c) Calcular la intensidad de la corriente que circula por el circuito.

d) ¿Cuál es la intensidad de la corriente que circula por cada resistencia?

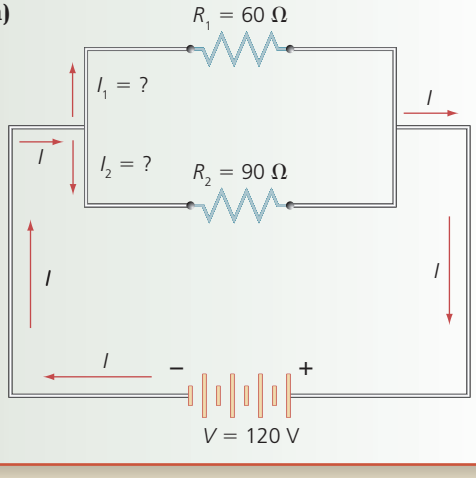
Solución:

Recuerde: Para resistencias en paralelo:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

Ley de Ohm: $I = \dfrac{V}{R}$

a)



b) Cálculo de la resistencia equivalente:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{60} + \frac{1}{90}$$

$$= 0.017 + 0.011 = 0.028$$

$$R_e = \frac{1}{0.028} = 35.71\ \Omega$$

c) Cálculo de la intensidad de la corriente del circuito:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120\ \text{V}}{35.71\ \Omega} = 3.3\ \text{A}$$

d) Cálculo de la intensidad de la corriente que circula por R_1 y R_2:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{120\ \text{V}}{60\ \Omega} = 2\ \text{A}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{120\ \text{V}}{90\ \Omega} = 1.3\ \text{A}$$

Al sumar la corriente que pasa por R_1 y R_2 tenemos: $I = I_1 + I_2 = 2\ \text{A} + 1.3\ \text{A} = 3.3\ \text{A}$, que es igual a la corriente calculada en **c)**.

6 Una serie formada por nueve focos de Navidad con una resistencia de 20 Ω cada uno, se conecta a un voltaje de 120 V. Calcular:

a) ¿Cuál es la resistencia equivalente?

b) ¿Cuál es la intensidad de la corriente que circula por cada resistencia?

c) ¿Cuál es la caída de tensión en cada uno de los focos?

Solución:

a) $R_e = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_9$

$R_e = 20\ \Omega \times 9 = 180\ \Omega$

b) $I = \dfrac{V}{R} = \dfrac{120\ \text{V}}{180\ \Omega} = 0.67\ \text{A}$

c) Como la caída de tensión es igual en cada una de las resistencias y la corriente que circula por ellas también es igual, tenemos:

$V_1 = V_2 = \ldots = V_9$

$V_1 = IR_1 = 0.67\ \text{A} \times 20\ \Omega = 13.4\ \text{V}$

Al multiplicar la caída de tensión en R_1 por 9 que es el número de resistencias conectadas, nos da 120 V, que es igual al voltaje total suministrado.

7 Tres aparatos eléctricos de 8 Ω, 15 Ω y 20 Ω, se conectan en paralelo a una batería de 60 V.

a) Representar el circuito eléctrico.

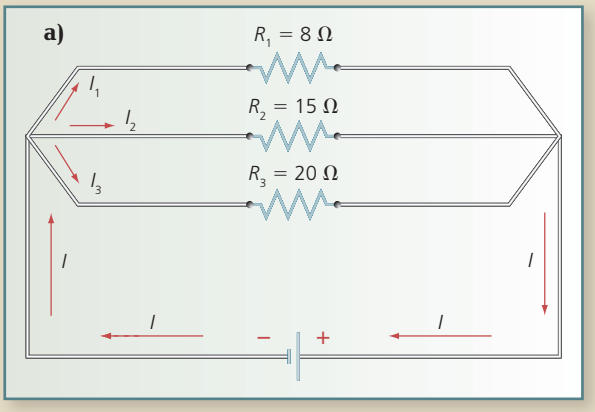
b) Calcular la resistencia equivalente.

c) Determinar la corriente total suministrada por la batería.

d) ¿Cuál es la corriente que circula por cada aparato?

Solución:

a)



b) Cálculo de la resistencia equivalente:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{8} + \frac{1}{15} + \frac{1}{20}$$

$$= 0.125 + 0.066 + 0.05 = 0.241$$

$$R_e = \frac{1}{0.241} = 4.15\ \Omega$$

c) La corriente total suministrada por la batería:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{60\ \text{V}}{4.15\ \Omega} = 14.5\ \Omega$$

d) Cálculo de la corriente que circula por cada aparato:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{60\ \text{V}}{8\ \Omega} = 7.5\ \text{A}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{60\ \text{V}}{15\ \Omega} = 4\ \text{A}$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{60\ \text{V}}{20\ \Omega} = 3\ \text{A}$$

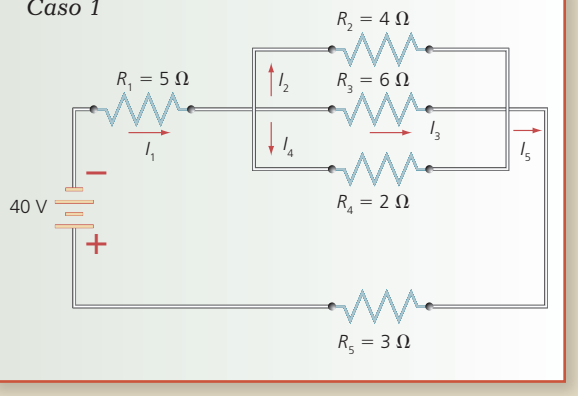
Al sumar cada una de las corrientes que pasan por cada aparato, tenemos: $I = I_1 + I_2 + I_3 = 7.5\ \text{A} + 4\ \text{A} + 3\ \text{A} = 14.5\ \text{A}$, cantidad igual a la calculada en el inciso **c)**.

8 En las siguientes figuras se muestran varios circuitos de conexiones mixtas de resistencias. Calcular para cada caso:

a) La resistencia equivalente del circuito.

b) La intensidad de la corriente total que circula por el mismo.

Caso 1



Solución:

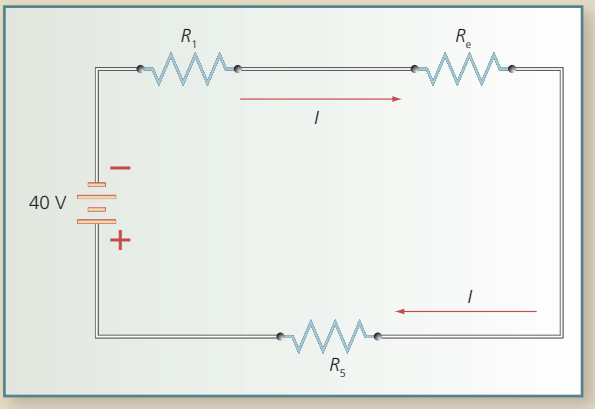
a) Como se observa, R_2, R_3 y R_4 están conectadas entre sí en paralelo, por tanto, debemos

calcular su resistencia equivalente que representaremos por R_e:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{2} = 0.25 + 0.166 + 0.5 = 0.916$$

$$R_e = \frac{1}{0.916} = 1.09\ \Omega$$

Al encontrar la resistencia equivalente de las tres resistencias en paralelo, nuestro circuito se ha reducido a uno más simple de tres resistencias conectadas en serie:



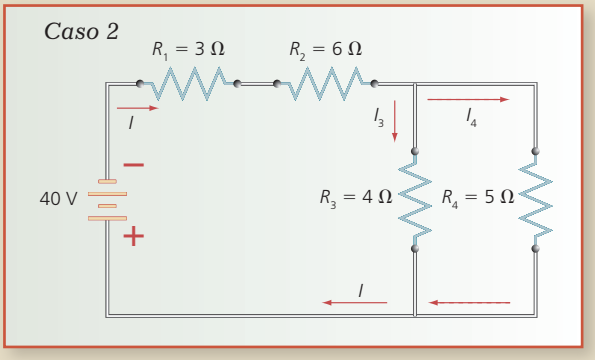
donde la resistencia total del circuito, representada por R_T, será:

$$R_T = R_1 + R_e + R_5$$

$$R_T = 5\ \Omega + 1.09\ \Omega + 3\ \Omega = 9.09\ V$$

b) La corriente total del circuito es:

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{40\ V}{9.09\ \Omega} = 4.4\ A$$



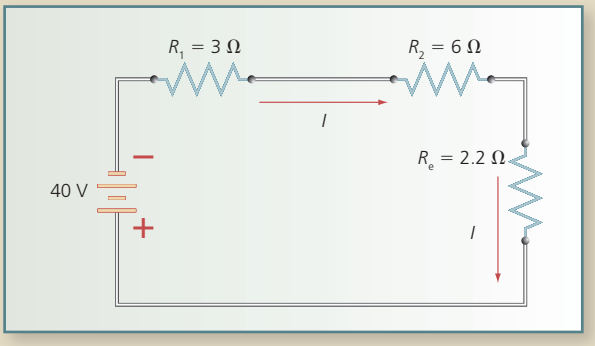
Solución:

a) R_3 y R_4 están en paralelo y su resistencia equivalente es:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{4} + \frac{1}{5} = 0.25 + 0.2 = 0.45$$

$$R_e = \frac{1}{0.45} = 2.2\ \Omega$$

Ahora nuestro circuito se ha reducido a tres resistencias en serie:

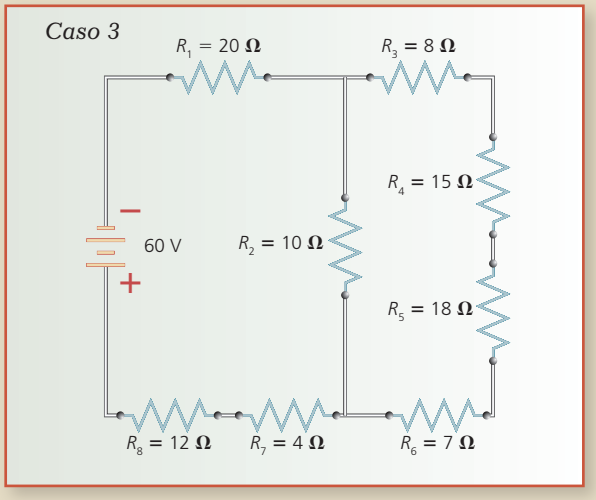


La resistencia total del circuito es:

$$R_T = 3\ \Omega + 6\ \Omega + 2.2\ \Omega = 11.2\ \Omega$$

b) La corriente total del circuito es:

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{20\ V}{11.2\ \Omega} = 1.78\ A$$



Solución:

a) R_3, R_4, R_5 y R_6 están en serie y equivalen a una resistencia cuyo valor es:

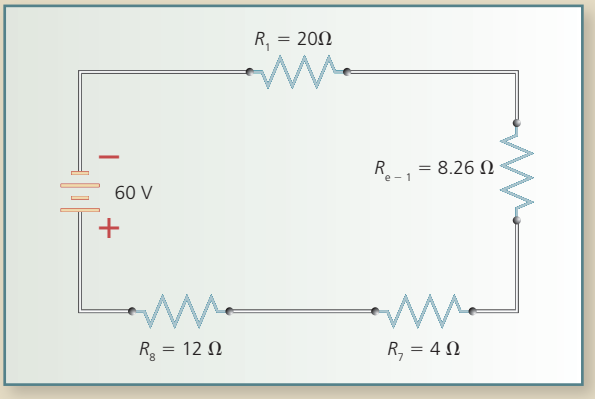
$$R_e = 8\ \Omega + 15\ \Omega + 18\ \Omega + 7\ \Omega = 48\ \Omega$$

A su vez, R_e está en paralelo con R_2 de donde su resistencia equivalente R_{e-1} es igual a:

$$\frac{1}{R_{e-1}} = \frac{1}{48} + \frac{1}{10} = 0.021 + 0.1 = 0.121$$

$$R_{e-1} = \frac{1}{0.121} = 8.26\ \Omega$$

Ahora nuestro circuito se ha reducido a cuatro resistencias en serie:



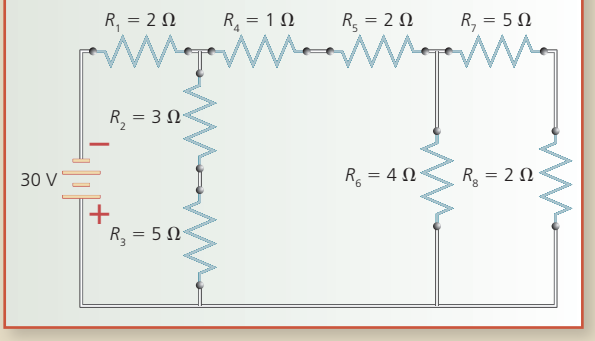
La resistencia total del circuito es de:

$$R_T = 20\ \Omega + 8.26\ \Omega + 4\ \Omega + 12\ \Omega = 44.26\ \Omega$$

b) La corriente total del circuito es:

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{60\ \text{V}}{44.26\ \Omega} = 1.35\ \text{A}$$

Caso 4



Solución:

a) Las resistencias R_7 y R_8 están en serie, y equivalen a 7 Ω, la cual se encuentra en paralelo con R_6, por lo que la resistencia equivalente es:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{7} + \frac{1}{4} = 0.143 + 0.25 = 0.393$$

$$R_e = \frac{1}{0.393} = 2.5\ \Omega$$

La resistencia R_e está en serie con R_4 y R_5 y éstas equivalen a una resistencia de $2.5\ \Omega + 1\ \Omega + 2\ \Omega = 5.5\ \Omega$, que a su vez está en paralelo con R_2 y R_3; como están en serie, R_2 y R_3 equivalen a una resistencia de 8 Ω, de donde la resistencia R_{e-1},será igual a:

$$\frac{1}{R_{e-1}} = \frac{1}{5.5} + \frac{1}{8} = 0.18 + 0.12 = 0.3$$

$$R_{e-1} = \frac{1}{0.3} = 3.3\ \Omega$$

Como R_1 está en serie con R_{e-1}, el valor de la resistencia total del circuito es:

$$R_T = R_1 + R_{e-1} = 2\ \Omega + 3.3\ \Omega = 5.3\ \Omega$$

b) La corriente total que circula por el circuito es:

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{30\ \text{V}}{5.3\ \Omega} = 5.7\ \text{A}$$

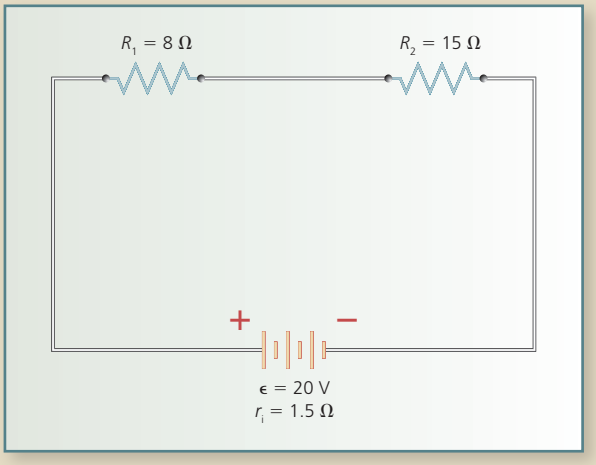
9 Si una batería tiene una fuerza electromotriz (*fem*) de 20 V, una resistencia interna de 1.5 Ω y se conecta a dos resistencias en serie de 8 y 15 Ω, como se ve en la figura. Calcular:

a) La resistencia total del circuito.

b) La intensidad de la corriente que circula por el circuito.

c) La caída de tensión en cada una de las resistencias.

d) El voltaje real que suministra la batería cuando está cerrado el circuito.



Solución:

a) La resistencia total del circuito considerando la resistencia interna de la batería es:

$$R_T = R_1 + R_2 + r_i = 8\ \Omega + 15\ \Omega + 1.5\ \Omega = 24.5\ \Omega$$

b) La intensidad de la corriente es:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{20\ \text{V}}{24.5\ \Omega} = 0.816\ \text{A}$$

c) La caída de tensión en cada una de las resistencias es:

$$V_1 = IR_1 = 0.816\ \text{A} \times 8\ \Omega = 6.6\ \text{V}$$

$$V_2 = IR_2 = 0.816\ \text{A} \times 15\ \Omega = 12.2\ \text{V}$$

$$V_{\text{pila}} = Ir_i = 0.816\ \text{A} \times 1.5\ \Omega = 1.2\ \text{V}$$

d) El voltaje real que suministra la batería es igual a:

V_R = *fem* − caída de tensión en la pila

V_R = 20 V − 1.2 V = 18.8 V

Voltaje que equivale a la caída de tensión en R_1 y R_2, es decir:

$V_1 + V_2$ = 6.6 V + 12.2 V = 18.8 V

Ejercicios propuestos

1. Determinar la resistencia equivalente de dos resistencias cuyos valores son: R_1 = 15 Ω y R_2 = 23 Ω, conectadas primero en serie y luego en paralelo.

2. Calcular la resistencia equivalente de las siguientes tres resistencias: R_1 = 17 Ω, R_2 = 12 Ω y R_3 = 25 Ω, conectadas primero en serie y luego en paralelo.

3. Calcular la resistencia que al ser conectada en paralelo con otra de 28 Ω, reduce la resistencia de un circuito a 8 Ω.

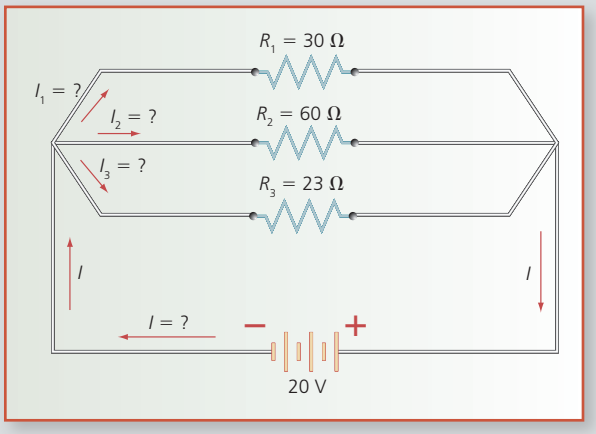
4. Determinar la resistencia equivalente de cuatro resistencias, cuyos valores son: R_1 = 3 Ω, R_2 = 1 Ω, R_3 = 4 Ω y R_4 = 2 Ω, conectadas primero en serie y luego en paralelo. Dibuje el diagrama que represente la conexión en cada caso.

5. Elabore un dibujo que represente la conexión en serie de tres focos de 40 Ω, 50 Ω y 60 Ω, respectivamente, conectados a una batería de 90 V. **Calcular**:

   a) La intensidad de la corriente que circula por el circuito.

   b) La caída de tensión en cada resistencia.

6. De acuerdo con el circuito eléctrico representado en la siguiente figura, calcular:



   a) La resistencia equivalente del circuito.

   b) La intensidad total de la corriente que circula por el circuito.

   c) La intensidad de la corriente que circula por cada resistencia.

7. Siete focos de Navidad con una resistencia de 30 Ω cada uno, se conectan en serie con una diferencia de potencial de 90 V. **Calcular**:

   a) La resistencia equivalente del circuito.

   b) La intensidad de la corriente que circula por cada resistencia.

   c) La caída de tensión en cada uno de los focos.

8. Dibujar un circuito que represente tres resistencias de 19 Ω, 25 Ω y 30 Ω, respectivamente, conectadas en paralelo a una batería de 40 V. **Calcular**:

   a) La resistencia equivalente del circuito.

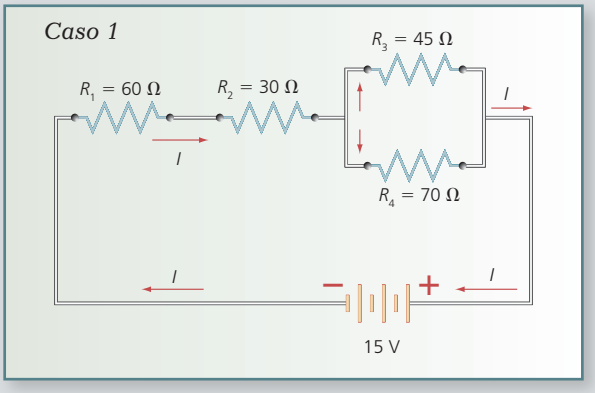
   b) La intensidad de corriente suministrada por la batería.

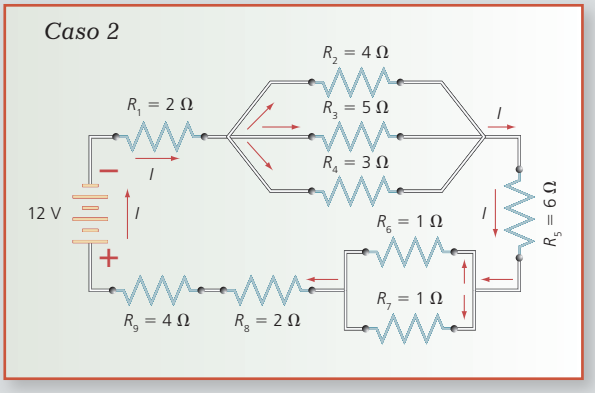
   c) El amperaje que circula por cada resistencia.

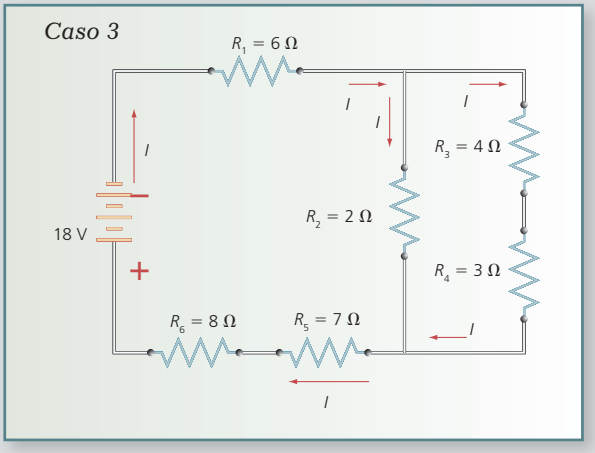
9. En cada una de las siguientes conexiones mixtas de resistencias, determinar:

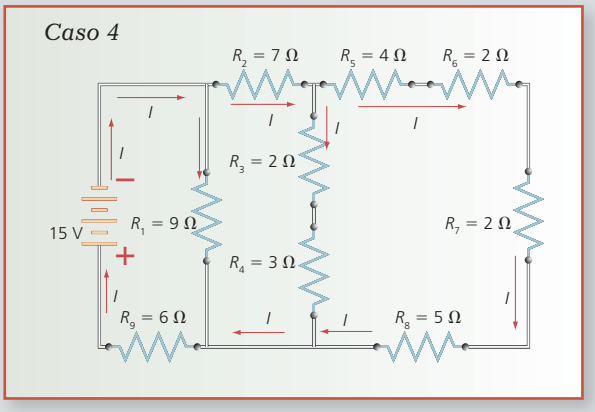
   a) La resistencia equivalente del circuito.

   b) La intensidad de la corriente total que circula por el circuito.









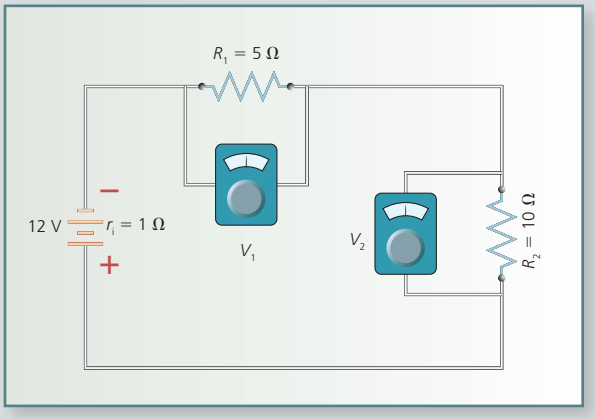
10 Si una batería con una *fem* de 12 V y una resistencia interna de 1 Ω, se conecta a dos resistencias en serie de 5 y 10 Ω, respectivamente, como se ve en la figura. Calcular:

a) La resistencia total del circuito.

b) La intensidad de la corriente que circula por el circuito.

c) La caída de tensión en cada una de las resistencias.

d) El voltaje real que suministra la batería cuando está cerrado el circuito.



17 Potencia eléctrica y efecto Joule

Siempre que una carga eléctrica se mueve en un circuito a través de un conductor realiza un trabajo, mismo que se consume generalmente en calentar el circuito o hacer girar un motor. Cuando se desea conocer la rapidez con que se realiza un trabajo, se determina la potencia eléctrica. Por definición: la potencia eléctrica es la rapidez con que se realiza un trabajo; también se interpreta como la energía que consume una máquina o cualquier dispositivo eléctrico en un segundo.

Para deducir la expresión matemática de la potencia eléctrica, partimos del concepto de diferencia de potencial visto en la sección 10: Diferencia de potencial, de esta unidad.

Diferencia de potencial = $\frac{\text{trabajo}}{\text{carga}}$; es decir:

$$V = \frac{T}{q} \tag{1}$$

Despejando el trabajo:

$$T = Vq \tag{2}$$

Como potencia es la rapidez con la cual se realiza un trabajo, tenemos que:

potencia = $\frac{\text{trabajo}}{\text{tiempo}}$, es decir:

$$P = \frac{T}{t} \tag{3}$$

Sustituyendo la ecuación 2 en la 3, tenemos:

$$P = \frac{Vq}{t} \tag{4}$$

Como la intensidad de la corriente eléctrica es igual a la carga que pasa por un conductor en la unidad de tiempo, tenemos que:

$$I = \frac{q}{t} \tag{5}$$

Sustituyendo la ecuación 5 en la 4, obtenemos:

$$P = VI \tag{6}$$

donde: P = potencia eléctrica en watts (W)

V = diferencia de potencial en volts (V)

I = intensidad de la corriente en amperes (A)

Es sencillo demostrar que un watt es igual a un volt-ampere, veamos:

$$V = \frac{T}{q} \text{ en } \frac{\text{joule}}{\text{coulomb}}$$

$$I = \frac{q}{t} \text{ en } \frac{\text{coulomb}}{\text{segundo}}$$

$$VI = \frac{\text{joule}}{\text{coulomb}} \times \frac{\text{coulomb}}{\text{segundo}}$$

$$VI = \frac{\text{joule}}{\text{segundo}} = \text{watt}$$

Al utilizar la ley de Ohm podemos demostrar que:

$$P = I^2R \tag{7}$$

y

$$P = \frac{V^2}{R} \tag{8}$$

La ecuación 7 se obtiene considerando que: $V = IR$, como $P = VI$, al sustituir V en la ecuación 6 tenemos: $P = IRI = I^2R$.

Como $I = \frac{V}{R}$ y $P = VI$, la ecuación 8 se obtiene al sustituir I en la ecuación 6 de la siguiente manera:

$$P = V\frac{V}{R} = \frac{V^2}{R}$$

La potencia eléctrica también es la energía que consume una máquina o cualquier dispositivo eléctrico en un segundo, por tanto:

$$P = \frac{T}{t} \therefore T = Pt \tag{9}$$

donde: T = trabajo realizado igual a la energía eléctrica consumida en watt-segundo en el SI. Prácticamente, se mide en kilowatts hora = kW-h

P = potencia eléctrica de la máquina o dispositivo eléctrico en watts (W)

t = tiempo que dura funcionando la máquina o el dispositivo eléctrico en segundos (s)

Como $P = VI$, la ecuación 9 puede expresarse de la siguiente manera:

$$T = VIt \tag{10}$$

Resolución de problemas de potencia eléctrica

1 Calcular:

a) ¿Qué potencia eléctrica desarrolla una parrilla que recibe una diferencia de potencial de 120 V y por su resistencia circula una corriente de 6 A?

b) La energía eléctrica consumida en kW-h, al estar encendida la parrilla 45 minutos.

c) ¿Cuál es el costo del consumo de energía eléctrica de la parrilla si el precio de 1 kW-h lo consideramos de $0.9?

Solución:

Datos **Fórmulas**

a) $P = ?$ **a)** $P = V\,I$

$V = 120$ V **b)** $T = Pt$

$I = 6$ A

b) $T = ?$

$t = 45$ min

c) Costo del consumo de energía eléctrica = ?
1 kW-h = \$0.9

Sustitución y resultados

a) $P = VI = 120\text{ V} \times 6\text{ A} = 720\text{ W}$

Transformación de unidades

b) $720\text{ W} \times \dfrac{1\text{ kW}}{1\,000\text{ W}} = 0.72\text{ kW}$

$45\text{ min} \times \dfrac{1\text{ hora}}{60\text{ min}} = 0.75\text{ h}$

$T = Pt = 0.72\text{ kW} \times 0.75\text{ h} = 0.54\text{ kW-h}$

c) $0.54\text{ kW-h} \times \dfrac{\$0.9}{1\text{ kW-h}} = \$0.486$

2 Obtener la potencia eléctrica de un tostador de pan cuya resistencia es de 40 Ω y por ella circula una corriente de 3 A.

Solución:

Datos **Fórmula**

$P = ?$ $P = I^2R$

$R = 40\ \Omega$

$I = 3$ A

Sustitución y resultado

$P = (3\text{ A})^2 \times 40\ \Omega = 360\text{ W}$

3 Calcular el costo del consumo de energía eléctrica de un foco de 60 W que dura encendido 1 hora 15 minutos. El costo de 1 kW-h considérese de \$0.9.

Solución:

Datos **Fórmula**

Costo de la energía $T = Pt$

eléctrica consumida = ?

$P = 60\text{ W} = 0.06\text{ kW}$

$t = 1\text{ h } 15\text{ min} = 1.25\text{ h}$

1 kW-h = \$0.9

Sustitución y resultado

$T = 0.06\text{ kW} \times 1.25\text{ h} = 0.075\text{ kW-h}$

Costo de la energía:

$$0.075\text{ kW-h} \times \frac{\$0.9}{1\text{ kW-h}} = \$0.675$$

4 Un foco de 100 W se conecta a una diferencia de potencial de 120 V. Determinar:

a) La resistencia del filamento.

b) La intensidad de la corriente eléctrica que circula por él.

c) La energía que consume el foco durante 1 hora 30 minutos en kW-h.

d) El costo de la energía consumida, si un kW-h = \$0.9.

Solución:

Datos **Fórmulas**

$P = 100$ W **a)** $P = \dfrac{V^2}{R} \therefore R = \dfrac{V^2}{P}$

$V = 120$ V

a) $R = ?$ **b)** $P = IV \therefore I = \dfrac{P}{V}$

b) $I = ?$

c) $T = ?$ **c)** $T = Pt$

$t = 1\text{ h } 30\text{ min} = 1.5\text{ h}$

d) Costo de la energía consumida = ?
1 kW-h = \$0.9

Sustitución y resultados

a) $P = \dfrac{V^2}{R} \therefore R = \dfrac{V^2}{P}$

$R = \dfrac{(120\text{ V})^2}{100\text{ W}} = 144\ \Omega$

b) $P = IV \therefore I = \dfrac{P}{V}$

$I = \dfrac{100\text{ W}}{120\text{ V}} = 0.83\text{ A}$

c) $T = Pt = 0.1\text{ kW} \times 1.5\text{ h}$

$T = 0.15$ kW-h

d) Costo de la energía:

$$0.15\text{ kW-h} \times \frac{\$0.9}{1\text{ kW-h}} = \$0.135$$

Ejercicios propuestos

1. **Calcular**:
   - **a)** La potencia eléctrica de un foco que recibe una diferencia de potencial de 120 V si por su filamento circula una corriente de 0.5 A.
   - **b)** La resistencia del foco.
2. **Calcular**:
   - **a)** La potencia eléctrica de una plancha cuya resistencia es de 500 Ω al conectarse a una diferencia de potencial de 120 V.
   - **b)** ¿Cuál es la intensidad de la corriente que circula por la resistencia?
3. Calcular el costo del consumo de energía eléctrica originado por un foco de 75 W que dura encendido 30 min. Un kW-h = $0.9
4. **Determinar**:
   - **a)** La potencia eléctrica desarrollada por un calentador eléctrico que se conecta a una diferencia de potencial de 120 V y por su resistencia circula una corriente de 8 A.
   - **b)** ¿Qué energía eléctrica consume en kW-h al estar encendido 15 minutos?
   - **c)** ¿Cuál es el costo de la energía eléctrica consumida por el calentador al considerar a $0.9 el kW-h?
5. Un foco de 150 W se conecta a una diferencia de potencial de 120 V. Obtener:
   - **a)** La intensidad de la corriente eléctrica que circula por el filamento.
   - **b)** La resistencia del filamento.
   - **c)** La energía eléctrica en kW-h que consume el foco durante una hora 45 minutos.
   - **d)** El costo de la energía consumida si un kW-h cuesta $0.9.

Efecto Joule

Cuando circula corriente eléctrica en un conductor, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor y eleva la temperatura de éste con lo cual se origina el fenómeno que recibe el nombre de efecto Joule.

El enunciado de la ley de Joule es el siguiente: el calor que produce una corriente eléctrica al circular por un conductor es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente, a la resistencia y al tiempo que dura circulando la corriente. Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$Q = 0.24\, I^2 Rt$$

Al observar la expresión matemática anterior encontramos que I^2Rt es la potencia eléctrica multiplicada por el tiempo, lo cual proporciona la energía consumida, es decir: $T = Pt = I^2Rt$. Esta cantidad de energía eléctrica consumida en joules se transforma en calor, por ello la constante 0.24 representa la equivalencia siguiente:

1 joule de trabajo = 0.24 calorías de energía térmica

Por tanto, si queremos conocer la energía consumida ($E = T$) por un aparato eléctrico expresada en joules, de acuerdo con la ley de Joule:

$$E = T = I^2Rt = Pt \text{ en W} \bullet \text{s} = \text{joule} = \text{J}$$

como $I = \dfrac{V}{R}$, tenemos que $I^2 = \dfrac{V^2}{R^2}$, de donde:

$$E = T = \frac{V^2}{R} \quad \text{o bien,} \quad T = Pt \text{ en J}$$

Cualquiera de las expresiones es útil para calcular la energía consumida por un aparato eléctrico expresada en joules, por lo que seleccionaremos la que nos resulte más sencilla o útil, de acuerdo con los datos disponibles.

Existen varios aparatos y dispositivos eléctricos que producen calor como consecuencia del efecto Joule, por ejemplo: planchas, radiadores, tostadores, calentadores o parrillas eléctricas (figura 12.51). En estos utensilios una corriente relativamente alta circula por una bobina de varios ohms de resistencia. El alambre de la bobina se fabrica con una aleación especial y de un tamaño apropiado, de tal manera que el calor generado no eleve la temperatura hasta el punto de fusión. Para la iluminación se usan los focos eléctricos que tienen una resistencia consistente en un filamento de tungsteno, cuando pasa la corriente por el filamento, éste se calienta y lo vuelve incandescente.





figura 12.51

El efecto Joule se utiliza en diversos aparatos que producen calor cuando por su resistencia circula una corriente eléctrica.

Resolución de problemas del efecto Joule

1 Por la resistencia de 30 Ω de una plancha eléctrica circula una corriente de 4 A al estar conectada a una diferencia de potencial de 120 V. ¿Qué cantidad de calor produce en cinco minutos?

Solución:

Datos	**Fórmulas**
$R = 30\ \Omega$	$Q = 0.24\ I^2\ Rt$
$I = 4$ A	
$V = 120$ V	
$t = 5$ min $= 300$ s	
$Q = ?$	

Sustitución y resultado

$Q = 0.24\ (4\text{ A})^2 \times 30\ \Omega \times 300$ s $=$ 34 560 calorías

2 Por el embobinado de un cautín eléctrico circulan 5 ampers al estar conectado a una diferencia de potencial de 120 V. ¿Qué calor genera en un minuto?

Solución:

Datos	**Fórmula**
$I = 5$ A	$Q = 0.24 I^2\ Rt$
$V = 120$ V	
$t = 1$ min $= 60$ s	
$Q = ?$	

Cálculo de R:

$$I = \frac{V}{R} \therefore R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{120\text{ V}}{5\text{ A}} = 24\ \Omega$$

Sustitución y resultado

$Q = 0.24\ (5\text{ A})^2 \times 24\ \Omega \times 60$ s $=$ 8 640 calorías

3 Un tostador eléctrico de pan tiene una resistencia de 20 Ω y se conecta durante dos minutos a una diferencia de potencial de 120 V. ¿Qué cantidad de calor produce?

Solución:

Datos	**Fórmula**
$R = 20\ \Omega$	$Q = 0.24\ I^2 Rt$
$t = 2$ min $= 120$ s	
$V = 120$ V	
$Q = ?$	

Cálculo de I:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120\text{ V}}{20\ \Omega} = 6\text{ A}$$

Sustitución y resultado

$Q = 0.24(6\text{ A})^2 \times 20\ \Omega \times 120$ s $=$ 20 736 calorías

Ejercicios propuestos

1. Calcular la cantidad de calor que produce un radiador eléctrico de 15 Ω de resistencia al circular una corriente de 8 A, si está conectado a una diferencia de potencial de 120 V durante 30 minutos.
2. Una plancha eléctrica tiene una resistencia de 16 Ω y se conecta durante 20 minutos a una diferencia de potencial de 120 V. ¿Qué cantidad de calor produce?
3. Un tostador eléctrico tiene una resistencia por la que circulan 10 A al estar conectado a una diferencia de potencial de 120 V. ¿Qué cantidad de calor desarrolla en tres minutos?
4. Determinar el calor desarrollado en dos minutos por un cautín eléctrico cuya potencia es de 150 watts.

18 Leyes de Kirchhoff

El físico alemán **Gustav Robert Kirchhoff** (1824-1887) fue uno de los pioneros en el análisis de los circuitos eléctricos. A mediados del siglo XIX propuso dos leyes que llevan su nombre.

Primera ley de Kirchhoff

La suma de todas las intensidades de corriente que llegan a un nodo (unión o empalme) de un circuito es igual a la suma de todas las intensidades de corriente que salen de él. De esta manera son de signo positivo las corrientes que fluyen a un nodo, y negativas las que salen de él. La primera ley establece: la suma algebraica de todas las intensidades de corriente en cualquier unión o nodo de un circuito es igual a cero (figura 12.52)

Por definición, un nodo es un punto de una red eléctrica en el cual convergen tres o más conductores. En la figura 12.52 vemos que al nodo A llega una corriente I, la cual se divide para formar las corrientes I_1 e I_2. Como en el nodo A no se ganan ni se pierden electrones, I es igual a la suma de I_1 más I_2. En otras palabras, **igual corriente fluye hacia un punto como sale de él**.

De acuerdo con la figura 12.52 tenemos que en el nodo A:

$$I = I_1 + I_2$$

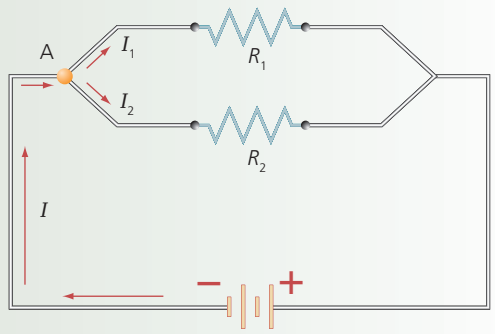


figura 12.52

En el nodo A llega una corriente I que se divide en I_1 y en I_2. Esto ejemplifica la primera ley de Kirchhoff, la cual dice: la suma algebraica de todas las intensidades de corriente que entran y salen de un punto en un circuito es igual a cero.

Considerando que las corrientes de entrada tienen signo positivo y negativo las de salida, la suma algebraica de las corrientes será igual a cero. Veamos:

$$I + (-I_1) + (-I_2) = 0$$

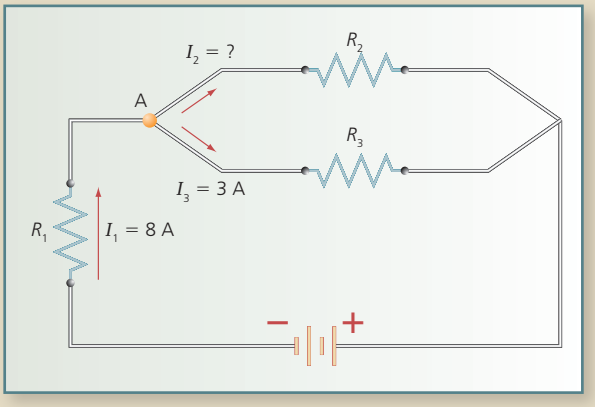
Como puede observarse, **esta primera ley confirma el principio de la conservación de las cargas eléctricas**.

Resolución de problemas de la Primera Ley de Kirchhoff

1. Determinar la intensidad de la corriente que pasa por I_2 en el circuito de la página siguiente, aplicando la primera ley de Kirchhoff.

Solución:

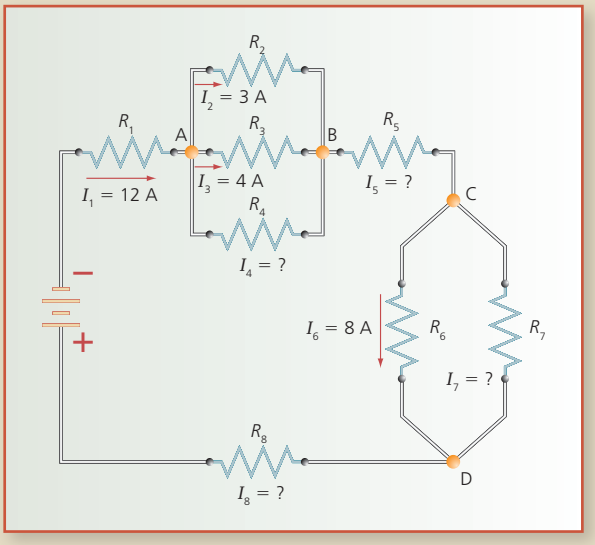
Como ΣI que entran = ΣI que salen, en el nodo A:



$I_1 = I_2 + I_3 \therefore$

$I_2 = I_1 - I_3 = 8\text{ A} - 3\text{ A} = 5\text{ A}$

2 En el siguiente circuito eléctrico, calcular las intensidades desconocidas, así como el sentido de dicha corriente. Aplique la primera ley de Kirchhoff.



Solución:

Para el cálculo de I_4 sabemos que en el nodo A:

$$\Sigma I \text{ de entrada} = \Sigma I \text{ de salida.}$$

$I_1 = I_2 + I_3 + I_4 \therefore$

$I_4 = I_1 - I_2 - I_3 = 12\text{ A} - 3\text{ A} - 4\text{ A} = 5\text{ A}$

El sentido de la corriente es el mismo de I_2 e I_3 y se dirige al nodo *B*.

Para el cálculo de I_5 tenemos que en el nodo *B*: ΣI entrada $= \Sigma I$ salida.

$$I_2 + I_3 + I_4 = I_5$$

$3\text{ A} + 4\text{ A} + 5\text{ A} = 12\text{ A}$

El sentido de la corriente es hacia el nodo C. Para el cálculo de I_7 tenemos que en el nodo C: ΣI entrada $= \Sigma I$ salida.

$$I_5 = I_6 + I_7$$

$$I_7 = I_5 - I_6 = 12\text{ A} - 8\text{ A} = 4\text{ A}$$

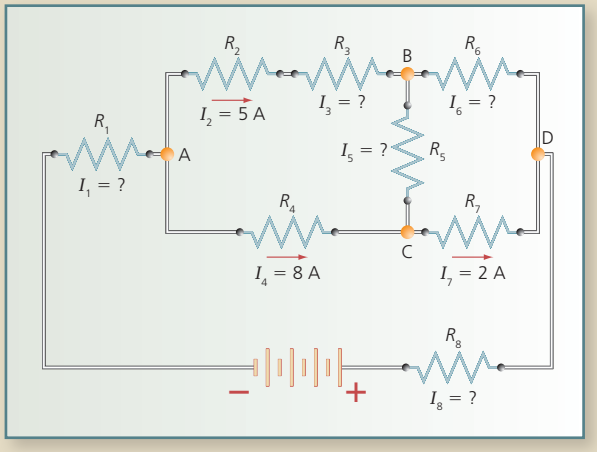
El sentido de la corriente es hacia el nodo D. Para el cálculo de I_8 tenemos que en el nodo D: ΣI entrada $= \Sigma I$ salida.

$$I_6 + I_7 = I_8$$

$$8\text{ A} + 4\text{ A} = 12\text{ A}$$

El sentido de la corriente es hacia la terminal positiva de la batería.

3 En el siguiente circuito eléctrico, determinar las intensidades desconocidas, así como el sentido de dicha corriente. Aplique la primera ley de Kirchhoff.



Solución:

Cálculo de I_1:

En el nodo *A*: ΣI entrada $= \Sigma I$ salida.

$$I_1 = I_2 + I_4$$

$$5\text{ A} + 8\text{ A} = 13\text{ A}$$

El sentido de la corriente es hacia el nodo A.

Cálculo de I_3:

Como R_2 y R_3 están conectadas en serie, la corriente que pasa por R_2 es la misma que circula por R_3, de donde: $I_2 = I_3 = 5$ A, al llegar a B.

Cálculo de I_5:

En el nodo C: ΣI entrada $= \Sigma I$ salida.

$$I_4 = I_5 + I_7$$

$$I_5 = I_4 - I_7 = 8\text{ A} - 2\text{ A} = 6\text{ A}$$

El sentido de la corriente I_5 es hacia el nodo B.

Cálculo de I_6:

En el nodo B: ΣI entrada $= \Sigma I$ salida.

$$I_3 + I_5 = I_6$$

$$5\text{ A} + 6\text{ A} = 11\text{ A}$$

El sentido de la corriente I_6 es hacia el nodo D.

Cálculo de I_8:

En el nodo D: ΣI entrada $= \Sigma I$ salida.

$$I_6 + I_7 = I_8$$

$$11\text{ A} + 2\text{ A} = 13\text{ A}$$

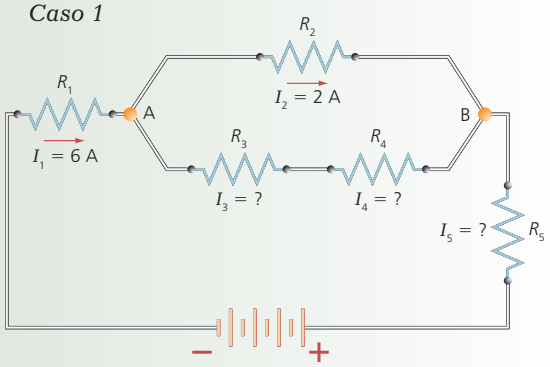
El sentido de la corriente I_8 es hacia la terminal positiva de la batería.

Como se observa $I_1 = I_8$, lo cual confirma que la cantidad de corriente eléctrica de entrada es igual a la de salida.

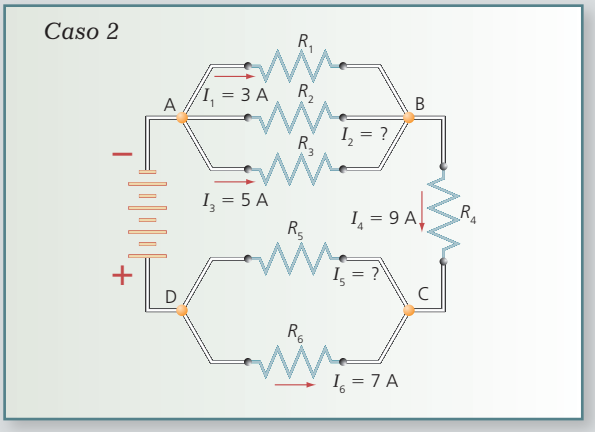
Ejercicios propuestos

En los siguientes circuitos eléctricos calcular las intensidades desconocidas, así como el sentido de dicha corriente.

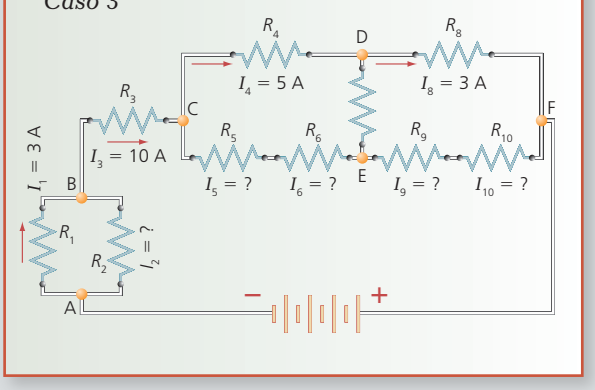
Caso 1



Caso 2



Caso 3



Segunda ley de Kirchhoff

En un circuito cerrado o malla, las caídas de tensión totales en las resistencias son iguales a la tensión total que se aplica al circuito. En otras palabras, la suma de las fuerzas electromotrices $\Sigma\varepsilon$ en un circuito cerrado o malla es igual a la suma de todas las caídas de potencial IR en el circuito; es decir: $\Sigma\varepsilon = \Sigma\, IR$.

Esta ley confirma el principio de la conservación de la energía. La energía que gana una fuente generadora de fuerza electromotriz (*fem*) al transformar las energías mecánica o química en eléctrica, se pierde en forma de

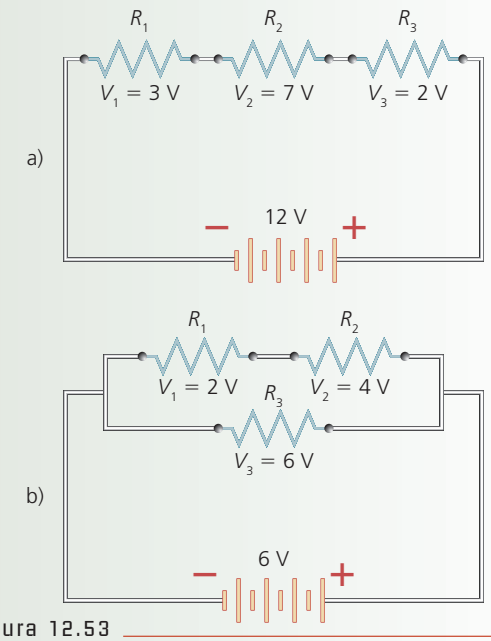


figura 12.53

En el circuito de la figura a) el voltaje total suministrado por la batería es igual a la suma de las caídas de tensión en cada resistencia (12 V). En b) como el circuito está en paralelo, R_3 tiene una caída de tensión de 6 V igual que la suma de $V_1 + V_2$ y que corresponde al valor de la *fem* proporcionada por la batería.

caídas de tensión (o caídas de voltaje), IR; o bien, cuando se reconvierte la energía eléctrica en mecánica al mover un motor.

En la figura 12.53 vemos dos circuitos eléctricos en los que las caídas de tensión en cada resistencia puede variar; sin embargo, al sumar éstas obtendremos un valor igual a la *fem* proporcionada por la batería.

De acuerdo con la figura 12.53a tenemos:

$$\Sigma \varepsilon = \Sigma IR$$

es decir:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

$$12 \text{ V} = 3 \text{ V} + 7 \text{ V} + 2 \text{ V}$$

Para la figura 12.53b, con el circuito en paralelo tenemos:

$$\Sigma \varepsilon = \Sigma\, IR$$

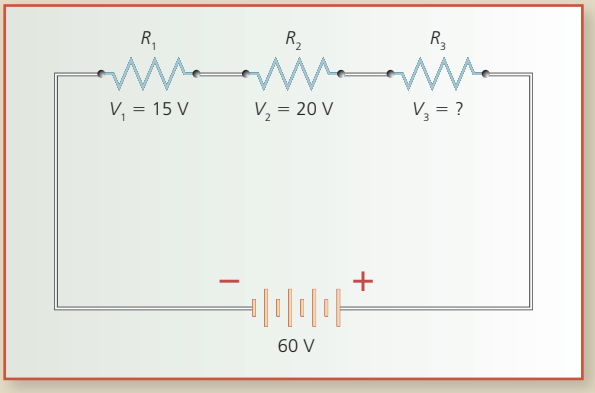
es decir:

$$V_T = V_1 + V_2 = V_3$$

$$6 \text{ V} = 2 \text{ V} + 4 \text{ V} = 6 \text{ V}$$

Resolución de problemas de la segunda ley de Kirchhoff

1 Calcular la caída de tensión (voltaje), en R_3 del siguiente circuito por medio de la segunda ley de Kirchhoff.



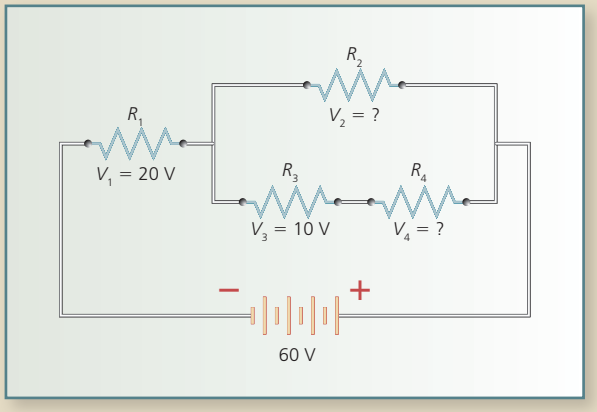
Solución:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_3 = V_T - V_1 - V_2$$

$$V_3 = 60 \text{ V} - 15 \text{ V} - 20 \text{ V} = 25 \text{ V}$$

2 Determinar la caída de tensión en R_2 y R_4 con la segunda ley de Kirchhoff.



Solución:

$$\Sigma \varepsilon = \Sigma IR \therefore$$

$$V_T = V_1 + V_2 = V_1 + V_3 + V_4$$

Cálculo de V_2:

Como la caída de tensión en V_1 es de 20 V y el voltaje total es de 60 V resulta:

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$V_2 = V_T - V_1 = 60\ \text{V} - 20\ \text{V} = 40\ \text{V}$$

Cálculo de V_4:

Ya vimos que por R_2 hay una caída de tensión de 40 V, y como R_2 está en paralelo con R_3 y R_4, por estas dos últimas resistencias debe haber también una caída total de tensión de 40 V:

$$40\ \text{V} = V_3 + V_4$$

$$V_4 = 40\ \text{V} - V_3 = 40\ \text{V} - 10\ \text{V} = 30\ \text{V}$$

o bien:

$$V_T = V_1 + V_3 + V_4$$

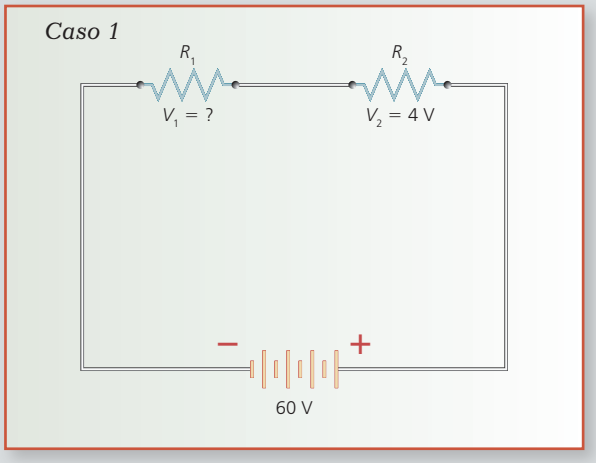
$$V_4 = V_T - V_1 - V_3$$

$$V_4 = 60\ \text{V} - 20\ \text{V} - 10\ \text{V} = 30\ \text{V}$$

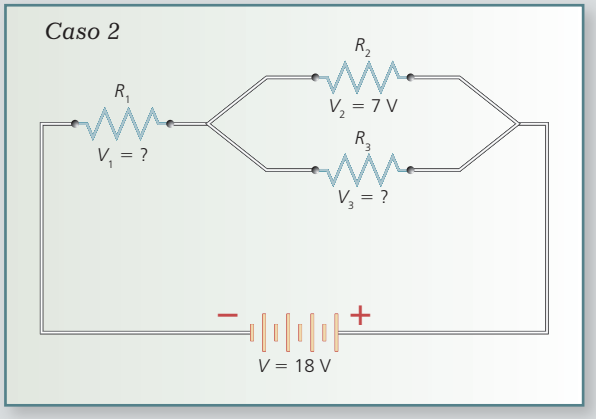
Ejercicios propuestos

De acuerdo con la segunda ley de Kirchhoff, calcular en los siguientes casos las caídas de tensión que se desconocen.

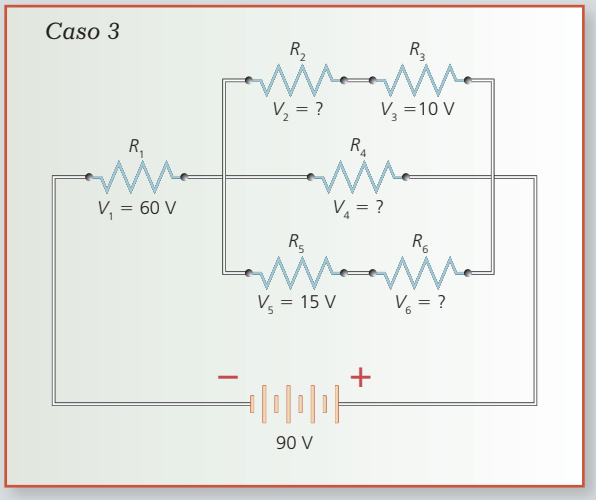
Caso 1



Caso 2



Caso 3



19 Capacitores o condensadores eléctricos

Un capacitor o condensador eléctrico es un dispositivo empleado para almacenar cargas eléctricas (figura 12.54). Un capacitor básico, como el mostrado en la figura 12.55, consta de dos láminas metálicas separadas por un aislante o dieléctrico que puede ser aire, vidrio, mica, aceite o papel encerado.

La capacidad o capacitancia de un capacitor se mide por la cantidad de carga eléctrica que puede almacenar. Para aumentar la capacitancia se hacen las siguientes modificaciones:



figura 12.54
Ejemplos de capacitores.

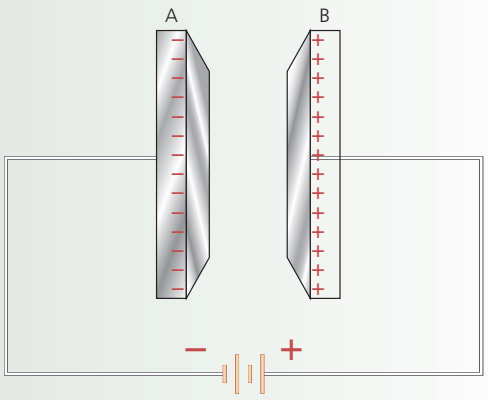


figura 12.55
La capacidad de almacenar carga aumenta si se acercan más las placas A y B entre sí, o bien al incrementarse el área de las placas o el voltaje de la batería.

a) Disminuir la distancia entre las placas metálicas, de tal manera que al acercarse, la placa positiva provocará que se atraigan más cargas negativas de la batería sobre la placa negativa y por supuesto más cargas positivas sobre la placa positiva.

b) Aumentar el área de las placas, pues mientras mayor superficie tengan, mayor será su capacidad de almacenamiento.

c) Aumentar el voltaje de la batería. La cantidad de carga Q que puede ser almacenada por un capacitor a un voltaje dado es proporcional a la capacitancia C y al voltaje V de donde:

$$Q = CV$$

Al despejar C de la fórmula anterior se obtiene la ecuación que permite definir la unidad de capacitancia:

$$C = \frac{Q}{V}$$

donde: C = capacitancia del capacitor en farads (F)

Q = carga almacenada por el capacitor en coulombs (C)

V = diferencia de potencial entre las placas del capacitor en volts (V)

A la unidad de capacitancia se le ha dado el nombre de farad (F) en honor de **Michael Faraday** (1791-1867), físico y químico inglés, pionero del estudio de la electricidad. Por definición: un capacitor tiene la capacitancia de un farad cuando al almacenar la carga de un coulomb su potencial aumenta un volt:

$$\text{Un farad} = \frac{\text{un coulomb}}{\text{un volt}}$$

Debido a que el farad es una unidad muy grande, en la práctica se utilizan submúltiplos de ella, como el microfarad (μF $= 1 \times 10^{-6}$ F) equivalente a la millonésima parte del farad y el micromicrofarad o picofarad (pF $= 1 \times 10^{-12}$ F) equivalente a la billonésima parte del farad.

Los capacitores utilizados en los circuitos eléctricos son de diversos tipos, formas y tamaños. Uno de los más usados en los aparatos de radio o en el sistema de encendido de los automóviles es el llamado capacitor de papel, el cual consta de dos bandas largas de laminillas de estaño separadas por una tira de papel delgado recubierto con parafina. También se empapa con parafina al conjunto formado por las laminillas de metal y el papel, esto

a su vez se enrolla con otra cinta de papel con parafina y se guarda en una pequeña unidad compacta. Cada laminilla de estaño se convierte en una de las placas del capacitor y el papel realiza la función de ser un aislante o dieléctrico.

Cuando se desea calcular la capacitancia de un capacitor de placas paralelas se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$C = \varepsilon \frac{A}{d}$$

donde: C = capacitancia en farads (F)

ε = constante que depende del medio aislante y recibe el nombre de permitividad en F/m

A = área de una de las placas paralelas en metros cuadrados (m^2)

d = distancia entre las placas en metros (m)

La **constante ε llamada permitividad eléctrica** o simplemente **permitividad del medio aislante**, es igual al producto de la constante de permitividad en el vacío $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ C^2/Nm^2$, y ε_r o sea, la permitividad relativa o coeficiente dieléctrico del medio aislante. Por tanto:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

Los valores de la permitividad relativa o coeficiente dieléctrico (ε_r) de algunas sustancias aislantes están dados en el cuadro 12.1 de esta unidad (pág. 382). Finalmente, cabe señalar que las unidades de la permeabilidad eléctrica o permitividad ε son F/m equivalente a C^2/Nm^2 igual que las unidades de ε_0.

Resolución de problemas de capacitores o condensadores eléctricos

1 Dos láminas cuadradas de estaño de 30 cm de lado están adheridas a las caras opuestas de una lámina de mica de 0.1 mm de espesor con una permitividad relativa ε_r de 5.6. ¿Cuál es la capacitancia?

Solución:

Datos

$\ell = 30\ cm = 0.3\ m$

$d = 0.1\ mm$

$\varepsilon_r = 5.6$

(leído en el cuadro 12.1)

$\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ F/m$

$C = ?$

Fórmulas

$C = \varepsilon \frac{A}{d}$

$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$

$A = \ell^2$

Cálculo de la permitividad ε de la mica:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

$$\varepsilon = 8.85 \times 10^{-12} \frac{F}{m} \times 5.6$$

$$= 49.56 \times 10^{-12} \frac{F}{m}$$

Cálculo del área de cualquiera de las dos placas:

$$A = \ell^2 = (0.3\,m)^2 = 0.09\ m^2 = 9 \times 10^{-2}\ m^2$$

Transformación de unidades:

$$\text{Como } 1\ m = 1 \times 10^3\ mm$$

$$0.1\ mm \times \frac{1\ m}{1 \times 10^3\ mm} = 1 \times 10^{-4}\ m$$

Sustitución y resultado

$$C = 49.56 \times 10^{-12} \frac{F}{m} \times \frac{9 \times 10^{-2}\ m^2}{1 \times 10^{-4}\ m} = 446 \times 10^{-10}\ F$$

$$= 0.0446\ \mu F$$

2 Las placas de un capacitor tienen una separación de 5 mm en el aire. Calcular su capacitancia si cada placa rectangular mide 15 cm × 20 cm.

Solución:

Datos

$d = 5\ mm$

$A = 15\ cm \times 20\ cm$

$\varepsilon_{r\ aire} = 1$

(leído en el cuadro 12.1)

$\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ F/m$

$C = ?$

Fórmula

$C = \varepsilon \frac{A}{d}$

Como la permitividad relativa para el aire prácticamente puede ser considerada igual a 1, la permitividad ε del aire es igual a la permitividad en el vacío ε_0, es decir:

$$\varepsilon_{aire} = \varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ F/m$$

Cálculo del área de una de las placas:

$$A = 0.15\ m \times 0.2\ m$$

$$= 0.03\ m^2 = 3 \times 10^{-2}\ m^2$$

Transformación de unidades:

$$5\ mm \times \frac{1\ m}{1 \times 10^3\ mm} = 5 \times 10^{-3}\ m$$

Sustitución y resultado

$$C = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \times \frac{3 \times 10^{-2}\ \text{m}^2}{5 \times 10^{-3}\ \text{m}} = 5.31 \times 10^{-11}\ \text{F} = 53.1\ \text{pF}$$

Usos de los capacitores

Los capacitores tienen muchos usos en los circuitos de corriente alterna, en los circuitos de radio y en el encendido de la mayoría de los automóviles.

Por ejemplo, en el preciso instante que se abre un circuito, con frecuencia los electrones siguen fluyendo como lo hacían inmediatamente antes de abrirlo. Esta pequeña corriente que continúa brevemente después de abrir el circuito logra atravesar el espacio entre los conductores del interruptor si no se encuentran muy separados. Debido a lo anterior, la descarga producida calienta y descarga las partes del interruptor. Existen dispositivos, como los empleados en el sistema de encendido de los automóviles, denominados **platinos**, los cuales se pueden abrir y cerrar varios cientos de veces por segundo, de manera que si no se impide el fenómeno antes descrito se deberían cambiar constantemente. Así pues, cuando se abre el interruptor, los electrones que podrían provocar una descarga entre los platinos de contacto, cargan al capacitor, y si en éste llega a existir una diferencia de potencial muy grande, capaz de producir una pequeña chispa, las puntas están lo suficientemente separadas para no producir descarga eléctrica alguna.

Los capacitores también se utilizan en algunas cámaras fotográficas en las cuales una lámpara electrónica utiliza un capacitor para almacenar la energía de una batería. Al cerrar el fotógrafo el interruptor, el capacitor se descarga por medio del foco electrónico que tiene instalado, así, se convierte en luz y calor la energía almacenada.

Conexión de capacitores en serie y en paralelo

Al igual que las resistencias eléctricas, los capacitores también pueden conectarse en serie y en paralelo, como se ve en la figura 12.56, con la diferencia de que las dos ecuaciones empleadas para los capacitores son las contrarias de las utilizadas para las resistencias en serie y en paralelo.

Las ecuaciones empleadas para calcular las capacitancias equivalentes de las conexiones en serie y en paralelo son:

En serie:

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots + \frac{1}{C_n}$$

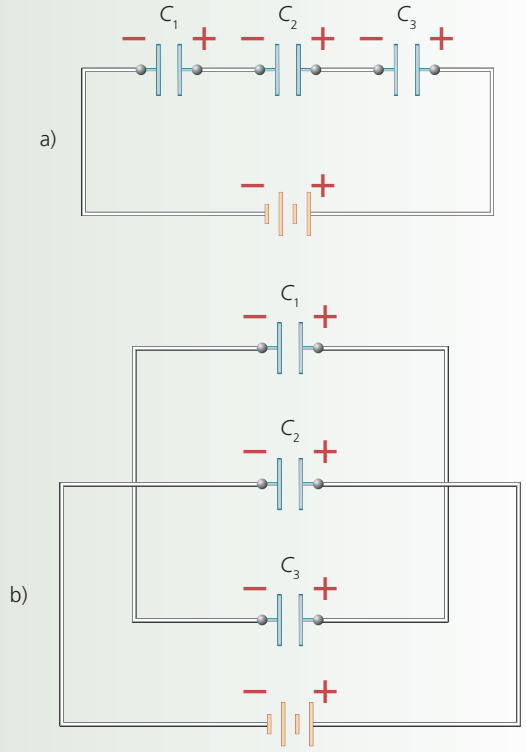


figura 12.56

En la figura a) se observa una conexión en serie de capacitores al estar la placa positiva de uno unida a la negativa de otro. En b) la conexión es en paralelo al unirse las placas positivas de los capacitores en un punto y las negativas en otro.

En paralelo:

$$C_e = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots + C_n$$

Es importante señalar lo siguiente: Al conectar los capacitores en paralelo, cada uno de ellos tendrá la misma diferencia de potencial V equivalente a: $V = \frac{Q}{C}$ y, además, el valor de la carga total almacenada será igual a:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots + Q_n$$

En una conexión en serie los capacitores adquieren la misma carga: $Q = CV$ y el valor de la diferencia de potencial total será igual a: $V = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots + V_n$.

Resolución de problemas de conexión de capacitores

1 Tres capacitores de 3, 6 y 8 pF se conectan primero en serie y luego en paralelo. Calcular la capacitancia equivalente en cada caso.

Solución:

Conexión en serie:

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{8} = 0.333 + 0.166 + 0.125$$

$$\frac{1}{C_e} = 0.624$$

$$C_e = \frac{1}{0.624} = 1.6 \text{ pF}$$

Conexión en paralelo:

$$C_e = 3 + 6 + 8 = 17 \text{ pF}$$

2 Tres capacitores de 2, 7 y 12 pF se conectan en serie a una batería de 30 V. Calcular:

a) La capacitancia equivalente de la combinación.

b) La carga depositada en cada capacitor.

c) La diferencia de potencial en cada capacitor.

Solución:

a)
$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{2} + \frac{1}{7} + \frac{1}{12}$$
$$= 0.5 + 0.143 + 0.083$$
$$= 0.726$$
$$C_e = \frac{1}{0.726} = 1.38 \text{ pF}$$

b) Como la conexión es en serie, la carga depositada en cada capacitor es la misma y equivale a:

$$Q = CV = 1.38 \times 10^{-12}\,\text{F} \times 30\,\text{V} = 41.4 \times 10^{-12}\,\text{C}$$

c) La diferencia de potencial en cada capacitor será de:

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{41.4 \times 10^{-12}\,\text{C}}{2 \times 10^{-12}\,\text{F}} = 20.7 \text{ V}$$

$$V_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{41.4 \times 10^{-12}\,\text{C}}{7 \times 10^{-12}\,\text{F}} = 5.9 \text{ V}$$

$$V_3 = \frac{Q}{C_3} = \frac{41.4 \times 10^{-12}\,\text{C}}{12 \times 10^{-12}\,\text{F}} = 3.4 \text{ V}$$

El voltaje total suministrado V es igual a la suma de $V_1 + V_2 + V_3$:

$$V = 20.7 \text{ V} + 5.9 \text{ V} + 3.4 \text{ V} = 30 \text{ V}$$

3 Un capacitor de 40 μF se conecta a una diferencia de potencial de 120 V. Expresar la carga almacenada en coulombs y a cuántos electrones equivale:

Solución:

Datos	**Fórmula**
$C = 40\ \mu\text{F}$	$Q = CV$
$V = 120$ V	
$Q = ?$	

Sustitución y resultado

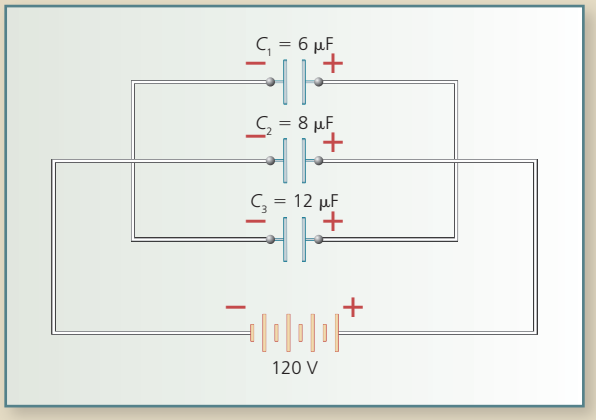
$$Q = 40 \times 10^{-6}\,\text{F} \times 120\,\text{V}$$
$$= 4\,800 \times 10^{-6} \text{ coulombs}$$
$$= 4.8 \times 10^{-3}\,\text{C}$$

Transformación de unidades

$$4.8 \times 10^{-3}\,\text{C} \times \frac{6.24 \times 10^{18} \text{ electrones}}{1\,\text{C}}$$

$$Q = 29.9 \times 10^{5} \text{ electrones}$$

4 De acuerdo con la conexión de capacitores mostrados en la figura, calcular:



a) La capacitancia equivalente de la combinación.

b) La diferencia de potencial en cada capacitor.

c) La carga depositada en cada capacitor.

d) La carga total almacenada por los capacitores.

Solución:

a) Como la conexión es en paralelo la capacitancia equivalente será:

$$C_e = 6 + 8 + 12 = 26\ \mu F$$

b) La diferencia de potencial en cada capacitor es igual cuando la conexión es en paralelo y puesto que están conectados directamente a la fuente de 120 V, en cada capacitor el voltaje es el mismo.

c) La carga depositada en cada capacitor equivale a:

$$Q_1 = VC_1 = 120\ V \times 6 \times 10^{-6}\ F$$
$$= 720 \times 10^{-6}\ C$$
$$Q_2 = VC_2 = 120\ V \times 8 \times 10^{-6}\ F$$
$$= 960 \times 10^{-6}\ C$$
$$Q_3 = VC_3 = 120\ V \times 12 \times 10^{-6}\ F$$
$$= 1\,440 \times 10^{-6}\ C$$

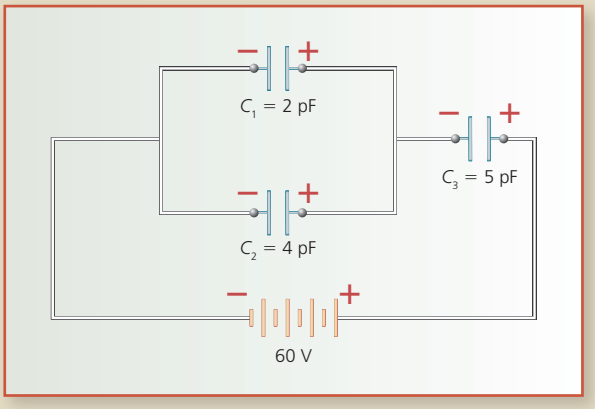
d) La carga total almacenada por los tres capacitores es:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$
$$Q = (720 + 960 + 1\,440) \times 10^{-6}\ C$$
$$= 3\,120 \times 10^{-6}\ C = 3.12 \times 10^{-3}\ C = 3.12\ mC$$

Nota: Esta cantidad de carga será la misma que obtendremos al multiplicar la capacitancia equivalente por el voltaje que suministra la batería:

$$Q = C_eV = 26 \times 10^{-6}\ F \times 120\ V$$
$$= 3\,120 \times 10^{-6}\ C = 3.12\ mC$$

5 De acuerdo con el arreglo de capacitores mostrados en la figura siguiente, calcular:



a) La capacitancia equivalente del circuito en paralelo.

b) La capacitancia total equivalente del circuito.

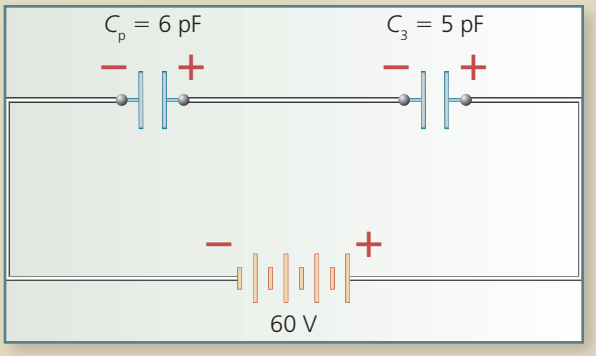
c) El voltaje existente en cada capacitor.

Solución:

a) La capacitancia equivalente del circuito en paralelo es:

$$C_p = C_1 + C_2 = 2 + 4 = 6\ pF$$

b) La capacitancia total del circuito la calculamos considerando el valor de la capacitancia equivalente del circuito en paralelo (C_p) como una conexión en serie con el capacitor C_3.



$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{6} + \frac{1}{5} = 0.166 + 0.2 = 0.366$$

$$C_T = \frac{1}{0.366} = 2.73\ pF$$

c) Como nuestro arreglo de capacitores se ha reducido a un circuito de dos capacitores conectados en serie, la carga depositada en cada uno de ellos es la misma y equivale a:

$$Q = C_TV = 2.73 \times 10^{-12}\ F \times 60\ V$$
$$= 163.8 \times 10^{-12}\ C$$

Para calcular la diferencia de potencial en cada capacitor, tenemos que en C_1 y C_2 será el mismo por estar en paralelo y equivale a:

$$V_P = \frac{Q}{C_P} = \frac{163.8 \times 10^{-12}\ C}{6 \times 10^{-12}\ F} = 27.3\ V$$

En el capacitor C_3 el voltaje es:

$$V_3 = \frac{Q}{C_3} = \frac{163.8 \times 10^{-12}\ C}{5 \times 10^{-12}\ F} = 32.7\ V$$

Ejercicios propuestos

1. Una batería de 90 volts se conecta a un capacitor de 20 μF. Calcular:

   a) ¿Cuál es la carga depositada en cada placa?

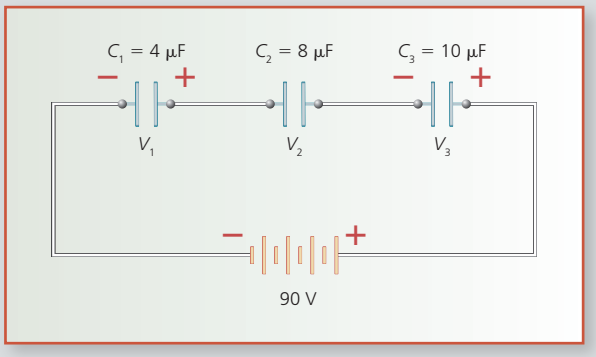
   b) ¿A cuántos electrones equivale dicha carga?

2. Dos hojas de papel de estaño, cuyas dimensiones son 30 cm $\times$ 40 cm, están adheridas a las caras opuestas de una placa de vidrio de 0.5 mm de espesor con una permitividad relativa de 4.7. Calcular su capacitancia.

3. Las placas de un capacitor tienen una separación de 4 mm en el aire. ¿Cuál es su capacitancia si el área de cada placa es de 0.15 m^2?

4. Dos capacitores de 7 y 9 pF se conectan: **a)** primero en serie, y **b)** después en paralelo. Calcular la capacitancia equivalente en cada caso.

5. De acuerdo con la conexión de los tres capacitores mostrados en la figura, calcular:



   a) La capacitancia equivalente de la combinación.

   b) La carga almacenada en cada capacitor.

   c) La diferencia de potencial en cada capacitor.

6. Dos capacitores de 20 y 30 pF se conectan en paralelo a una diferencia de potencial de 60 volts. Calcular:

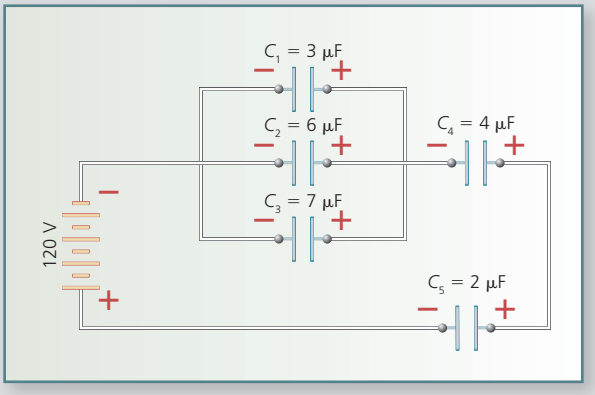
   a) La capacitancia equivalente de la combinación.

   b) El voltaje en cada capacitor.

   c) La carga depositada.

   d) La carga total que almacenan los capacitores.

7. Según el siguiente arreglo de capacitores mostrados en la figura, calcular:



   a) La capacitancia equivalente del circuito en paralelo.

   b) La capacitancia total equivalente del circuito.

   c) El voltaje que existe en cada capacitor.

20 Electroquímica y ley de Faraday de la electrólisis

La Electroquímica es la parte de la Química que estudia la relación entre procesos químicos y eléctricos.

Las sales, las bases y los ácidos sólidos como el ácido oxálico no son conductores de la electricidad, pero cuando cualquiera de estas sustancias se disuelve en agua, la solución resultante sí es conductora, es decir, es un electrólito. Las sales son iónicas aun en estado sólido, pero cuando una sal se disuelve, los iones se separan y adquieren libertad de movimiento. Los ácidos y las bases, cuando se disuelven en agua, forman iones (partículas con carga eléctrica).

La conducción electrolítica se debe a la movilidad iónica en estado líquido. Como los iones son partículas con carga eléctrica, el movimiento de los iones a través

de la solución genera una corriente eléctrica, tal como sucede con el movimiento de electrones a través de un metal.

El proceso mediante el cual una corriente eléctrica produce un cambio químico se llama electrólisis (figura 12.57). En el caso del agua, es una de las evidencias de la relación que existe entre la electricidad y la materia, ya que a través de dicho procedimiento, el agua se puede separar en sus componentes, es decir, en hidrógeno y oxígeno. Las aplicaciones industriales de la electrólisis son muy importantes, por ejemplo: refinación de metales, es decir, obtención de metales con un alto grado de pureza; producción de cloro y cloruros; hidrógeno; oxígeno; o en **galvanoplastia** (figura 12.58), misma que consiste en cubrir por **electrólisis** una superficie metálica con una capa de otro metal; tal es el caso del recubrimiento de superficies metálicas con plata, níquel o cromo (cromado), para evitar la corrosión.

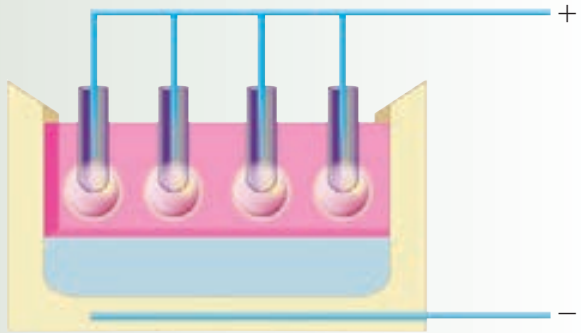


figura 12.57

A través de la electrólisis se obtiene aluminio.



figura 12.58

Las partes cromadas de los automóviles se obtienen a través de la galvanoplastia.

Ley de Faraday de la electrólisis

Fue el físico y químico inglés **Michael Faraday** (1791-1867) quien observó que algunas soluciones líquidas permitían la conducción de la electricidad y las llamó electrólitos. Encontró que la masa total del electrólito descompuesto es rigurosamente proporcional a la cantidad de electricidad que ha circulado por la solución, y enunció en 1833 la siguiente ley que lleva su nombre: el grado de reacción química en un electrodo es directamente proporcional a la cantidad de carga que fluye por este electrodo durante la reacción.

Vamos a estudiar con mayor detalle la ley anterior. Ya hemos señalado que la conducción electrolítica se debe a la movilidad iónica en estado líquido. Si se conecta un dispositivo de conductividad a una corriente directa, uno de los electrodos será negativo y el otro positivo. Por costumbre, al electrodo negativo se le denomina cátodo y al positivo ánodo. Si los electrones se introducen en una solución iónica (figura 12.59), los iones positivos de la solución son atraídos hacia el electrodo negativo o cátodo. Por esta razón, a los iones positivos se les llama cationes. Los iones negativos serán atraídos hacia el electrodo positivo o ánodo. Y es por ello que a los iones negativos se les llama aniones.

¿Qué le sucede a un ion en movimiento cuando llega al electrodo que lo atrae?

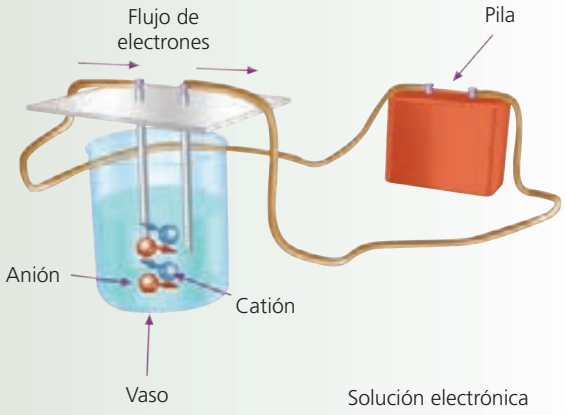


figura 12.59

Cuando se produce la electrólisis se observa cómo los aniones, que son iones con carga negativa, se desplazan hacia el ánodo, mientras que los cationes, que son iones con carga positiva, se desplazan hacia el cátodo.

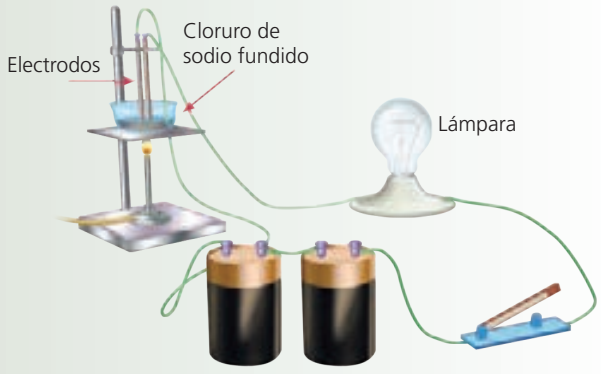


figura 12.60

Para comprobar si una sustancia conduce la corriente eléctrica, se sumergen en ella los electrodos de un circuito básico; si se enciende el foco es conductora.

Revisemos lo que pasa con un sistema formado por la sal común o cloruro de sodio (NaCl) fundido (figura 12.60). Para esto, utilizaremos electrodos inertes, o sea, electrodos que no reaccionan químicamente con los iones de sodio o cloro.

Los iones de sodio positivos o cationes son atraídos hacia el electrodo negativo o cátodo; éste se hace negativo por la acción de una batería, la cual, en realidad, le bombea electrones. Los electrones del cátodo están en un estado de elevada energía potencial. El ion sodio tiene carga positiva, esto significa que atrae electrones y que un electrón de un átomo de sodio tendría una menor energía potencial que un electrón del cátodo.

Por tanto, es de esperarse que los electrones se desplacen desde el cátodo, donde tienen una energía potencial elevada, hacia los iones sodio, donde dichos electrones tiene menor energía potencial. En el cátodo, los iones sodio se convierten en átomos de sodio por adición de un electrón. Éste es un cambio químico y puede representarse con la siguiente ecuación:

$$Na^+ + e^- \rightarrow Na^0$$

Dicho cambio químico representa una ganancia de electrones, es decir, una reducción. El cambio químico que siempre ocurre en el cátodo es de reducción. En este caso, los iones sodio se reducen a sodio metálico.

¿Qué sucede en el ánodo? Como éste tiene carga positiva, atrae a los iones negativos. El ánodo es positivo, ya que la batería bombea electrones fuera de él, por lo cual puede decirse que, en el ánodo, los electrones tienen baja energía potencial. Como el ion cloruro tiene carga negativa, sus electrones externos se encuentran en un estado de potencial elevado.

Cuando los iones cloruro llegan al ánodo, le proporcionan electrones, toda vez que tiene una deficiencia de los mismos. Los electrones pasan de un estado de energía potencial elevada a uno de baja. El cambio ocurrido en el ánodo puede representarse con la siguiente ecuación:

$$2\,Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$$

En esta reacción, los iones cloruro pierden electrones convirtiéndose en átomos de cloro, los cuales, a su vez, forman moléculas de Cl_2. Esta reacción resulta de una pérdida de electrones, es decir, una oxidación. El cambio químico que siempre ocurre en el ánodo es de oxidación.

Las ecuaciones de las semirreacciones del electrodo pueden balancearse como cualquier otra ecuación química y tienen el mismo significado cuantitativo. La ecuación para la formación de sodio metálico por electrólisis del cloruro de sodio (NaCl) fundido indica que se requiere 1 mol de electrones para producir 1 mol de átomos de sodio.

Sin embargo, la electricidad no se mide en moles, puesto que la unidad en el Sistema Internacional es el coulomb. Un coulomb es la cantidad de electricidad producida por una corriente de 1 ampere durante 1 segundo. Un mol de electrones (6.02×10^{23} electrones) equivale a 96 500 coulombs. Esta cantidad es una unidad práctica utilizada en cálculos electroquímicos y se le da el nombre de 1 faraday, por tanto:

$$1 \text{ faraday} = 96\,500 \text{ coulombs}$$

$$= 1 \text{ mol de electrones}$$

Un mol de sodio es igual a 23 g, y para producir 23 g de sodio mediante una reacción electrolítica se requiere 1 faraday de electricidad. Como 1 faraday es igual a 96 500 coulombs y 1 coulomb es igual a la electricidad producida por el flujo de 1 ampere durante 1 segundo, tenemos que:

$$1 \text{ coulomb} = 1 \text{ ampere} - \text{segundo}$$

El número de coulombs usados en una reacción puede obtenerse al multiplicar el número de amperes por el número de segundos. Se podrían producir 23 g de sodio con una corriente de 10 amperes durante 9 650 segundos (96 500 coulombs). Cualquier combinación de amperes y segundos cuyo producto sea 96 500 amperes-segundos producirá 23 g de sodio, es decir, 1 mol de sodio.

En la relación anódica de la electrólisis del cloruro de sodio, la formación de una molécula de cloro requiere la liberación de dos electrones. Por tanto, una molécula de cloro gaseoso necesitará dos faradays de electricidad.

Estos aspectos cuantitativos de la electroquímica son el resultado de los estudios realizados por Faraday y constituyen el fundamento de todos los cálculos electroquímicos.

Actividad experimental 19

Carga eléctrica

Objetivo

Cargar eléctricamente a un cuerpo con los dos tipos de carga (positiva y negativa), y observar los efectos de atracción y repulsión entre cuerpos cargados.

Consideraciones teóricas

Toda la materia se compone de átomos y éstos de partículas elementales como son los electrones, protones y neutrones. **Los electrones y los protones tienen una propiedad llamada carga eléctrica**, los neutrones son eléctricamente neutros porque carecen de carga. Los electrones tienen una carga negativa, mientras que los protones presentan una carga positiva. El átomo está constituido por un núcleo en el cual se encuentran los protones y los neutrones, alrededor de éste giran los electrones. Un átomo normal es neutro, pues tiene el mismo número de protones que de electrones. Sin embargo, un átomo puede ganar electrones y quedar con carga negativa, o bien, puede perderlos y tener carga positiva. La carga de un protón neutraliza la de un electrón. Un principio esencial de la electricidad es que cargas del mismo signo se repelen y cargas de signo contrario se atraen. Los cuerpos se cargan eléctricamente por frotamiento, contacto e inducción.

Un **péndulo eléctrico** consiste de una esferilla de médula de sauco sostenida por un soporte con un hilo de seda aislante. El **electroscopio** es un aparato que permite detectar si un cuerpo está o no cargado eléctricamente y también identifica el signo de la carga, ésta puede ser positiva, o negativa. Consta de un recipiente de vidrio y un tapón aislador, atravesado por una varilla metálica rematada en su parte superior por una esferilla también metálica; en su parte inferior tiene dos laminillas que pueden ser de oro, aluminio, estaño o láminas finas de cualquier otro metal.

Material empleado

Un péndulo eléctrico, un electroscopio, una barra de vidrio, una barra de plástico, y tela de lana.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Frote vigorosamente la barra de vidrio o un tubo de ensayo con la tela de lana; ya electrizada la barra acérquela a la esfera de médula de sauco, observe cómo es atraída y después de estar en contacto con la barra de vidrio cómo es rechazada (figura 12.61).
2. Frote ahora la barra de plástico, o una regla del mismo material, con la tela de lana; ya electrizada la barra acérquela a la esfera, observe cómo es atraída y cómo es rechazada después de estar en contacto con la barra de plástico.
3. Acerque a la esferilla del electroscopio la barra de vidrio previamente cargada y observe qué sucede con las laminillas que tiene en su parte inferior.

   Nota: Un péndulo eléctrico puede ser construido con una esfera de unicel de 1 a 2 cm de diámetro; con una aguja atravesar la esfera y colocar el hilo de seda, el cual se suspenderá de un soporte (figura 12.61).

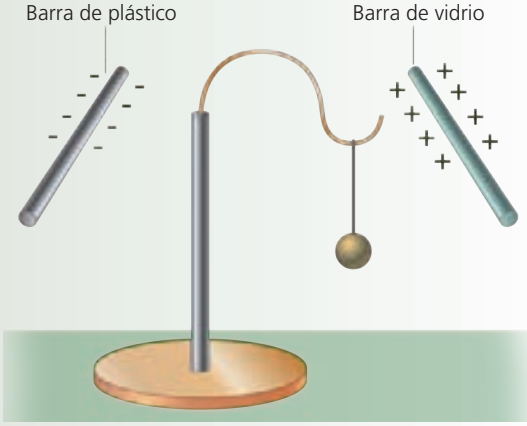


figura 12.61
Péndulo eléctrico.

4. Descargue el electroscopio tocándolo con la mano y repita la operación del punto 3, pero ahora con la barra de plástico. Observe qué sucede con las laminillas.
5. Repita la operación del punto 3, pero después, sin descargar el electroscopio, acerque la barra de plástico. ¿Qué les sucede a las laminillas?

   Nota: Un electroscopio se puede hacer con un frasco de vidrio con tapa de plástico; atravesar la tapa con un clavo grande y en su punta enredar papel aluminio o estaño, recortar de tal manera que queden dos laminillas con flexibilidad suficiente (figura 12.62).



figura 12.62

Electroscopio construido con un clavo y laminillas de aluminio.

Cuestionario

1. ¿Qué se observa al acercar la barra de vidrio cargada eléctricamente al péndulo eléctrico? ¿Por qué después de estar en contacto es rechazada la esfera?
2. ¿Cómo explica que la barra de plástico atrajo a la esfera rechazada por la barra de vidrio?
3. ¿Qué significa que un cuerpo no tenga carga eléctrica?
4. ¿Qué tipo de carga eléctrica adquiere el vidrio y qué tipo el plástico al ser frotados?
5. Explique en qué consiste la carga eléctrica por frotamiento, contacto e inducción, y diga en su experimento en qué momento se cargó un cuerpo por cada una de estas formas.
6. ¿Qué le sucedió al electroscopio descargado cuando le acercó la barra de vidrio previamente cargada?
7. ¿Por qué se descarga el electroscopio al tocarlo con la mano?
8. ¿Qué les sucede a las laminillas que estaban cargadas por la barra de vidrio al acercarles la barra de plástico cargadas?
9. Explique con sus propias palabras qué significa que un cuerpo tenga carga eléctrica negativa y qué significa que tenga carga positiva.

Actividad experimental 20

Uso del multímetro

Objetivo

Aprender a medir resistencias, voltajes e intensidades de corriente eléctrica con un multímetro.

Consideraciones teóricas

Cuando se requiere medir el valor de una resistencia eléctrica en ohms se utiliza un aparato llamado ohmetro; para medir voltajes o diferencias de potencial se emplea el voltímetro; y para medir la intensidad de las corrientes eléctricas se usa el amperímetro. Sin embargo, cuando un solo aparato sirve para medir resistencia, voltaje y corriente eléctrica, recibe el nombre de **multímetro**. Uno muy usado es el Triplett, modelo 630 tipo 3 de la Corp. Bluffton, Ohio, USA; éste se muestra con sus elementos en la figura 12.63.

Nota: Si el laboratorio escolar cuenta con multímetros digitales o de otro modelo, solicitar información a su profesor, acerca de su manejo. Sin embargo, pueden utilizar esta descripción como una referencia del manejo de un multímetro.

Los elementos que constituyen al multímetro de la figura 12.63 son:

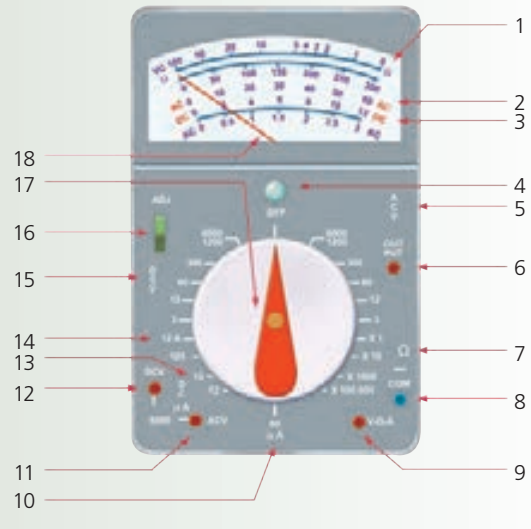


figura 12.63

Multímetro Triplett.

1. Escala para leer valores de resistencias en ohms (Ω).
2. Escalas para hacer lecturas de corriente directa (DC) y corriente alterna (AC).
3. Escala para leer voltajes en un rango de 0 a 3 V de corriente alterna.
4. Tornillo para ajustar la aguja indicadora del multímetro en la posición cero.
5. Distintas posiciones que puede tener el selector para medir voltajes de 0 a 6 000 V en corriente alterna (ACV).
6. Terminal para medir valores de salida en volts (punta de prueba color rojo).
7. Distintas posiciones que puede tener el selector y valores por los cuales debe multiplicarse la lectura hecha en la escala con el propósito de leer resistencias medidas en ohms.
8. Terminal de tierra (punta de prueba color negro).
9. Terminal para medir volts, ohms y amperes (punta de prueba color rojo).
10. Posición del selector para medir microamperes (μA).
11. Terminal para medir hasta 6 000 volts en corriente alterna (punta de prueba color rojo).
12. Terminal para medir hasta 6 000 volts en corriente directa (punta de prueba color rojo).
13. Distintas posiciones del selector para medir miliamperes (mA) en un rango de 0 a 120 mA en corriente directa.
14. Posición del selector para medir hasta 12 amperes.
15. Distintas posiciones del selector para medir voltajes de 0 a 6 000 V en corriente directa (DCV).
16. Perilla para ajustar la aguja indicadora del multímetro en la posición cero en la escala a fin de leer valores de resistencias en ohms.
17. Selector.
18. Aguja indicadora de las diferentes escalas.

Recomendaciones para el manejo del multímetro

1. Cuando el multímetro no esté en uso, o vaya a ser trasladado de un lugar a otro, el selector debe estar en la posición *off* de apagado. Ello evitará el desajuste de la aguja por las vibraciones que sufre.
2. Apagar la fuente de voltaje antes de realizar cualquier medición.
3. Colocar el selector en la escala correcta, de acuerdo con lo que se desea medir.

Material empleado

Un multímetro Triplett, 3 o 4 resistencias de varios valores, 2 o 3 pilas nuevas, un interruptor de corriente y 2 m de alambre de cobre delgado aislado.

Desarrollo de la actividad experimental

Primera parte: Medición de resistencias

1. Inserte los extremos de los cables de prueba en las terminales V - Ω - A y COM⁻ del multímetro.
2. Ponga en corto las puntas de los cables de prueba, para ello una las dos puntas entre sí.
3. Ajuste la aguja indicadora a cero, moviendo la perilla que dice ADJ (descripción 16 del multímetro).
4. Coloque el selector en el rango deseado (descripción 7 del multímetro).
5. Coloque las puntas en los extremos de la resistencia que desea medir (figura 12.64).

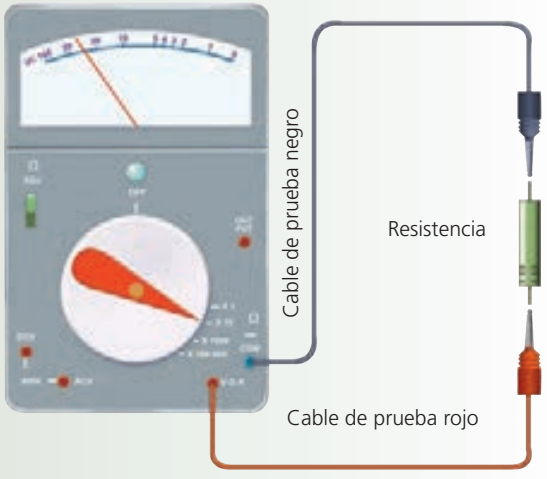


figura 12.64
Medición de resistencias.

6. Efectúe la lectura en ohms en la escala correspondiente (descripción 1 del multímetro), y multiplique el valor de la lectura por el factor marcado en la posición en que se colocó el selector.
7. Mida varias resistencias 1 por 1 y con base en su valor haga conexiones de ellas en serie y en paralelo. Compare el valor medido en el multímetro con el valor calculado por usted, para ello aplique las fórmulas respectivas vistas en el libro (sección 16:

Circuitos eléctricos y conexión de resistencias en serie, en paralelo y mixtas).

Segunda parte: Medición de voltajes en corriente directa

1. Inserte los extremos de los cables de prueba en las terminles V - Ω - A y COM⁻ del multímetro.
2. Coloque el selector en el rango deseado para medir DCV (descripción 15 del multímetro).
3. Coloque las puntas de prueba en los polos de la pila a la cual le desea medir el voltaje (figura 12.65).



figura 12.65
Medición del voltaje de una pila.

4. Conecte dos o tres pilas en serie y luego en paralelo (siempre y cuando sean del mismo valor), en cada caso determine el voltaje con el multímetro.

Tercera parte: Medición de voltajes en corriente alterna

1. Inserte los extremos de los cables de prueba en las terminales V - Ω - A y COM⁻ del multímetro.
2. Coloque el selector en el rango deseado para medir ACV (descripción 5 del multímetro).
3. Coloque las puntas de prueba a una fuente de voltaje de corriente alterna (con las que cuente el laboratorio escolar) y haga la medición del voltaje (figura 12.66).

Cuarta parte: Medición de la intensidad de la corriente directa

1. Inserte los extremos de los cables de prueba en las terminales V - Ω - A y COM⁻ del multímetro.

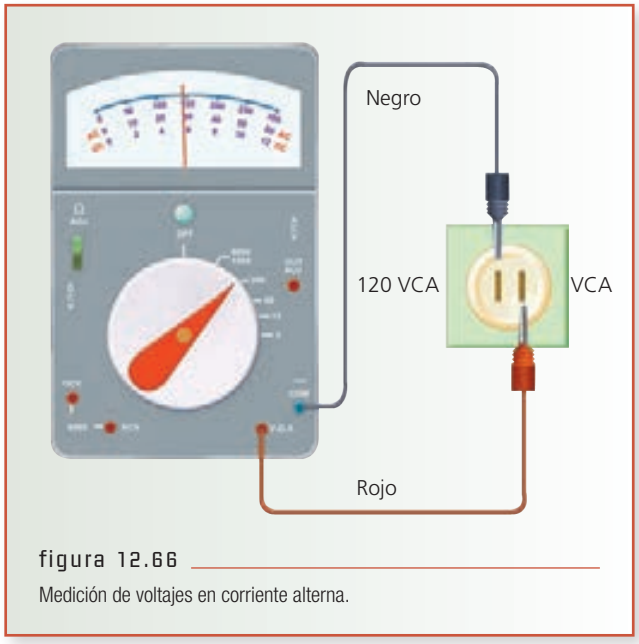


figura 12.66
Medición de voltajes en corriente alterna.

2. Coloque el selector en el rango deseado para medir DC mA.
3. Monte un circuito simple con una pila, una resistencia, un interruptor y el multímetro como se muestra en la figura 12.67.
4. En el multímetro haga la lectura de la intensidad de la corriente que circula por el circuito.

Nota: Observe en la figura 12.67 que para medir corrientes la conexión del multímetro es en serie con el circuito.

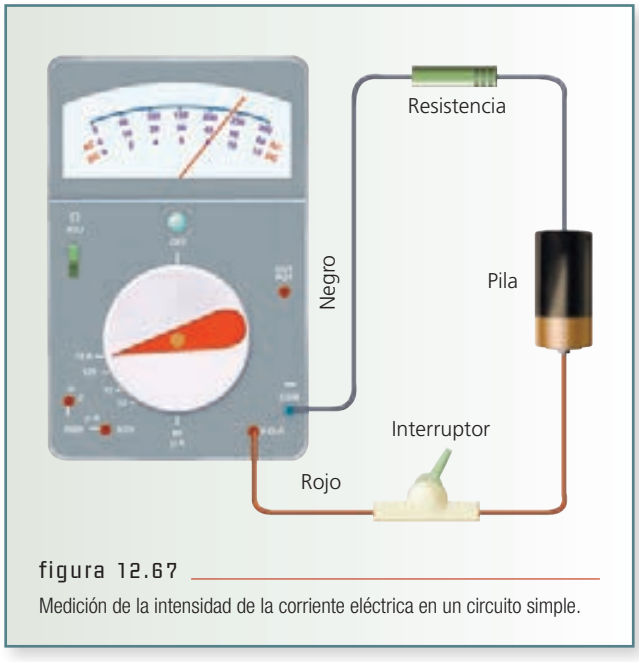


figura 12.67
Medición de la intensidad de la corriente eléctrica en un circuito simple.

Cuestionario

1. Explique cómo se ajusta la aguja indicadora del multímetro para hacer lecturas del valor de una resistencia.
2. Diga qué precaución se debe tener con el multímetro antes de trasladarlo de un lugar a otro.
3. ¿Cómo se conecta el multímetro con el circuito eléctrico al medir intensidades de corriente?
4. ¿Cómo se conecta el multímetro con el circuito eléctrico para medir voltajes?

Actividad experimental 21

Ley de Ohm

Objetivo

Demostrar experimentalmente la ley de Ohm, al medir diferentes voltajes e intensidades de corriente para una misma resistencia eléctrica.

Consideraciones teóricas

Un circuito eléctrico es un sistema a través del cual la corriente fluye por un alambre conductor en una trayectoria completa debido a una diferencia de potencial o voltaje. Un foco conectado a una pila por medio de un alambre conductor es un ejemplo de circuito básico. En cualquier circuito eléctrico por donde se desplacen los electrones en una trayectoria cerrada existen los siguientes elementos fundamentales: **voltaje, corriente y resistencia**. Un circuito está cerrado cuando la corriente eléctrica circula en todo el sistema y estará abierto cuando no circule por él, para abrir o cerrar el circuito se utiliza un interruptor. **Los circuitos eléctricos pueden estar conectados en serie, en paralelo o en forma mixta.** Cuando un circuito se conecta en serie todos los elementos conductores se unen uno a continuación del otro, debido a ello toda la corriente eléctrica circula por cada uno de los elementos, de tal manera que si se abre el circuito en cualquier parte se interrumpe totalmente la corriente. Al conectar un circuito en paralelo los elementos conductores se encuentran separados en varios ramales y la corriente eléctrica se divide en forma paralela en cada uno de ellos; así, al abrir el circuito en cualquier parte, la corriente no será interrumpida en los demás.

El físico alemán **George S. Ohm** demostró mediante sus experimentos lo siguiente: si aumenta la diferencia de potencial o voltaje en un circuito, mayor es la intensidad de la corriente eléctrica. También comprobó que al aumentar la resistencia del conductor disminuye la intensidad de la corriente eléctrica. Enunció la siguiente ley que lleva su nombre:

La intensidad de la corriente eléctrica que pasa por un conductor en un circuito es directamente proporcional a la diferencia de potencial aplicado a sus extremos e inversamente proporcional a la resistencia del conductor.

Su expresión matemática es: $I = \frac{V}{R}$; de donde: $R = \frac{V}{I}$.

La ley de Ohm presenta algunas limitaciones como son:

a) Se puede aplicar a los metales mismos que reciben el nombre de conductores óhmicos, pero no al carbón o a los materiales utilizados en los transistores, es decir, a los semiconductores, mismos que se llaman conductores no óhmicos.

b) En virtud de que la resistencia cambia con la temperatura, debe cuidarse este fenómeno al aplicar la ley.

c) Algunas aleaciones conducen mejor las cargas en una dirección que en otras.

Material empleado

Dos multímetros, o bien, un voltímetro y un amperímetro, cuatro pilas nuevas de 1.5 volts cada una, un interruptor, una resistencia cuyo valor esté comprendido entre 300 y 400 Ω, cables para conexión y cinta adhesiva.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Monte un circuito eléctrico como el mostrado en la figura 12.68. Observe que **el multímetro al funcionar como amperímetro se conecta en serie con el circuito, y el multímetro al funcionar como voltímetro se conecta en paralelo con el circuito**. Escoja una resistencia cuyo valor esté comprendido entre 300 y 400 Ω. Tenga cuidado de colocar en forma correcta el selector de los multímetros según se requiere (si tiene dudas repase la actividad experimental 19).

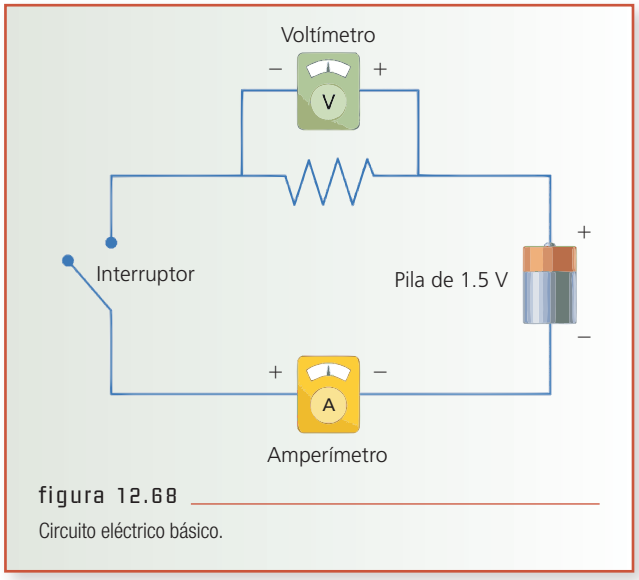


figura 12.68

Circuito eléctrico básico.

2. Cierre el circuito y haga su lectura del voltaje real suministrado por la pila al circuito, y de la intensidad de corriente que circula en él expresada en ampers. Elabore en su cuaderno un cuadro con los espacios necesarios, tomando como referencia el 12.4 y anote los valores obtenidos.

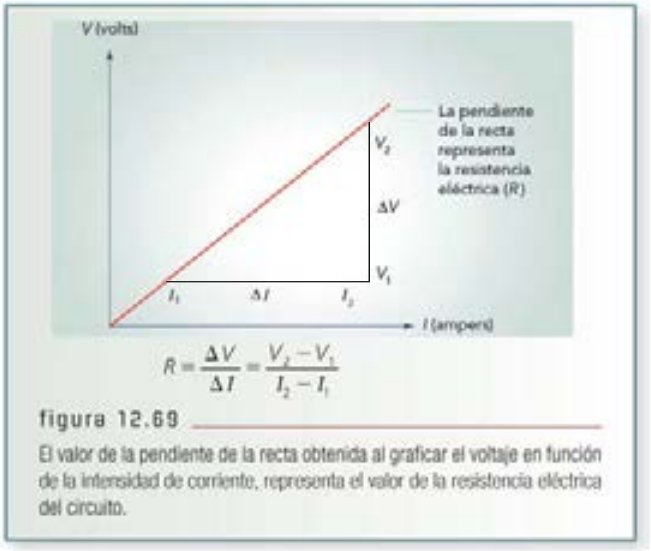
3. Abra el circuito por medio del interruptor y con el mismo circuito montado, varíe únicamente el voltaje aumentándolo a 3 volts. Para ello, una en serie dos pilas de 1.5 volts. Cierre el circuito y lea el voltaje real que suministran las pilas al circuito y la intensidad de la corriente, esta última recuerde expresarla en ampers. Anote los valores en el cuadro que elaboró.

4. Repita el paso 3 pero aumente el voltaje a 4.5 volts y después a 6 volts, mediante 3 y 4 pilas de 1.5 volts conectadas en serie, respectivamente. En cada caso anote los valores del voltaje real e intensidad de corriente en ampers en el cuadro que elaboró en su cuaderno.

cuadro 12.4	Voltajes e intensidades (datos experimentales)
Voltaje real *V* en volts	Intensidad de la corriente *I* en ampers

5. Con los valores del cuadro de datos experimentales, haz una gráfica de voltaje (eje y) en función de la intensidad de corriente (eje x) expresada en ampers. Une con una recta los puntos obtenidos en tu gráfica y determina el valor de la pendiente.

   Recuerda que la pendiente de la gráfica de voltaje en función de la intensidad de corriente representa la constante de proporcionalidad entre dos variables. Cuanto mayor sea la pendiente de la recta, mayor será la constante de proporcionalidad. ¿Que representa el valor de la pendiente de la gráfica voltaje-intensidad de corriente? **Representa la resistencia del circuito**, y para determinar el valor de dicha resistencia basta obtener la tangente del ángulo de inclinación de la recta, es decir, el valor de la pendiente. Por tanto, se dibuja untriángulo rectángulo entre dos puntos cualesquiera de la recta, como se ve en la figura 12.69 misma que equivaldrá a la hipotenusa.



$$R = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1}$$

figura 12.69

El valor de la pendiente de la recta obtenida al graficar el voltaje en función de la intensidad de corriente, representa el valor de la resistencia eléctrica del circuito.

De acuerdo con el triángulo rectángulo que trazaste en tu recta, calcula su tangente con la expresión:

$$\tan \alpha = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Cateto adyacente}} = R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

$$R = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1}$$

Sustiye valores y determina el valor de la resistencia en el circuito. Anota su valor:

$$R = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_2} = _____$$

Como puedes comprobar, siempre que grafiques los datos de voltage en función de la intensidad de corriente, el valor de la **pendiente de la recta representará el valor de la resistencia del circuito**, esto es, la constante de proporcionalidad entre las dos variables (voltaje e intensidad de corriente), siempre y cuando se trate **conductores óhmicos**.

Por último, vale la pena recordar que al obtener una recta en la gráfica de voltaje como función de la intensidad de corriente, significa que la resistencia permanece constante, pues sólo para una línea recta las variaciones a lo largo de un eje (voltaje) corresponden a variaciones iguales en el otro eje (intensidad de corriente).

Cuestionario

1. Con los datos del cuadro 12.4 grafique el voltaje en función de la intensidad de la corriente expresada en amperes. Una los puntos y determine el valor de la pendiente.
2. ¿Qué significado físico tiene la pendiente de la recta obtenida?
3. Al comparar el resultado del valor de la pendiente obtenida en la gráfica con el valor de la resistencia usada en el experimento, explique si ellos son iguales o no y por qué.
4. Escriba la definición de volt, ampere y ohm.
5. ¿Se comprobó la ley de Ohm en el experimento? Explique.
6. Enuncie con sus propias palabras la ley de Ohm.

Resumen

1. *La electricidad* es una de las manifestaciones de la energía; para su estudio se ha dividido en varias partes que son: *Electrostática*, se encarga del estudio de las cargas eléctricas en reposo. *Electrodinámica,* estudia las cargas eléctricas en movimiento. *Electromagnetismo*, estudia la relación entre las corrientes eléctricas y el campo magnético.

2. La palabra electricidad proviene del vocablo griego *elektron* que significa ámbar, el cual es una *resina* fósil. Tales, nacido en Mileto, descubrió en el 600 a.C. que al frotar el ámbar con una piel de gato podía atraer algunos cuerpos ligeros como polvo, cabello o paja. El físico alemán Otto de Guericke (1602-1686) inventó la primera máquina eléctrica que al girar producía chispas eléctricas. El holandés Pieter Van Musschenbroek (1692-1761) descubrió la condensación eléctrica por medio de la botella de Leyden. El norteamericano Benjamín Franklin (1706-1790) inventó el pararrayos. El científico francés Charles Coulomb (1736-1806) estudió las leyes de atracción y repulsión eléctrica, al medir la fuerza entre los cuerpos cargados eléctricamente. El físico italiano Alessandro Volta (1745-1827) construyó la primera pila eléctrica del mundo. El físico alemán Georg Ohm (1789-1854) describió la resistencia eléctrica de un conductor y enunció la ley que lleva su nombre. El físico y químico inglés Michael Faraday (1791-1867) descubrió la manera de emplear un imán para generar una corriente eléctrica e inventó el generador eléctrico. El físico inglés James Joule (1818-1889) estudió los fenómenos producidos por las corrientes eléctricas y el calor desprendido en los circuitos eléctricos.

3. Otros investigadores que contribuyeron notablemente al desarrollo de la electricidad son, entre otros: el estadounidense Joseph Henry (1797-1878), quien construyó el primer electroimán; el ruso Heinrich Lenz (1804-1865) enunció la ley relativa al sentido de la corriente inducida; el escocés James Maxwell (1831-1879) propuso la Teoría Electromagnética de la Luz y las ecuaciones generales del campo electromagnético; el yugoslavo Nikola Tesla (1856-1943) inventó el motor asincrónico y estudió las corrientes polifásicas, y el inglés Joseph Thomson (1856-1940) investigó la estructura de la materia y de los electrones.

4. En los últimos 70 años la electricidad ha evolucionado intensamente, pues presenta muchas ventajas sobre otros tipos de energía. En los países desarrollados existen en la actualidad varios medios de producir energía eléctrica, como son: centrales hidroeléctricas, termoeléctricas y nucleoeléctricas.

5. Toda la materia se compone de átomos, los cuales están constituidos por un núcleo en el que se encuentran protones y neutrones; alrededor del núcleo giran los electrones. Un átomo de cualquier elemento es neutro porque tiene el mismo número de protones o cargas positivas que de electrones o cargas negativas. Sin embargo, un átomo puede ganar electrones y quedar con carga negativa, o bien puede perder electrones y quedar con carga positiva.

6. Un principio fundamental de la electricidad es que cargas del mismo signo se repelen y de signo contrario se atraen. A la electricidad adquirida por una barra de vidrio se le nombra positiva y a la de una barra de plástico, negativa.

7. Los cuerpos se pueden electrizar por frotamiento, contacto e inducción. Un electroscopio es un aparato que permite detectar si un cuerpo está electrizado o no. Faraday demostró que cuando un cuerpo está cargado eléctricamente, las cargas se acumulan siempre en su superficie. Por tanto, en un conductor hueco aislado, éstas se distribuyen sólo en la superficie exterior.

8. Los materiales *conductores de la electricidad* son aquellos que se electrizan en toda su superficie. Los materiales *aislantes*, también llamados *dieléctricos*, sólo se electrizan en los puntos en contacto con un cuerpo cargado, o bien en la parte en que fue frotado. Ejemplos de materiales aislantes son: madera, vidrio, caucho, resinas, plásticos, porcelana, seda, mica y papel. Como conductores tenemos a todos los metales, soluciones de ácidos, bases y sales disueltas en agua, así como el cuerpo humano. La unidad elemental para medir carga eléctrica es el electrón, pero como es una unidad muy pequeña se utilizan unidades prácticas de acuerdo con el sistema de unidades empleado. En el Sistema Internacional (SI) se utiliza el coulomb (C). 1 coulomb = 6.24×10^{18} electrones; 1 electrón = -1.6×10^{-19} C; 1 protón = 1.6×10^{-19} C.

9. La ley de Coulomb que rige las fuerzas entre las cargas eléctricas se enuncia de la manera siguiente: la magnitud de la fuerza eléctrica, ya sea de atracción o repulsión, entre dos cargas puntuales q_1 y q_2 es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia existente entre ellas. Matemáticamente esta ley se representa por:

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

10. La ley de Coulomb es válida cuando las cargas se encuentran en el vacío, o en forma bastante aproximada si están en el aire, pero si entre las cargas hay un medio aislante, se observará que la magnitud de la fuerza eléctrica disminuye. La relación existente entre la magnitud de la fuerza eléctrica F entre dos cargas en el vacío y la magnitud de la fuerza eléctrica F' de estas mismas cargas sumergidas en algún medio o sustancia aislante, recibe el nombre de permitividad relativa o coeficiente dialéctrico ε_r de dicho medio. Por tanto:

$$\varepsilon_r = \frac{F}{F'}$$

11. Una carga eléctrica se encuentra siempre rodeada por un campo eléctrico y su fuerza se manifiesta sobre cualquier carga eléctrica cercana a su zona de influencia. Si la carga es positiva las líneas de fuerza salen radialmente de la carga, mientras en una negativa llegan de manera radial a ella.

12. Para estudiar cómo es la intensidad del campo eléctrico de una carga, se utiliza una carga de prueba, de valor pequeño y positiva por convención. La intensidad del campo eléctrico en un punto en particular, es igual a la relación existente entre la fuerza $\vec{F}$ que recibe la carga de prueba q y el valor de ésta. Por tanto:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

13. Como se observa, la intensidad del campo eléctrico es una magnitud vectorial. Su magnitud no es constante, sino que disminuye a medida que aumenta la distancia de la carga. Sin embargo, la magnitud de $\vec{E}$ es la misma para todos los puntos que estén a igual distancia del centro de una carga. Para calcular la magnitud de la intensidad del campo eléctrico $\vec{E}$ a una determinada distancia r de una carga q se utiliza la expresión:

$$E = \frac{kq}{r^2}$$

14. Toda carga eléctrica tiene una energía potencial eléctrica debido a su capacidad para realizar trabajo sobre otras cargas. Cuando una carga es positiva se dice que tiene un potencial positivo, si la carga es negativa su potencial es negativo. Por definición, el potencial eléctrico V en cualquier punto de un campo eléctrico es igual al trabajo T requerido para transportar a la unidad de carga positiva q, desde un potencial cero hasta el punto considerado. Por tanto:

$$V = \frac{T}{q}$$

15. El potencial eléctrico también se define como la energía potencial Ep que tiene la unidad de carga eléctrica positiva q en el punto considerado, donde:

$$V = \frac{Ep}{q}$$

16. El valor del potencial eléctrico V en un punto cualquiera de una carga q se determina con la expresión:

$$V = \frac{kq}{r}$$

17. El potencial eléctrico V de una carga q es el mismo en todos los puntos que se encuentren a la misma distancia de su centro. Por tanto, si se unen imaginariamente todos los puntos de igual potencial eléctrico, tendremos una superficie equipotencial.

18. La diferencia de potencial entre dos puntos A y B cualesquiera es igual al trabajo por unidad de carga positiva que realizan fuerzas eléctricas al mover una carga de prueba desde el punto A al B, donde:

$$V_{AB} = \frac{T_{AB}}{q}$$

19. La diferencia de potencial también recibe los nombres de voltaje y tensión, además es una magnitud escalar como lo es el potencial eléctrico. Un campo eléctrico uniforme se tiene cuando éste es constante en magnitud y dirección. Tal es el caso del campo formado por dos placas metálicas planas y

paralelas con cargas de igual magnitud, pero de signo contrario. La diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera en un campo uniforme es igual a:

$$V = \vec{E}d \therefore \vec{E} = \frac{V}{d}$$

20. Esta última expresión nos señala que la magnitud de la intensidad del campo eléctrico $\vec{E}$, en un lugar determinado, se calcula con la relación existente entre la diferencia de potencial y la distancia al punto considerado.

21. La *electrodinámica* estudia las cargas eléctricas en movimiento dentro de un conductor. La corriente eléctrica es un movimiento o flujo de electrones a través de un conductor. El sentido de la corriente es del polo o terminal negativo al polo positivo. No obstante, cabe señalar que el sentido convencional de la corriente considera de manera errónea, que va de positivo a negativo.

22. La *corriente eléctrica* se transmite por los conductores a la velocidad de la luz, cuya magnitud es de aproximadamente: 300 mil km/s. El flujo de electrones se presenta tanto en los metales como en los líquidos llamados electrólitos y los gases. Existen dos tipos de corriente eléctrica: la continua (CC) y la alterna (CA). La primera se origina cuando el campo eléctrico permanece constante y los electrones se mueven siempre en el mismo sentido. En la alterna, el campo eléctrico cambia alternativamente de sentido, así que los electrones oscilan a uno y otro lado del conductor. La frecuencia de la CA generalmente es de 60 ciclos/s = 60 Hz.

23. La *intensidad de la corriente eléctrica* es la cantidad de carga que pasa por cada sección de un conductor en un segundo. Por tanto: $I = \frac{q}{t}$ = amper = A. Un amper equivale al paso de una carga de un coulomb a través de una sección de un conductor en un segundo.

24. La *fuerza electromotriz fem* mide la cantidad de energía proporcionada por un elemento generador de corriente eléctrica. Por tanto, la *fem* aplicada a un circuito es igual a la energía que se necesita suministrar para que la unidad de carga recorra el circuito completo: $\epsilon = \frac{T}{q}$.

25. Una *pila* es un dispositivo que transforma la energía química en eléctrica. Pueden conectarse en serie si se une el polo positivo de una con el negativo de la otra y así sucesivamente. La conexión es en paralelo cuando se conectan, por una parte, los polos positivos de las pilas y, por la otra, los negativos. Cabe señalar que si se conectan dos o más pilas en serie el voltaje total será: $V_T = V_1 + V_2 + \ldots + V_n$. Si es en paralelo la conexión, el voltaje total será igual al de una de las pilas como si fuera una sola. Por supuesto, las pilas conectadas deben tener el mismo voltaje.

26. La *resistencia eléctrica* es la oposición que presentan los materiales al paso de la corriente. Ésta circula con relativa facilidad en los metales, por ello se les da el nombre de conductores. En cambio, existen otros materiales, como el hule, la madera, el plástico, etc., que presentan gran dificultad para permitir el paso de la corriente, por lo cual reciben el nombre de aislantes o dieléctricos. Los factores que influyen en la resistencia de un conductor son: *Naturaleza*. *Longitud*, ya que a mayor longitud mayor resistencia. *Sección o área transversal*, pues si se duplica ésta, se reduce a la mitad la resistencia. *Temperatura,* en el caso de los metales su resistencia aumenta proporcionalmente a su temperatura; sin embargo, el carbón disminuye su resistencia al incrementarse la temperatura. La unidad que se usa en el SI para medir la resistencia es el ohm (Ω). A fin de calcular la resistencia de un alambre conductor a una determinada temperatura se utiliza la expresión: $R = \rho\frac{L}{A}$. Para calcular la resistencia de un conductor a una cierta temperatura se utiliza la expresión:

$$R_T = R_0(1 + \alpha T)$$

27. La *ley de Ohm* señala: la intensidad de la corriente eléctrica que pasa por un conductor en un circuito es directamente proporcional a la diferencia de potencial aplicado a sus extremos e inversamente proporcional a la resistencia del conductor. Por tanto:

$$I = \frac{V}{R}$$

28. Un *circuito* es un sistema eléctrico en el cual la corriente fluye por un conductor en una trayectoria completa debido a una diferencia de potencial. En cualquier circuito existen los siguientes elementos fundamentales: **a)** *voltaje*, **b)** *corriente* y **c)** *resistencia*. Los circuitos pueden estar conectados en serie, paralelo y mixtos. Si la conexión es en serie, circula la misma corriente en cada resistencia. Si es en paralelo la corriente se reparte en cada resistencia. Para calcular la resistencia equivalente de dos o más resistencias conectadas en serie, se usa la expresión: $R_e = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$. Cuando la conexión es en paralelo se emplea la ecuación:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

29. Cuando una pila alimenta a un circuito, suministra un voltaje real diferente al voltaje teórico que tiene cuando el circuito está abierto. Esta diferencia se debe a la resistencia interna de la batería.

30. Siempre que una carga se mueve a través de un conductor en un circuito eléctrico, realiza un trabajo, el cual se consume generalmente al calentar el circuito o al girar un motor. La potencia eléctrica es la rapidez con que se efectúa un trabajo. También se interpreta como la energía consumida por una máquina o cualquier dispositivo eléctrico en un segundo. De donde: $P = VI$. Para calcular la energía que consume un aparato eléctrico se emplea la expresión: $T = Pt$ cuyas unidades en el SI son el watt-segundo; sin embargo, es más común utilizar como unidad práctica el kilowatt-hora (kW-h).

31. La *ley de Joule* dice: el calor producido por una corriente eléctrica al circular a través de un conductor es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente, a la resistencia y al tiempo que dura circulando la corriente. Matemáticamente se expresa:

$$Q = 0.24\, I^2Rt$$

32. Kirchhoff fue uno de los pioneros en el análisis de los circuitos y propuso dos leyes que llevan su nombre. *Primera ley de Kirchhoff*: la suma de todas las intensidades de corriente que llegan a un nodo o unión de un circuito es igual a la suma de todas las intensidades de corriente que salen de él. *Segunda ley de Kirchhoff:* en un circuito cerrado o malla, las caídas de tensión totales en las resistencias son iguales a la tensión total aplicada al circuito.

33. Un *capacitor o condensador eléctrico* es un dispositivo empleado para almacenar cargas eléctricas. La capacitancia aumenta si es mayor el área entre sus placas, o si se aumenta el voltaje que recibe y se reduce la distancia entre ellas. Un capacitor tiene valor de un farad cuando al almacenar la carga de un coulomb su potencial aumenta un volt. Para calcular la capacitancia equivalente en una conexión en serie de dos o más capacitores se usa la expresión:

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n}$$

Si la conexión es en paralelo:

$$C_e = C_1 + C_2 + \ldots + C_n$$

34. La electroquímica es la parte de la Química que estudia la relación entre procesos químicos y eléctricos.

35. Las sales, las bases y los ácidos oxálicos no son conductores de la electricidad, pero cuando cualquiera de estas sustancias se disuelve en agua, la solución resultante sí es conductora, es decir, es un electrolito.

36. La conducción electrolítica se debe a la movilidad iónica en estado líquido. Como los iones son partículas con carga eléctrica, el movimiento de los iones a través de la solución genera una corriente eléctrica, tal como sucede con el movimiento de electrones a través de un metal.

37. La electrólisis es el proceso mediante el cual una corriente eléctrica produce un cambio químico.

38. La *ley de Faraday de la electrólisis* señala lo siguiente: el grado de la reacción química en un electrodo es directamente proporcional a la cantidad de carga que fluye por este electrodo durante la reacción.

39. Un mol de electrones (6.02×10^{23} electrones) equivale a 96 500 coulombs. Esta cantidad es una unidad práctica utilizada en cálculos electroquímicos y se le da el nombre de un faraday, por tanto: 1 faraday = 96 500 C = 1 mol de electrones.

Autoevaluación

Escriba en su cuaderno las respuestas a las siguientes preguntas. Si se le presentan dudas al responder, vuelva a leer la sección correspondiente del libro, la cual viene señalada al final de cada pregunta para su fácil localización.

1. Describa qué estudia cada una de las partes en las que se divide la electricidad para su estudio. *(Introducción de la Unidad 12)*
2. Describa brevemente cuál es el origen de la palabra electricidad y cuáles son para usted, los antecedentes históricos más relevantes. *(Sección 1)*
3. Explique cómo está constituida la materia y diga por medio de un ejemplo de su entorno, cuándo un cuerpo queda cargado negativa o positivamente. *(Sección 2)*
4. Ejemplifique mediante un dibujo cómo es la interacción entre cargas de igual y diferente signo. *(Sección 3)*

5. Explique brevemente, con ejemplos de su entorno, cada una de las tres formas para electrizar a un cuerpo. *(Sección 4)*

6. Dibuje un electroscopio y diga para qué se usa. *(Sección 5)*

7. Describa por medio de un dibujo, qué es una jaula de Faraday y qué comprueba. *(Sección 5)*

8. Explique con ejemplos prácticos, la diferencia entre los materiales conductores y aislantes. Cite ejemplos de ellos. *(Sección 6)*

9. Escriba cuál es la unidad de carga en el SI, y diga si es grande o pequeña y por qué. *(Sección 7)*

10. Enuncie la ley de Coulomb y escriba su expresión matemática. *(Sección 8)*

11. Explique qué sucede con la magnitud de la fuerza eléctrica de interacción en las cargas cuando se encuentran sumergidas en algún medio o sustancia aislante. Defina también el concepto de permitividad relativa o coeficiente dieléctrico de una sustancia. *(Sección 8)*

12. Describa con dibujos cómo es el campo eléctrico de una carga positiva, una negativa y el producido por dos cargas del mismo signo. *(Sección 9)*

13. Defina el concepto de campo eléctrico y el de intensidad del campo eléctrico; señale la expresión matemática para calcular la magnitud de la intensidad del campo a una determinada distancia de una carga. *(Sección 9)*

14. Explique por qué la intensidad del campo eléctrico es una magnitud vectorial. *(Sección 9)*

15. Defina los siguientes conceptos: **a)** Energía potencial gravitacional. **b)** Energía potencial eléctrica. **c)** Potencial eléctrico. Escriba para cada caso su expresión matemática. *(Sección 10)*

16. Señale la expresión matemática para calcular el potencial eléctrico a una cierta distancia de una carga. Explique el significado de cada literal. *(Sección 10)*

17. Explique por medio de un dibujo qué es una superficie equipotencial. *(Sección 10)*

18. Defina el concepto de diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera y escriba su expresión matemática. *(Sección 10)*

19. Explique cómo se determina el trabajo que realiza un campo eléctrico al mover una carga de un punto a otro. *(Sección 10)*

20. Utilice un dibujo para explicar qué es un campo eléctrico uniforme y cómo se calcula el valor de la diferencia de potencial en un punto de él. *(Sección10)*

21. Diga qué estudia la electrodinámica. *(Sección 11)*

22. Explique qué es una corriente eléctrica y cuáles son las causas que la producen. *(Sección 11)*

23. Describa cómo se produce la corriente eléctrica en los sólidos, líquidos y gases. *(Sección 11)*

24. Por medio de gráficas representativas señale la diferencia entre la corriente continua y la corriente alterna. *(Sección 11)*

25. Como explica usted el concepto de intensidad de la corriente eléctrica, su expresión matemática y unidad en el SI. *(Sección 11)*

26. Explique qué se entiende por fuerza electromotriz. *(Sección 12)*

27. Dibuje una conexión de pilas en serie y una en paralelo. Señale las características de ambas. *(Sección 13)*

28. Defina el concepto de resistencia eléctrica. Señale cuáles son los factores que influyen en la resistencia eléctrica de un material. *(Sección 14)*

29. Explique la diferencia entre conductividad y resistividad de un material. *(Sección 14)*

30. Describa cómo varía la resistencia de los metales con la temperatura y escriba la expresión matemática para calcular la resistencia de un conductor a una cierta temperatura. *(Sección 14)*

31. Enuncie y escriba el modelo matemático de la ley de Ohm. *(Sección 15)*

32. Explica por medio de un dibujo qué se entiende por circuito eléctrico y cuáles son los elementos fundamentales que lo integran. *(Sección 16)*

33. Explique por medio de dibujos cuándo un circuito está conectado en serie, en paralelo y en forma mixta. Señale también qué sucede con la corriente y el voltaje en una conexión en serie y otra en paralelo. *(Sección 16)*

34. Escriba la expresión matemática para calcular la resistencia equivalente en un circuito en serie y en paralelo. *(Sección 16)*

35. Describa por medio de un circuito, y en forma breve, cómo se determina matemáticamente la resistencia equivalente de un circuito eléctrico con una conexión mixta de resistencias. *(Sección 16)*

36. Explique qué se entiende por resistencia interna de una pila. *(Sección 16)*

37. Defina el concepto de potencia eléctrica y escriba sus expresiones matemáticas. *(Sección 17)*

38. Describa de qué manera se determina la cantidad de energía eléctrica que consume una máquina o

dispositivo eléctrico y en qué unidades prácticas se mide. *(Sección 17)*

39 Describa en qué consiste el efecto Joule, cuál es el enunciado de su ley y qué aplicaciones prácticas tiene. *(Sección 17)*

40 Explique mediante ejemplos la primera ley de Kirchhoff o de las tensiones. *(Sección 18)*

41 Mediante un dibujo describa cómo está constituido un capacitor simple. Señale también cómo puede aumentarse su capacitancia y cómo se define al farad. *(Sección 19)*

42 Mencione dos aplicaciones prácticas de un capacitor. *(Sección 19)*

43 Escriba las expresiones matemáticas utilizadas para calcular las capacitancias equivalentes en una conexión de capacitores en serie y en paralelo. *(Sección 19)*

44 Explique qué se entiende por: **a)** electroquímica, **b)** electrólito, **c)** electrólisis *(Sección 20)*

45 ¿Cómo se interpreta la ley de Faraday de la electrólisis? *(Sección 20)*

46 ¿A qué se debe la conducción electrolítica? *(Sección 20)*

47 Explique qué es un faraday de electricidad. *(Sección 20)*

Coevaluación

Instrucciones: Consolide su aprendizaje, para ello lea y conteste en una hoja las siguientes preguntas. Luego, intercambie con un(a) compañero(a) sus respuestas. Coméntenlas, pónganse de acuerdo y den respuestas comunes. Discútanlas con las demás parejas y enriquezcan sus conocimientos con las aportaciones de todos.

1 Adelina camina arrastrando sus pies sobre una alfombra en una noche libre de humedad.

a) ¿Por qué observa chispas al caminar?

b) Las plantas de los pies de Adelina transfieren electrones a la alfombra. ¿Qué carga eléctrica adquieren las plantas de los pies de Adelina y por qué?

2 Un electrón experimenta una fuerza de atracción de otra carga eléctrica.

a) ¿De qué signo es la carga eléctrica que atrae al electrón?

b) ¿Cómo será la magnitud de la fuerza con la cual es atraído el electrón, comparada con la magnitud con la que el electrón atrae otra carga? ¿Igual, menor o mayor?

3 Si usted toca con un objeto cargado eléctricamente otro objeto y éste se carga eléctricamente sólo en la parte tocada, ¿este objeto es un buen o mal conductor de la electricidad? ¿Por qué?

4 ¿Cómo es la cantidad de protones que hay en el núcleo de un átomo comparada con el número de electrones que orbitan alrededor del núcleo?

5 Francisco utiliza un peine para alisarse el cabello y observa y escucha las chispas que se producen. Utilice este ejemplo para explicar la ley de la conservación de la carga eléctrica.

6 Una persona sufre un choque eléctrico que le produce graves quemaduras en su cuerpo. ¿Qué produce el choque eléctrico, la corriente o el voltaje?

7 José Luis tiene tres lámparas en su cuarto que están conectadas en serie.

a) ¿Qué sucede cuando se le funde una de las lámparas?

b) Si conecta dos lámparas más en serie, ¿disminuye la intensidad luminosa de las lámparas? Sí o no y por qué.

c) ¿Cómo le recomendaría a José Luis que conecte sus lámparas? ¿Por qué?

8 ¿Qué condición es necesaria para que se produzca un flujo continuo de carga eléctrica por medio de un conductor eléctrico?

9 ¿Qué sucede con la corriente de un circuito eléctrico cuando se le duplica el voltaje suministrado y se mantiene constante su resistencia eléctrica?

10 ¿Por qué cuando toca un alambre por el cual circula una corriente eléctrica lo siente caliente?

11 En la sal de mesa no se observa que circula la corriente eléctrica al colocarle los bornes de un circuito eléctrico básico conectado a una fuente de voltaje y a un foco eléctrico. ¿Qué sugiere hacer para que circule la corriente y se encienda el foco?

12 A una unión o empalme de un circuito eléctrico llegan 12 A a través de tres conductores que convergen en él. Si después de dicho empalme sale un solo conductor, ¿cuál será la corriente eléctrica que fluye por ese único conductor?

Glosario

Campo eléctrico

Zona que rodea a un cuerpo cargado eléctricamente y cuya fuerza se manifiesta sobre cualquier carga cercana a su zona de influencia.

Capacitor o condensador eléctrico

Dispositivo empleado para almacenar cargas eléctricas.

Carga de prueba

Carga eléctrica de valor muy pequeño y que por convención es de signo positivo.

Carga eléctrica de un cuerpo

Cuando tiene exceso o carencia de electrones.

Carga puntual

Es la que tiene distribuida un cuerpo electrizado, cuyo tamaño es pequeño comparado contra la distancia que lo separa del otro cuerpo cargado.

Circuito eléctrico

Es un sistema en el cual la corriente fluye por un conductor en una trayectoria completa, es decir, cerrada, debido a una diferencia de potencial o voltaje.

Contacto

Fenómeno de electrización que se origina cuando un cuerpo saturado de electrones cede algunos a otro cuerpo con el cual se junta.

Corriente alterna

Se origina cuando el campo eléctrico cambia alternativamente de sentido, por lo que los electrones oscilan a uno y otro lado del conductor; así, en un instante el polo positivo cambia a negativo y viceversa.

Corriente continua o directa

Se origina cuando el campo eléctrico permanece constante, lo que provoca que los electrones se muevan siempre en el mismo sentido.

Corriente eléctrica

Es un movimiento de electrones a través de un conductor.

Diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera A y B

Su valor es igual al trabajo por unidad de carga positiva que realizan fuerzas eléctricas al mover una carga de prueba desde el punto A al B.

Efecto Joule

Fenómeno que se origina cuando circula corriente eléctrica en un conductor; parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor y eleva la temperatura del conductor.

Electricidad

Palabra que proviene del vocablo griego *elektron*, que significa ámbar.

Electrodinámica

Parte de la electricidad que se encarga del estudio de las cargas eléctricas.

Electrólisis

Proceso mediante el cual una corriente eléctrica produce un cambio químico.

Electroquímica

Parte de la Química que estudia la relación entre procesos químicos y eléctricos.

Electroscopio

Aparato que posibilita detectar la presencia de carga eléctrica en un cuerpo e identificar el signo de la misma.

Electrostática

Parte de la electricidad que se encarga de estudiar las cargas eléctricas en reposo.

Farad

Unidad de capacitancia.

Frotamiento

Forma de electrizar a los cuerpos al frotarse unos con otros.

Fuerza electromotriz

Mide la cantidad de energía que proporciona un elemento generador de corriente eléctrica. Por tanto, la fuerza electromotriz aplicada en un circuito eléctrico es igual a la energía suministrada para que la unidad de carga recorra el circuito completo.

Inducción

Forma de electrización que se presenta cuando un cuerpo se carga eléctricamente al acercarse, sin llegar a tocarse, a otro ya electrizado.

Intensidad de la corriente eléctrica

Es la cantidad de carga eléctrica que pasa por cada sección de un conductor en un segundo $\left(I = \frac{q}{t} \right)$.

Ley de Coulomb

La fuerza eléctrica de atracción o repulsión entre dos cargas puntuales, es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

Ley de Faraday de la electrólisis

El grado de reacción química en un electrodo es directamente proporcional a la cantidad de carga que fluye por este electrodo durante la reacción.

Ley de Joule

El calor que produce una corriente eléctrica al circular por un conductor es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente, a la resistencia y al tiempo que dura circulando la corriente.

Ley de Ohm

La intensidad de la corriente eléctrica que pasa por un conductor en un circuito es directamente proporcional a la diferencia de potencial aplicado a sus extremos e inversamente proporcional a la resistencia del conductor.

Línea de fuerza

Concepto ideado por Faraday para representar gráficamente un campo eléctrico.

Materiales aislantes de la electricidad o dieléctricos

Son aquellos que sólo se electrizan en los puntos donde hacen contacto con un cuerpo cargado, o bien, en la parte frotada.

Materiales conductores de la electricidad

Son aquellos que se electrizan en toda su superficie, aunque sólo se frote un punto de la misma.

Potencia eléctrica

Es la energía que consume una máquina o cualquier dispositivo eléctrico en un segundo.

Potencial eléctrico en cualquier punto de un campo eléctrico

Es igual al trabajo que se necesita realizar para transportar a la unidad de carga positiva desde el potencial cero hasta el punto considerado.

Primera ley de Kirchhoff

La suma de todas las intensidades de corriente que llegan a un nodo (unión o empalme) de un circuito es igual a la suma de todas las intensidades de corriente que salen de él.

Principio de conservación de la carga

Es imposible producir una carga positiva sin producir al mismo tiempo una carga negativa de idéntica magnitud, por tanto, la carga eléctrica del Universo es una magnitud constante, no se crea ni se destruye.

Resistencia eléctrica

Es la oposición que presenta un material al paso de la corriente o flujo de electrones.

Segunda ley de Kirchhoff

En un circuito cerrado o malla, las caídas de tensión totales en las resistencias son iguales a la tensión total que se aplica al circuito.

Superficie equipotencial

Es aquella que resulta de la unión de todos los puntos de un cuerpo eléctrico que se encuentran al mismo potencial eléctrico.

UNIDAD 13

CONTENIDO

- Propiedades y características de los diferentes tipos de imanes
- Campo magnético
- Densidad de flujo magnético
- Magnetismo terrestre
- Teorías del magnetismo
- Reluctancia
- Materiales ferromagnéticos, paramagnéticos y diamagnéticos
- Actividad experimental 22: *Imanes y campo magnético*
- Resumen
- Autoevaluación
- Coevaluación
- Glosario

Hace dos mil años aproximadamente, unos pastores de Magnesia (ciudad antigua de Turquía), cuando conducían a sus corderos a cierto pasto, sintieron una fuerte atracción hacia el suelo debido a la punta metálica de su bastón y a los clavos de su calzado, que les dificultó seguir caminando. Interesados por encontrar la causa removieron la tierra y descubrieron una roca negra, la cual atraía al hierro. Hoy esta roca recibe el nombre de **piedra imán** o **magnetita**; químicamente es un mineral de óxido de hierro cuya fórmula es Fe_3O_4.

Más adelante, la gente descubrió que al colgar libremente de un hilo un pedazo largo y delgado de la roca negra de Magnesia, ésta daba varias vueltas hasta detenerse y apuntar siempre el mismo extremo hacia el Polo Norte geográfico y el otro al Polo Sur; por ello la usaron como brújula con el propósito de orientarse durante largos viajes. Existen bases para suponer que en el año 121 a.C. los chinos usaban el **imán como brújula**.

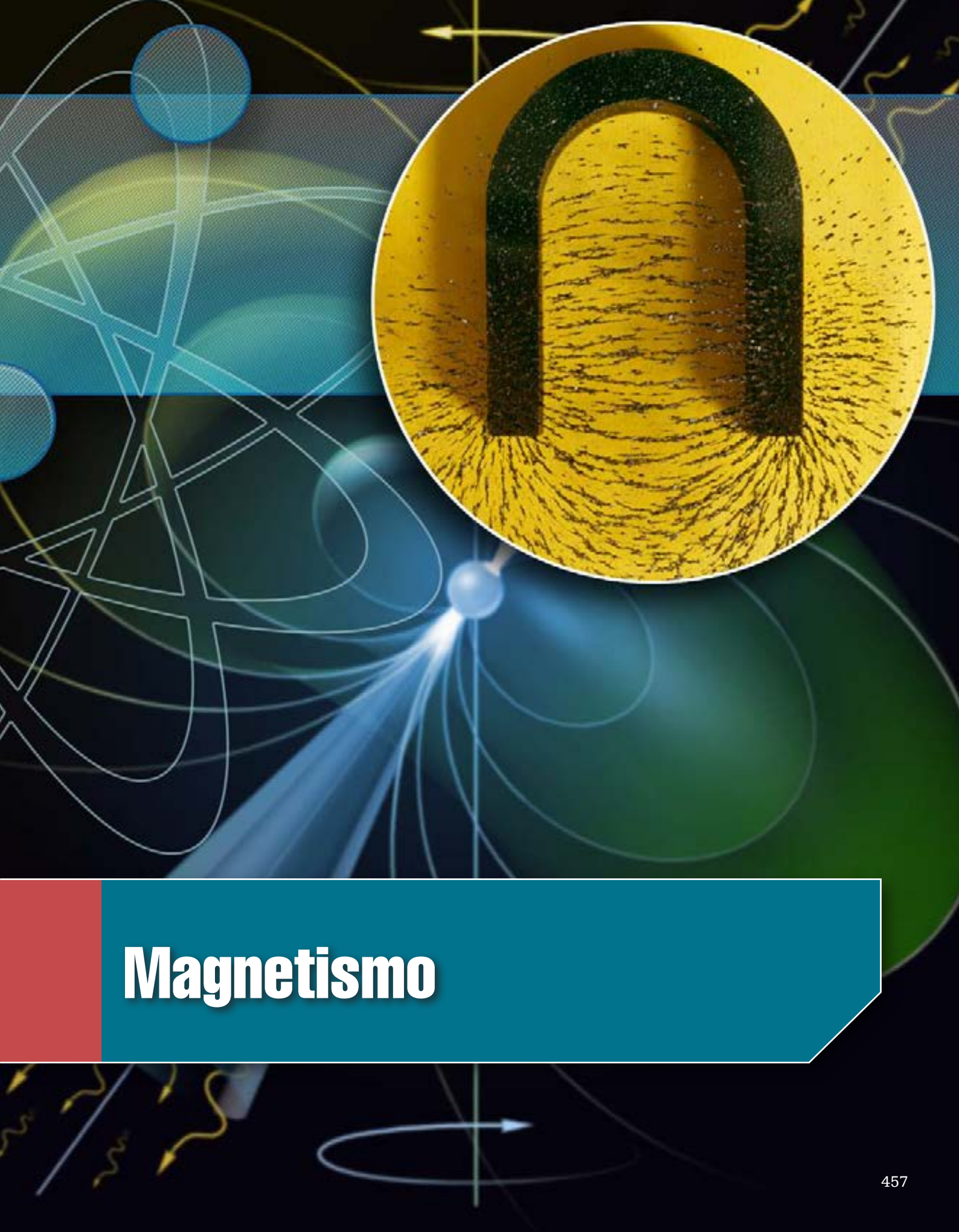
William Gilbert (1540-1603) demostró que la Tierra se comporta como un enorme imán, también demostró que cuando un imán se rompe en varios trozos, cada uno se convierte en un nuevo imán con sus respectivos polos magnéticos. Por tanto, no existen polos magnéticos separados, contrario a las cargas eléctricas que sí se separan.

Gilbert demostró que polos iguales se rechazan y polos diferentes se atraen.

El campo magnético de un imán es la zona que lo rodea y en el cual su influencia puede detectarse. Faraday imaginó que de un imán salían hilos o líneas que se esparcían, a éstas las llamó líneas de fuerza magnética. Dichas líneas aumentan en los polos, pues ahí es mayor la intensidad magnética.

Actualmente se sabe que la atracción ejercida por la roca negra sobre la punta metálica del bastón de los pastores se debió a su propiedad magnética. **Magnetismo** es la propiedad que tienen los cuerpos llamados imanes de atraer al hierro, al níquel y al cobalto.

La importancia de los imanes y del magnetismo es muy grande porque se utilizan en muchos aparatos, tales como: timbres, alarmas, teléfonos, conmutadores, motores eléctricos, brújulas y separadores de cuerpos metálicos de hierro, entre otros.



Magnetismo

1 Propiedades y características de los diferentes tipos de imanes

A finales del siglo XVI los sabios empezaron a descubrir el porqué del magnetismo y a comprender el funcionamiento de la brújula (figura 13.1).

William Gilbert (1540-1603), médico e investigador inglés, demostró con sus experimentos que la Tierra se comporta como un imán enorme, por tanto obliga a un extremo de la brújula a apuntar al Norte geográfico. Gilbert nombró polo que busca el Norte, a la punta de la brújula que señala ese punto, y polo que busca el Sur, al otro extremo; actualmente sólo se les llama polo norte y polo sur. También demostró que cuando un imán se rompe en varios pedazos, cada uno se transforma en uno nuevo con sus dos polos en cada extremo.



figura 13.1

Un extremo de la aguja de una brújula apunta siempre al Polo Norte magnético de la Tierra.

Gilbert descubrió cómo interactúan los polos de los imanes y demostró que polos iguales se rechazan y polos distintos se atraen. Realizó experimentos con trozos de hierro sin imantar y encontró que eran atraídos indistintamente por los polos norte o sur. Finalmente, observó que la fuerza de atracción o de repulsión entre imanes es mucho mayor en los polos (figura 13.2).



figura 13.2

La fuerza de atracción de un imán es mayor en los extremos.

Imanes permanentes y temporales

La mayoría de los imanes utilizados ahora son artificiales, pues se pueden fabricar con una mayor intensidad magnética que los naturales, además de tener mayor solidez y facilidad para ser moldeados según se requiera. No todos los metales pueden ser imantados y otros, aunque pueden adquirir esta propiedad, se desimantan fácilmente, ya sea por efectos externos o en forma espontánea. Muchos imanes se fabrican con aleaciones de hierro, níquel y aluminio; hierro con cromo, cobalto, tungsteno o molibdeno.

La imantación de un trozo de acero, como una aguja, unas tijeras o un desarmador, se hace fácilmente al frotar unas doce veces cualquiera de ellos con un imán, desde el centro del cuerpo hasta la punta. Después de esta operación cualquiera de ellos será un imán y podrá atraer limaduras de hierro, clavos, tornillos, alfileres o clips. En la industria, una barra de metal se imanta al someterla a la acción de un campo magnético producido por un solenoide en el que circula una corriente eléctrica. Si la barra es de hierro dulce, se imanta, pero la imantación cesa al momento de interrumpir la corriente, por ello recibe el nombre de imán temporal (figura 13.3). Cuando la barra es de acero templado adquiere una imantación la cual persiste incluso después que la corriente eléctrica se interrumpe en el solenoide, con lo cual se obtiene un imán permanente.



figura 13.3

Un ejemplo de imán temporal es este electroimán que se ve suspendido de una grúa, levantando chatarra.

2 Campo magnético

El inglés Michael Faraday (1791-1867) estudió los efectos producidos por los imanes. Observó que un imán permanente ejerce una fuerza sobre un trozo de hierro o sobre cualquier imán cercano a él, debido a la presencia de un campo de fuerzas cuyos efectos se hacen sentir incluso a través de un espacio vacío. Faraday imaginó que de un imán salían hilos o líneas que se esparcían, a éstas las llamó líneas de fuerza magnética. Dichas líneas se encuentran más en los polos pues ahí la intensidad es mayor.

Las líneas de fuerza producidas por un imán, ya sea de barra o de herradura, se esparcen desde el polo norte y se curvan para entrar al sur (figuras 13.4 y 13.5). A la zona que rodea a un imán y en la cual su influencia puede detectarse recibe el nombre de campo magnético. Faraday señaló que cuando dos imanes se encuentran cerca uno de otro, sus campos magnéticos se interfieren recíprocamente.

Cuando un polo norte se encuentra cerca de uno sur, las líneas de fuerza se dirigen del norte al sur; cuando se acercan dos polos iguales, las líneas de cada uno se alejan de las del otro (figuras 13.6 y 13.7).

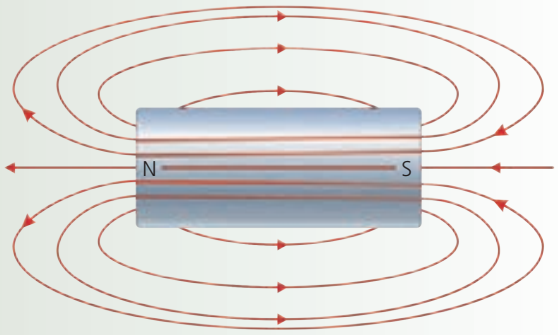


figura 13.4
Espectro magnético de un imán en forma de barra.

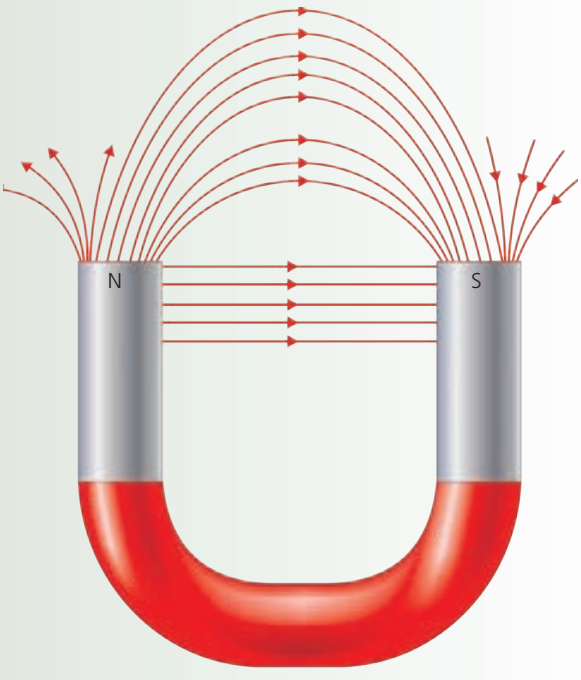


figura 13.5
Espectro magnético de un imán en forma de herradura.

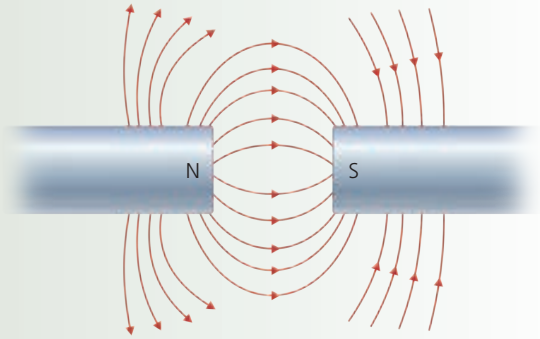


figura 13.6
Líneas de fuerza entre polos diferentes.

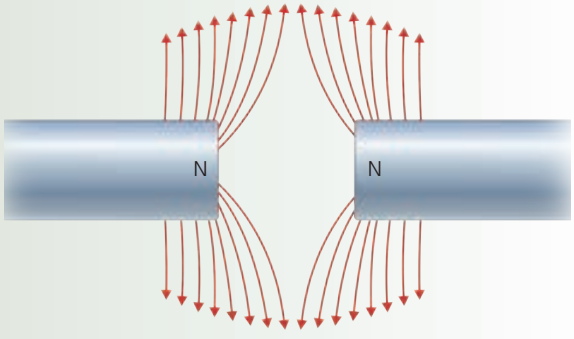


figura 13.7
Líneas de fuerza entre polos iguales.

3 Densidad de flujo magnético

El concepto propuesto por Faraday acerca de las líneas de fuerza es imaginario, pero resulta muy útil para dibujar los campos magnéticos y cuantificar sus efectos. Una sola línea de fuerza equivale a la unidad del flujo magnético ϕ en el Sistema CGS y recibe el nombre de maxwell. Sin embargo, ésta es una unidad muy pequeña de flujo magnético, por lo que en el Sistema Internacional se emplea una unidad mucho mayor llamada weber y cuya equivalencia es la siguiente:

$$1 \text{ weber} = 1 \times 10^8 \text{ maxwells}$$

Un flujo magnético ϕ que atraviesa perpendicularmente una unidad de área A recibe el nombre de densidad de flujo magnético o inducción magnética B (figura 13.8). Por definición: la densidad del flujo magnético en una región de un campo magnético equivale al número de líneas de fuerza (o sea al flujo magnético) que atraviesan perpendicularmente a la unidad de área. Matemáticamente se expresa:

$$B = \frac{\phi}{A} \quad \therefore \quad \phi = BA$$

donde:

B = densidad del flujo magnético, en el sistema internacional se mide en webers/metro cuadrado (Wb/m^2)

ϕ = flujo magnético, su unidad es el weber (Wb)

A = área sobre la que actúa el flujo magnético, se expresa en metros cuadrados (m^2)

Nota: La densidad del flujo magnético también recibe el nombre de inducción magnética.

En el SI la unidad de densidad del flujo magnético es el Wb/m^2, el cual recibe el nombre de tesla (T) en honor del físico yugoslavo Nicolás Tesla (1856-1943).

Cuando el flujo magnético no penetra perpendicularmente un área, sino que lo hace con un cierto ángulo, la expresión para calcular la densidad del flujo magnético será:

$$B = \frac{\phi}{A \operatorname{sen}\theta} \quad \therefore \quad \phi = BA \operatorname{sen}\theta$$

donde: θ = ángulo formado por el flujo magnético y la normal a la superficie.

En conclusión, la densidad de flujo magnético es un vector que representa la intensidad, dirección y sentido del campo magnético en un punto.

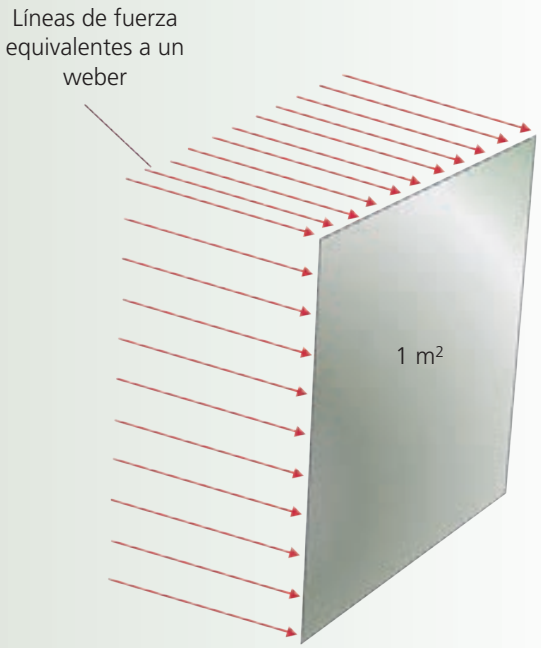


figura 13.8

La densidad del flujo magnético o inducción magnética (B) es de 1 tesla (1 T), cuando llegan 1 × 10^8 líneas de fuerza, es decir, 1 weber (1 Wb) a un área de un metro cuadrado (1 m^2), de donde: 1 T = 1 Wb/m^2.

Resolución de problemas de flujo magnético

1 En una placa circular de 3 cm de radio existe una densidad de flujo magnético de 2 teslas. Calcular el flujo magnético total a través de la placa, en webers y maxwells.

Solución:

Datos

r = 3 cm = 0.03 m
B = 2 T
ϕ = ?
1 Wb = 1 × 10^8 maxwells

Fórmula

$\phi = BA$

Cálculo del área de la placa

$A = \pi r^2 = 3.14\ (3 \times 10^{-2}\ m)^2$

$= 28.26 \times 10^{-4}\ m^2$

Sustitución y resultado

$$\phi = 2\frac{Wb}{m^2} \times 28.26 \times 10^{-4} m^2$$

$= 56.52 \times 10^{-4}$ Wb

$$= 56.52 \times 10^{-4}\ Wb \times \frac{1 \times 10^8 \text{maxwells}}{1\ Wb}$$

$\phi = 56.52 \times 10^4$ maxwells

2 Una espira de 15 cm de ancho por 25 cm de largo forma un ángulo de 27° respecto al flujo magnético. Determinar el flujo magnético que penetra por la espira debido a un campo magnético cuya densidad de flujo es de 0.2 teslas.

Solución:

Datos

$A = 15\ cm \times 25\ cm$

$\theta = 27°$

$B = 0.2\ T$

$\phi = ?$

Fórmula

$\phi = BA \operatorname{sen} \theta$

Cálculo del área

$A = 0.15\ m \times 0.25\ m = 0.038\ m^2 = 3.8 \times 10^{-2}\ m^2$

Sustitución y resultado

$$\phi = 0.2\frac{Wb}{m^2} \times 3.8 \times 10^{-2} m^2 \times 0.4540$$

$= 3.5 \times 10^{-3}$ Wb

Ejercicios propuestos

1 En una placa rectangular que mide 1 cm de ancho por 2 cm de largo, existe una densidad de flujo magnético de 1.5 *T*. ¿Cuál es el flujo magnético total a través de la placa en webers y maxwells?

2 Calcular el flujo magnético que penetra por una espira de 8 cm de ancho por 14 cm de largo y forma un ángulo de 30° respecto a un campo magnético cuya densidad de flujo es de 0.15 *T*.

Permeabilidad magnética e intensidad de campo magnético

En virtud de que la densidad de flujo *B* en cualquier región particular de un campo magnético sufre alteraciones originadas por el medio que rodea al campo, así como por las características de algún material que se interponga en los polos de un imán, conviene definir dos nuevos conceptos: la permeabilidad magnética μ y la intensidad del campo magnético *H*.

Permeabilidad magnética

Es una propiedad que presentan algunos materiales, como el hierro dulce, en los cuales las líneas de fuerza de un campo magnético pasan con mayor facilidad a través del material de hierro que por el aire o el vacío (figura 13.9). Esto provoca que cuando un material permeable se coloca en un campo magnético, concentre un mayor número de líneas de flujo por unidad de área y aumente el valor de la densidad del flujo magnético.

La permeabilidad magnética de diferentes medios se representa con la letra griega μ (mu). La permeabilidad magnética del vacío μ_0 tiene un valor en el SI de:

$$\mu_0 = 4\ \pi \times 10^{-7}\ Wb/Am = 4\ \pi \times 10^{-7}\ Tm/A$$

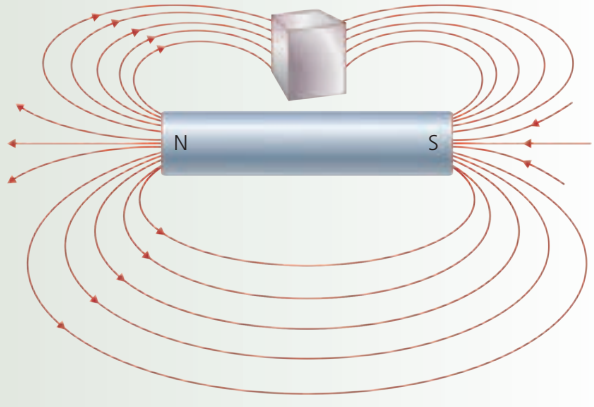


figura 13.9

El hierro dulce por ser un material permeable concentra las líneas de flujo magnético, lo que favorece el aumento de la densidad de dicho flujo.

Para fines prácticos la permeabilidad del aire se considera igual a la permeabilidad del vacío.

La permeabilidad relativa de una sustancia se calcula con la expresión:

$$\mu_r = \frac{\mu \text{ (permeabilidad de la sustancia)}}{\mu_0 \text{ (permeabilidad del vacío)}}$$

$$\therefore \mu = \mu_r \mu_0$$

También podemos señalar que la permeabilidad relativa de una sustancia o de un material, es una medida de su capacidad para modificar la densidad de flujo de un campo magnético.

En el caso de aquellas sustancias que prácticamente no se imantan, el valor de su permeabilidad relativa μ_r es menor de uno. Los materiales que sin ser ferromagnéticos se logran imantar tienen permeabilidad relativa ligeramente mayor a la unidad. Las sustancias ferromagnéticas alcanzan valores muy elevados de permeabilidad relativa, como el ferrosilicio cuyo valor llega a ser de 66 mil.

Intensidad del campo magnético

Para un medio dado, el vector intensidad del campo magnético es el cociente que resulta de la densidad del flujo magnético entre la permeabilidad magnética del medio:

$$H = \frac{B}{\mu} \quad \therefore \quad B = \mu H$$

donde:

H = intensidad del campo magnético para un medio dado, se mide en amper/metro (A/m)

B = densidad del flujo magnético, se expresa en teslas (T)

μ = permeabilidad magnética del medio, su unidad es el tesla metro/ampere (Tm/A)

Resolución de un problema de intensidad del campo magnético

Una barra de hierro cuya permeabilidad relativa es de 12 500 se coloca en una región de un campo magnético en el cual la densidad del flujo magnético es de 0.8 teslas. ¿Cuál es la intensidad del campo magnético originada por la permeabilidad del hierro?

Solución:

Datos

$\mu_{r_{Fe}} = 12\,500$

$B = 0.8\ T$

Fórmula

$$H = \frac{B}{\mu}$$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A

Cálculo de la permeabilidad del hierro

$\mu = \mu_r \mu_0$

$\mu = 12\,500 \times 4 \times 3.14 \times 10^{-7}$ Tm/A

$= 1.57 \times 10^{-2}$ Tm/A

Sustitución y resultado

$$H = \frac{0.8 \text{ T}}{1.57 \times 10^{-2} \text{ Tm/A}} = 51 \text{ A/m}$$

Ejercicio propuesto

Se coloca una placa de hierro con una permeabilidad relativa de 12 500 en una región de un campo magnético en el cual la densidad de flujo vale 0.5 T.

Calcular la intensidad del campo magnético originada por la permeabilidad del hierro.

4 Magnetismo terrestre

Nuestro globo terrestre se comporta como un enorme imán que produce un campo magnético cuyos polos no coinciden con los polos geográficos (figura 13.10). Fue, como ya señalamos, el inglés William Gilbert quien lo demostró con sus experimentos. Para ello, pulió un pedazo de roca de magnetita a fin de hacer una esfera, y con la ayuda de una brújula colocada en diferentes puntos de ésta comprobó que un extremo de la brújula siempre apuntaba hacia el polo norte de la esfera, tal como apunta hacia el Polo Norte de la Tierra. Existen varias teorías que tratan de explicar la causa del magnetismo terrestre. Una de ellas señala lo siguiente: la Tierra contiene una gran cantidad de depósitos del mineral de

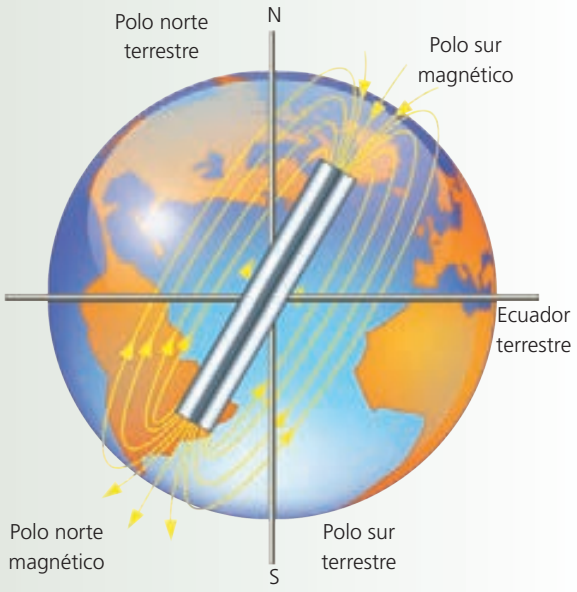


figura 13.10

La Tierra actúa como un enorme imán cuyos polos no coinciden con los polos geográficos.

hierro, los cuales en tiempos remotos se magnetizaron en forma gradual y prácticamente con la misma orientación, por ello actúan como un enorme imán. Otra teoría explica que el magnetismo terrestre se debe a las corrientes eléctricas que circulan alrededor de la Tierra, tanto en la corteza terrestre como en la atmósfera.

Declinación magnética

Como los meridianos magnético y terrestre no coinciden, el extremo norte de una brújula no apuntará hacia el verdadero norte geográfico. El ángulo de desviación formado entre el norte geográfico real y el norte que señala la brújula recibe el nombre de ángulo de declinación (figura 13.11).

Mientras el campo magnético terrestre sufre pequeñas variaciones constantes, la declinación magnética de un lugar presenta variaciones provocadas por cambios que se dan cada siglo, aproximadamente, y hacen variar el ángulo de declinación de 5 a 10′ de arco. También existen variaciones diurnas que alteran en 10′ dicho ángulo y variaciones accidentales originadas por las tormentas magnéticas producidas por los paroxismos (extrema intensidad) de la actividad solar, que llegan incluso a suspender momentáneamente las comunicaciones por radio a larga distancia.

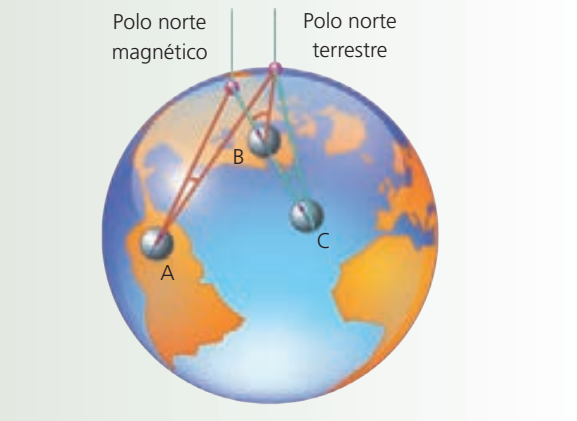


figura 13.11

El ángulo de declinación es el formado por el norte geográfico verdadero y el norte magnético.

Inclinación magnética

Como las líneas de fuerza de un campo magnético salen del polo norte y entran al polo sur, una aguja magnetizada que gire libremente se orientará en forma paralela a las líneas del campo. Así, el polo norte de la aguja se orientará al polo norte magnético de la Tierra y además tendrá una cierta inclinación respecto al plano horizontal (figura 13.12). Veamos, en caso de colocarla en algún punto cerca del *Ecuador*, su posición respecto al plano horizontal será casi paralela; sin embargo, al ubicársele en algún punto cercano a los polos magnéticos terrestres, la posición de ésta respecto al plano horizontal será en forma perpendicular a él. Por definición: la inclinación magnética es el ángulo que forma la aguja magnética, es decir, las líneas de fuerza del campo magnético, con el plano horizontal. Una brújula de inclinación es aquella con una suspensión tal que le permite oscilar en un plano vertical, por ello puede medir el ángulo de inclinación.

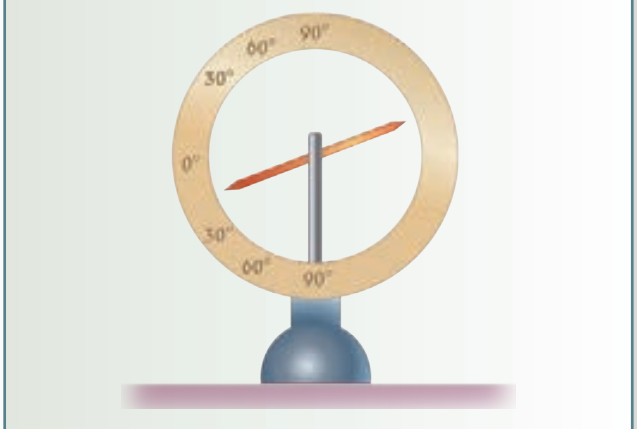


figura 13.12

Brújula de inclinación que mide el ángulo formado por el campo magnético de la Tierra y la superficie terrestre en un determinado punto.

5 Teorías del magnetismo

Existen varias teorías que tratan de explicar por qué se magnetizan algunas sustancias; la más aceptada actualmente es la del físico alemán Guillermo Weber (1804-1891). Dicha teoría establece que los metales magnéticos como el hierro, cobalto y níquel, están formados por innumerables imanes elementales muy pequeños. Antes de magnetizar cualquier trozo de alguno de estos metales, los diminutos imanes elementales están orientados al azar, es decir, en diferentes direcciones (figura 13.13a). Cuando se comienza a magnetizar algún trozo de estos metales, los imanes elementales giran hasta alinearse en forma paralela al campo que los magnetiza totalmente (figura 13.13b).

Cuando se magnetiza el hierro dulce por inducción, se observa que al retirar el campo magnetizante desaparece la imantación del metal y los diminutos imanes elementales vuelven a su antigua orientación desordenada. En cambio, cuando se imanta el acero templado, estos imanes quedan alineados aun después de haber retirado el campo magnetizante (figura 13.14).

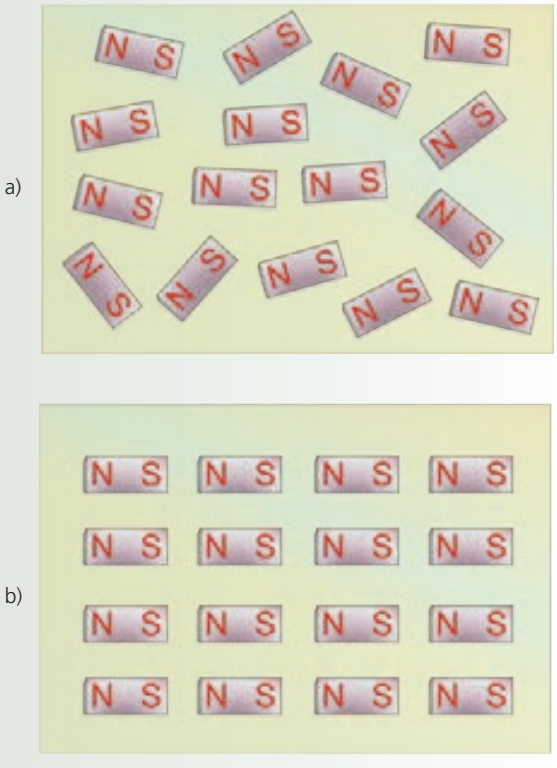


figura 13.13

En la figura a) vemos a los diminutos imanes elementales antes de ser magnetizados. En b) los imanes elementales se alinean en forma paralela al campo que los magnetiza totalmente.



figura 13.14

Las limaduras de hierro son atraídas por una barra de acero, misma que queda magnetizada aun después de que se retira el campo que la magnetizó.

Los imanes pueden perder su magnetismo por las siguientes causas:

a) Golpes o vibraciones constantes.

b) Calentamiento, ya que a la temperatura del rojo desaparece totalmente el magnetismo (la temperatura a la cual un material pierde sus propiedades magnéticas se le llama temperatura de Curie).

c) Influencia de su propio campo magnético, pues su campo magnético exterior es de sentido opuesto al del eje de imantación.

Una preocupación de los científicos es la de producir nuevos materiales útiles en la construcción de imanes

más potentes. Para ello, se han basado en el conocimiento de que un cuerpo magnético presenta zonas de pequeñas dimensiones llamadas dominios magnéticos, los cuales consisten en pequeños átomos imantados, alineados paralelamente entre sí. Unos dominios incrementan su tamaño por la influencia cercana de otros hasta lograr la saturación y todos ellos quedan orientados. Los investigadores han encontrado materiales magnéticos que pueden alterar sus dominios, por lo cual los átomos imantados se alinean con el campo de su alrededor; esto resulta en la formación de imanes fuertes y permanentes, pues los dominios permanecen iguales aun después de que se ha retirado el campo magnetizante.

La teoría de los dominios permitió considerar la posibilidad de triturar un material magnético hasta darle la consistencia de polvo fino, en el que cada partícula constituyera un dominio. Al comprimir el polvo para darle cualquier forma o tamaño apropiado y moldearlo con plástico o hule, se le somete a la influencia de un campo magnético fuerte que orienta a casi todos los dominios en una sola dirección, con lo cual se forma un excelente imán que puede usarse en bandas magnéticas flexibles de múltiples usos, como las utilizadas para mantener cerradas las puertas de los refrigeradores.

Actualmente se investigan nuevos y potentes imanes a fin de utilizarse en el funcionamiento de carros de ferrocarril y de transporte colectivo. En Japón se construyen



figura 13.15

Algunos trenes utilizan la propulsión y la levitación magnética. El de Shanghai (China) alcanza velocidades cuyas magnitudes son de 400 km/h.

trenes que utilizan la propulsión y levitación magnética, esta última se produce por repulsión, la cual mantiene a los carros arriba de los rieles, pero sin tocarlos (figura 13.15). La ventaja de este sistema magnético consiste en reducir considerablemente la fricción, el desgaste de las piezas metálicas y la contaminación por ruido.

6 Reluctancia

La reluctancia es la resistencia magnética que, en un circuito magnético atravesado por un flujo magnético de inducción (o densidad de flujo magnético), es igual al cociente obtenido al dividir la magnitud de la fuerza magnetomotriz entre la densidad de flujo magnético. La fuerza magnetomotriz es una fuerza análoga a la fuerza electromotriz (ver pág. 429), pero engendrada en circuitos magnéticos. Por tanto, podemos decir que el flujo en el circuito magnético es análogo a la intensidad de corriente en un circuito eléctrico; de igual manera, la fuerza magnetomotriz (fmm) lo es a la fuerza electromotriz (fem) y la reluctancia lo es a la resistencia eléctrica.

7 Materiales ferromagnéticos, paramagnéticos y diamagnéticos

Al colocar un objeto dentro de un campo magnético pueden presentarse las siguientes situaciones:

1. Que las líneas del flujo magnético fluyan con mucha mayor facilidad a través del objeto que por el vacío. En este caso el material será ferromagnético y debido a ello se magnetizará con gran intensidad. Su permeabilidad magnética será muy elevada y quedará comprendida desde algunos cientos a miles de veces la permeabilidad del vacío. Ejemplos: el hierro, cobalto, níquel, gadolinio (Gd) y disprosio (Dy), así como algunas de sus aleaciones.
2. Que las líneas del flujo magnético pasen relativamente con cierta facilidad por el objeto que a través del vacío. En este caso, se trata de un material paramagnético, el cual se magnetiza aunque no en forma muy intensa. Su permeabilidad magnética es ligeramente mayor que la del vacío. Ejemplos: aluminio, litio, platino, iridio y cloruro férrico.

3. Que las líneas del flujo magnético circulen más fácilmente en el vacío que por el objeto. En este caso el material será diamagnético, pues no se magnetiza y puede ser repelido débilmente por un campo magnético intenso. Su permeabilidad magnética relativa es menor a la unidad. Ejemplos: el cobre, plata, oro, mercurio y bismuto (figura 13.16).



figura 13.16
El oro es un ejemplo de material diamagnético.

Actividad experimental 22

Imanes y campo magnético

Objetivo

Identificar en forma experimental las características de los imanes, observar la interacción en polos iguales y diferentes, y conocer los espectros magnéticos de los imanes que se representan mediante líneas de fuerza.

Consideraciones teóricas

Hace dos mil años aproximadamente, unos pastores de Magnesia (ciudad antigua de Turquía) descubrieron una roca negra que atraía al hierro. Esta roca recibe el nombre de *piedra imán* o *magnetita*. En la actualidad se define al magnetismo como la propiedad que tienen los cuerpos llamados imanes de atraer al hierro, al níquel y al cobalto. La importancia de los imanes y del magnetismo es muy grande, pues se utilizan en muchos aparatos, como: timbres, alarmas, teléfonos, conmutadores, motores eléctricos, brújulas (figura 13.17) y separadores de cuerpos metálicos de hierro.



figura 13.17
Brújula utilizada en la navegación marítima.

Se supone que en el año 121 a.C. los chinos ya usaban el imán como brújula. William Gilbert (1540-1603), investigador inglés, demostró lo siguiente: la Tierra se comporta como un imán enorme, y **no existen los polos magnéticos separados**.

Hace más de un siglo, el inglés Faraday observó que un imán ejerce una fuerza sobre un trozo de hierro o sobre cualquier imán cercano a él, debido a la presencia de un campo de fuerzas cuyos efectos se hacen sentir a través de un espacio vacío. Faraday imaginó que de un imán salían hilos o líneas esparcidas llamadas líneas de fuerza magnética. Dichas líneas se encuentran más en los polos, pues ahí la intensidad es mayor. Las líneas de fuerza producidas por un imán, ya sea de barra o de herradura, se esparcen desde el polo norte y se curvan para entrar al polo sur. La zona que rodea a un imán y en la cual su influencia puede detectarse recibe el nombre de **campo magnético**.

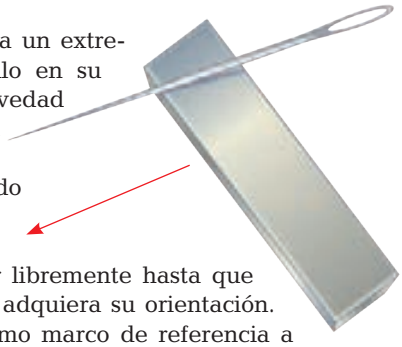
Material empleado

Una aguja de coser larga, alambre de hierro delgado de 12 cm de largo, hilo, unas pinzas de corte, dos imanes de barra, un imán de herradura, cinco hojas de papel de cuaderno y limadura de hierro.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Imante una aguja de coser larga, frotándola doce veces en un solo sentido con un imán, desde el centro de la aguja hasta la punta.

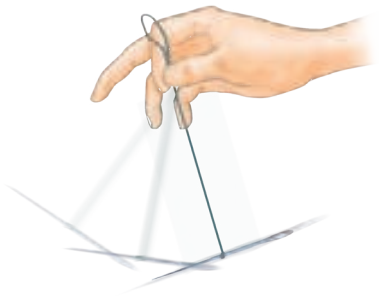
2. Ate a la aguja un extremo de un hilo en su centro de gravedad y suspéndala de un punto fijo sujetando el otro extremo del hilo. Déjela oscilar libremente hasta que se detenga y adquiera su orientación. Considere como marco de referencia a las coordenadas geográficas y determine los polos norte y sur de la aguja imantada.



3. Imante ahora un alambre delgado de unos 12 cm de largo como lo hizo con la aguja. Suspéndalo también de un hilo por su centro de gravedad y determine el polo norte y el polo sur del imán. Márquelos para no confundirlos.

4. Una el polo norte de la aguja con el polo norte del alambre y observe. Una ahora el polo norte de la aguja con el polo sur del alambre y observe.

5. Corte con las pinzas el alambre por la mitad y acerque cada extremo de los alambres al polo norte de la aguja imantada. Observe qué sucede.



6. Coloque encima de un imán de barra una hoja de papel y espolvoree limadura de hierro sobre la superficie del papel. Observe el espectro magnético que se forma. Si desea, puede aplicar laca con un atomizador para fijar al papel la limadura de hierro y conservar el espectro magnético obtenido.

7. Repita el paso anterior, pero ahora observe el espectro magnético formado al acercar el norte de un imán de barra con el polo norte de otro imán de barra. Después polo sur con polo sur y, finalmente, polo norte con polo sur.

8. Proceda igual que en el paso 6 y encuentre el espectro magnético formado por un imán en forma de herradura.

Cuestionario

1. Explique cómo imantaría un desarmador para atraer un tornillo de hierro.
2. ¿A qué se le llama polo norte y polo sur de un imán?
3. ¿Qué sucedió al unir el polo norte de la aguja con el polo norte del alambre, y al unir el polo norte de la aguja con el polo sur del alambre?
4. Explique qué le sucedió al alambre imantado cuando se partió a la mitad y diga qué le sucedería si se cortara en 10 partes o más.
5. Dibuje en su cuaderno los espectros magnéticos formados por: un imán de barra, un polo norte cerca de otro polo norte de dos imanes de barra, el polo sur próximo al polo sur y el polo norte cerca del polo sur.
6. Dibuje el espectro magnético formado por el imán de herradura.
7. Defina con sus propias palabras qué es un imán y qué es magnetismo.
8. Investigue qué es un imán natural y qué es un imán artificial. Diga también cuándo se tiene un imán temporal y cuándo un imán permanente.
9. Defina qué se entiende por campo magnético y por líneas de fuerza magnética.

Resumen

1. Hace dos mil años, aproximadamente, unos pastores de Magnesia (ciudad antigua de Turquía) descubrieron una roca negra que atraía al hierro. Esta roca recibe el nombre de *piedra imán* o *magnetita*. Químicamente es un mineral de óxido de hierro: Fe_3O_4. Los chinos en el año 121 a.C. ya usaban el imán como brújula.

2. *Magnetismo* es la propiedad que tienen los cuerpos llamados imanes de atraer al hierro, níquel y cobalto. Esta propiedad es de gran importancia, pues se utiliza en muchos aparatos, tales como: timbres, alarmas, teléfonos, conmutadores, motores eléctricos, brújulas y separadores de cuerpos metálicos.

3. Gilbert demostró que la Tierra se comporta como un imán enorme, por ello al extremo de una brújula que apunta al Norte geográfico se le denomina polo norte y el extremo que apunta al Sur geográfico se le llama polo sur. También demostró que no existen los polos magnéticos aislados, porque si un imán se rompe en varios pedazos, cada pedazo se transforma en un imán.

4. Existen dos tipos de imanes: los *permanentes* y los *temporales*. En la industria, una barra de metal se imanta al someterla a la acción de un campo magnético producido por un solenoide (o bobina), en el que circula una corriente eléctrica. Si la barra es de hierro dulce, se imanta, pero cesa al momento de interrumpir la corriente, por esta razón recibe el nombre de imán temporal. Cuando la barra es de acero templado adquiere una imantación, la cual persiste incluso después de que la corriente eléctrica se interrumpe, por lo que se llama imán pemanente.

5. Faraday imaginó que de un imán salen hilos o líneas, las cuales se esparcen, y las nombró *líneas de fuerza magnética*. Dichas líneas producidas por un imán, ya sea de barra o herradura, se esparcen desde el polo norte y se curvan para entrar al polo sur. La zona que rodea a un imán y en la cual su influencia puede detectarse recibe el nombre de *campo magnético*.

6. Una sola línea de fuerza equivale a la unidad del flujo magnético (ϕ) en el Sistema CGS y recibe el nombre de maxwell. Sin embargo, es una unidad muy pequeña de flujo magnético, por lo que en el SI se emplea una unidad mucho mayor llamada weber y cuya equivalencia es la siguiente: 1 weber = 1×10^8 maxwell.

7. La *densidad del flujo magnético o inducción magnética* (B) en una región de un campo magnético equivale al número de líneas de fuerza (o sea él flujo magnético ϕ), que atraviesan perpendicularmente a la unidad de área. Por tanto: $B = \frac{\phi}{A}$ y $\phi = BA$. La unidad de B en el SI es el tesla (T). La densidad del flujo es un vector representativo de la intensidad, dirección y sentido del campo magnético en un punto.

8. La *permeabilidad magnética* (μ) es el fenómeno que se presenta en algunos materiales, como el hierro dulce, en los cuales las líneas de fuerza de un campo magnético fluyen con más libertad en el material de hierro que por el aire o el vacío. La permeabilidad magnética del vacío (μ_0) tiene un valor en el SI de: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am, o bien, $4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A. Para fines prácticos, la permeabilidad del aire se considera igual a la permeabilidad del vacío. La permeabilidad relativa de una sustancia se calcula con la expresión: $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$.

9. La *intensidad del campo magnético* (H), para un medio dado, es el cociente que resulta de la densidad de flujo magnético (B) entre la permeabilidad magnética del medio: $H = \frac{B}{\mu}$.

10. La Tierra actúa como un enorme imán cuyos polos no coinciden con los polos geográficos. El ángulo de desviación entre el norte geográfico y el norte que señala la brújula recibe el nombre de ángulo de declinación. La inclinación magnética es el ángulo que forma una aguja magnética con el plano horizontal.

11. Una de las teorías más aceptadas para explicar el magnetismo es la de Guillermo Weber en la que establece lo siguiente: los metales magnéticos como el hierro, cobalto y níquel, están formados por innumerables imanes elementales muy pequeños orientados al azar, pero bajo la influencia de un campo magnético se orientan en forma paralela al campo que los magnetiza.

12. En la actualidad se investigan nuevos y potentes imanes que se utilizan en el funcionamiento de carros de ferrocarril y de transporte colectivo, los cuales emplean la propulsión y levitación magnéticas.

13. La *reluctancia* es la resistencia magnética que, en un circuito atravesado por un flujo magnético de

inducción, es igual al cociente que resulta de dividir la fuerza magnetomotriz entre la densidad de flujo magnético. La fuerza magnetomotriz es una fuerza análoga a la fuerza electromotriz, pero engendrada en circuitos magnéticos.

14. Cuando se encuentran dentro de un campo magnético, los materiales pueden clasificarse en función de su comportamiento de la siguiente manera: **a)** *Ferromagnéticos*, las líneas del flujo magnético pasan con mucha mayor facilidad por el cuerpo que en el vacío, tal es el caso del hierro, cobalto, níquel, gadolinio y disprosio. **b)** *Paramagnéticos*, las líneas de flujo magnético atraviesan con cierta relativa facilidad por el cuerpo, que a través del vacío; ejemplos: aluminio, litio, platino, iridio y cloruro férrico. **c)** *Diamagnéticos*, las líneas del flujo magnético tienen mayor circulación en el vacío que por el cuerpo, como sucede con el cobre, la plata, el oro, el mercurio y el bismuto.

Autoevaluación

Escriba en su cuaderno las respuestas a las siguientes preguntas. Si se le presentan dudas al responder vuelva a leer la sección correspondiente del libro, la cual viene señalada al final de cada pregunta para su fácil localización.

1. Explique brevemente cómo se descubrió el magnetismo. *(Introducción de la unidad 13)*
2. Describa cómo se orientaban antiguamente los marineros durante sus viajes. *(Introducción de la unidad 13)*
3. Explique qué se entiende por magnetismo. *(Introducción de la unidad 13)*
4. ¿Por qué es importante el estudio del magnetismo? *(Introducción de la unidad 13)*
5. Mencione en qué se basó Gilbert para designar a los extremos de un imán como polo norte y polo sur. *(Sección 1)*
6. Explique qué sucede cuando un imán de barra se parte exactamente a la mitad y después cada mitad en varias partes. *(Sección 1)*
7. Describa cómo interactúan los imanes cuando se acercan entre sí polos iguales y polos distintos. *(Sección 1)*
8. Explique qué es un imán: **a)** natural, **b)** artificial, **c)** temporal, **d)** permanente. *(Sección 1)*
9. Diga en qué consisten las líneas de fuerza, propuestas por Faraday, para describir un campo magnético. *(Sección 2)*
10. Dibuje la configuración del espectro magnético producido cuando: **a)** se acercan dos imanes de barra por sus polos iguales y distintos; **b)** se tiene un solo imán en forma de barra; **c)** se trata de un imán en forma de herradura. *(Sección 2)*
11. Explique los siguientes conceptos y sus unidades de medida en el SI:

    a) Flujo magnético.

    b) Densidad de flujo magnético. *(Sección 3)*
12. Defina qué se entiende por permeabilidad magnética del vacío y permeabilidad magnética relativa. *(Sección 3)*
13. Explique el concepto de intensidad del campo magnético y dé su expresión matemática. *(Sección 3)*
14. Describa cómo demostró Gilbert que la Tierra se comporta como un enorme imán. *(Sección 4)*
15. Mencione una teoría que explique el origen del magnetismo terrestre. *(Sección 4)*
16. Defina qué se entiende por: **a)** declinación magnética; **b)** inclinación magnética. *(Sección 4)*
17. Mencione en qué consiste la teoría de Weber. *(Sección 5)*
18. Explique por qué un imán permanente puede perder su magnetismo. *(Sección 5)*
19. ¿Qué estudios se realizan a fin de producir nuevos imanes que tengan mayor potencia y para qué se les utiliza? *(Sección 5)*
20. Defina qué se entiende por reluctancia. *(Sección 6)*

21 Explique por qué se clasifican los cuerpos en ferromagnéticos, paramagnéticos y diamagnéticos. Dé ejemplos de materiales que pertenezcan a cada clasificación. *(Sección 7)*

Coevaluación

Instrucciones: Consolide su aprendizaje, para ello lea y conteste en una hoja las siguientes preguntas. Luego, intercambie con un(a) compañero(a) sus respuestas. Coméntenlas, pónganse de acuerdo y den respuestas comunes. Discútanlas con las demás parejas y enriquezcan sus conocimientos con las aportaciones de todos.

1. ¿Cómo demostraría por medio de un alambre de hierro, unas tijeras para cortar alambre y un imán, que no existen polos magnéticos separados?
2. ¿Por qué podemos decir que hay semejanza entre la acción que se produce entre cargas eléctricas y la acción que se produce entre polos magnéticos?
3. ¿Cuál es la diferencia fundamental entre polos magnéticos y cargas eléctricas?
4. Roberto se divierte observando cómo se atraen y rechazan entre sí los polos magnéticos de dos imanes de barra. Accidentalmente se le cae un imán y choca contra el piso de concreto, después observa que ya no se atraen ni rechazan con la misma intensidad. ¿Qué le sucedió al imán al caer?
5. El llamado polo norte de un imán siempre es atraído por el polo norte de la Tierra. ¿Cómo explica esto si sabemos que polos del mismo nombre se rechazan?

Glosario

Campo magnético

Zona que rodea a un imán y en el cual su influencia puede detectarse.

Declinación magnética

Ángulo de desviación formado entre el norte geográfico real y el norte que señala la brújula.

Densidad del flujo magnético

Representa el número de líneas de fuerza o flujo magnético, que atraviesa perpendicularmente a la unidad de área.

Inclinación magnética

Ángulo que forma la aguja magnética con el plano horizontal.

Línea de fuerza magnética

Concepto propuesto por Faraday, es imaginario, pero sirve para dibujar campos magnéticos y cuantificar sus efectos.

Magnetismo

Propiedad que tienen los cuerpos llamados imanes de atraer al hierro, al níquel y al cobalto.

Magnetita

Piedra imán que atrae al hierro; es un mineral de óxido de hierro, cuya fórmula es Fe_3O_4.

Material diamagnético

Es aquel que no se magnetiza y puede ser repelido débilmente por un campo magnético intenso.

Material ferromagnético

Es aquél en que las líneas del flujo magnético fluyen con mucha mayor facilidad a través del cuerpo que por el vacío.

Maxwell

Representa una sola línea de fuerza y equivale a la unidad de flujo magnético en el sistema CGS.

Permeabilidad magnética

Propiedad que presentan algunos materiales, como el hierro dulce, en los cuales las líneas de fuerza de un campo magnético pasan con mayor facilidad a través del material de hierro que por el aire o el vacío.

Weber

Unidad de flujo magnético en el Sistema Internacional que equivale a 1×10^8 maxwells.

UNIDAD 14

CONTENIDO

- Desarrollo histórico del electromagnetismo
- Campo magnético producido por una corriente
- Fuerzas sobre cargas eléctricas en movimiento dentro de campos magnéticos
- Inducción electromagnética…
- Inductancia
- Corriente alterna
- Circuitos de corriente alterna
- Transformadores
- Bobina de inducción o carrete de Ruhmkorff
- Generador eléctrico
- Motor eléctrico
- Síntesis de Maxwell del electromagnetismo
- Actividad experimental 23: *Electromagnetismo*
- Resumen
- Autoevaluación
- Coevaluación
- Glosario

La parte de la Física encargada de estudiar al conjunto de fenómenos que resultan de las acciones mutuas entre las corrientes eléctricas y el magnetismo, recibe el nombre de electromagnetismo. Oersted fue el primero en descubrir que una corriente eléctrica produce a su alrededor un campo magnético de propiedades similares a las del campo creado por un imán. Por tanto, si un conductor eléctrico es sometido a la acción de un campo magnético, actuará sobre él una fuerza perpendicular al campo y a la corriente. Faraday descubrió las corrientes eléctricas inducidas al realizar experimentos con una bobina y un imán. Además, demostró que se producen cuando se mueve un conductor en sentido transversal (perpendicular) a las líneas de flujo de un campo magnético, este fenómeno recibe el nombre de inducción electromagnética. Actualmente, casi toda la energía eléctrica consumida en nuestros hogares y en la industria se obtiene gracias al fenómeno de la inducción electromagnética, pues en él se fundan las dinamos y los alternadores que transforman la energía mecánica en eléctrica. El efecto magnético de la corriente eléctrica y la inducción electromagnética han revolucionado la ciencia y han dado origen al electromagnetismo. La aplicación de sus principios y leyes ha permitido la electrificación del mundo y con ella, el progreso y un mejor nivel de vida para la humanidad.

La primera planta generadora de energía eléctrica se construyó en Estados Unidos en la ciudad de Nueva York, en 1882, bajo la dirección de Tomás Alva Edison. Las antiguas sólo se usaban localmente, pues producían corriente continua o directa, cuya transmisión a grandes distancias no era rentable, ya que gran parte de energía se perdía en forma de calor en los conductores.

En la actualidad, las plantas eléctricas productoras de corriente alterna prácticamente satisfacen las necesidades de energía en todo el mundo. Existen, entre otros, tres principales tipos: hidroeléctricas, termoeléctricas y nucleoeléctricas. Éstas funcionan con base en grandes generadores de voltaje alterno, también denominados, por lo mismo, alternadores que producen energía eléctrica, misma que se distribuye entre los consumidores por medio de redes de transmisión.

Los generadores o alternadores, generalmente, son accionados por turbinas. Éstas giran por la energía que les proporciona el agua en movimiento, como es el caso de una presa, o por energía del vapor a presión.



Electromagnetismo

1 Desarrollo histórico del electromagnetismo

El electromagnetismo tuvo su origen en el invento de la pila eléctrica realizado por el italiano **Alessandro Volta** en 1800. Veinte años más tarde se hizo por casualidad otro importante descubrimiento: mientras el físico danés **Hans Christian Oersted** impartía una clase de Física a sus alumnos, empujó en forma accidental una brújula que se encontraba bajo un alambre conectado a una pila, el cual conducía una corriente eléctrica continua o directa; observó con asombro cómo la aguja realizaba un giro de 90° para colocarse perpendicularmente al alambre (figura 14.1b).

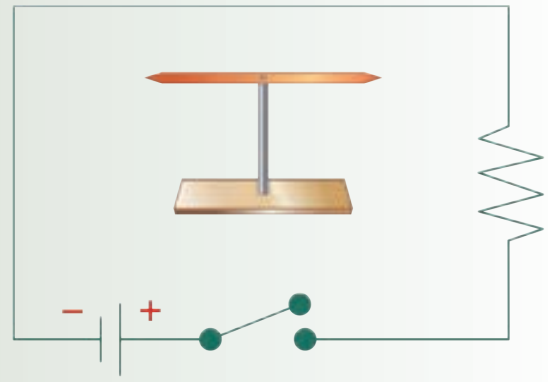


figura 14.1a

Antes de cerrar el circuito eléctrico por medio del interruptor, la brújula se encuentra paralela al alambre conductor.

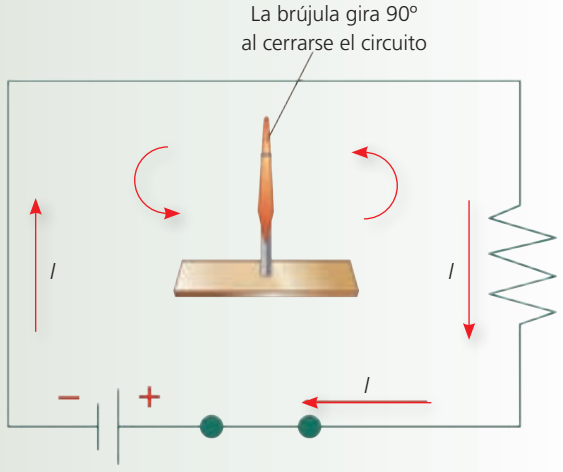


figura 14.1b

Oersted encontró que cuando se cierra el circuito, la circulación de una corriente a través del alambre forma inmediatamente un campo magnético alrededor de él, el cual se detecta por el giro de la brújula.

Con ello se demostraba que éste, además de conducir electricidad, generaba a su alrededor una fuerza parecida a la de un imán, es decir, generaba un campo magnético; así se descubrió el electromagnetismo. Poco tiempo después, el científico francés **André Marie Ampere** (1775-1836), descubrió que el campo magnético podía intensificarse al enrollar el alambre conductor en forma de bobina. Este hecho condujo a **Joseph Henry**, profesor estadounidense, a realizar otro descubrimiento importante: se le ocurrió recubrir con un material aislante a un alambre y lo enrolló alrededor de una barra de hierro en forma de U. Luego, conectó los extremos del alambre a una batería y observó que la corriente eléctrica magnetizaba al hierro y cuando la corriente dejaba de circular entonces desaparecía el campo magnético de la barra de hierro. Se había descubierto el electroimán (figura 14.2), pieza fundamental de los motores eléctricos.

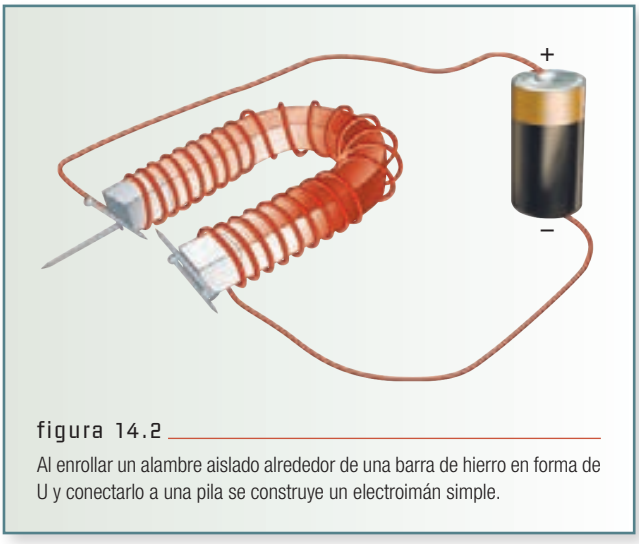


figura 14.2

Al enrollar un alambre aislado alrededor de una barra de hierro en forma de U y conectarlo a una pila se construye un electroimán simple.

En 1821 **Michael Faraday** construyó el primer motor experimental. Para ello, suspendió un alambre sujeto por un soporte, de tal manera que cada extremo quedase sumergido en un depósito de mercurio con un imán en el centro (figura 14.3). Cuando se hace pasar corriente, cada extremo del alambre se mueve en círculos alrededor del imán.

Después del motor de Faraday se construyeron varios tipos de motores eléctricos que funcionaban con baterías y eran utilizados para taladros, tornos o prensas de impresión. Sin embargo, eran muy costosos y requerían de baterías muy grandes. Fue hasta 40 años después, aproximadamente, cuando el ingeniero belga **Théophile Gramme** (1826-1901), construyó el primer generador eléctrico o dínamo capaz de transformar la energía eléctrica.

Grupo Editorial Patria

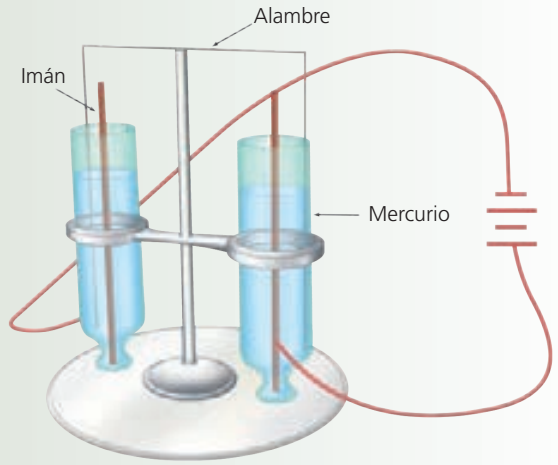


figura 14.3

Motor experimental de Faraday. Al circular la corriente por el alambre, éste gira alrededor del imán.

Dado que los primeros motores utilizaban baterías productoras de corriente continua, todos los generadores de esas fechas producían ese tipo de corriente. No obstante, el tiempo habría de demostrar que era más rentable generar corriente de alto voltaje y después transformarla en otras de menor tensión. En virtud de que los transformadores sólo utilizan corriente alterna, en poco tiempo desapareció el generador de corriente continua para darle paso, a escala industrial, al de corriente alterna.

En 1888 **Nikola Tesla** inventó el motor de inducción, el cual funciona con corriente alterna y cuyos usos actualmente son muy amplios en diversos aparatos eléctricos, como son: lavadoras, licuadoras, ventiladores, refrigeradores, tornos, bombas, sierras, taladros y radiograbadoras, entre otros (figura 14.4).

El físico ruso Heinrich Lenz (1804-1865), se especializó en la inducción eléctrica y estableció una ley que lleva su nombre, en la cual se afirma: una corriente inducida por fuerzas electromagnéticas siempre produce efectos que se oponen a las causas que lo producen.

En 1873 el científico inglés **James Clerk Maxwell** (1831-1879), manifestó la íntima conexión entre los campos eléctrico y magnético, al señalar: un campo eléctrico variable origina un campo magnético. Con su teoría comprobó que la electricidad y el magnetismo existen juntos y, por tanto, no deben aislarse. Esto dio origen a la teoría electromagnética, en ella se afirma que la luz se propaga en ondas a través del espacio y así como existían ondas luminosas era posible suponer la existencia de otras ondas electromagnéticas viajando por el espacio. Maxwell le dio una expresión matemática a las consideraciones que hizo Faraday respecto a las líneas de fuerza magnética. Gracias a esto se logró una aplicación práctica a las ideas de los campos magnético y eléctrico propuestas por Faraday. Más tarde, el físico alemán **Heinrich Hertz** (1857-1894) estudió las ecuaciones planteadas por Maxwell para la Teoría Electromagnética y logró demostrar con la producción de ondas electromagnéticas que éstas se desplazan por el espacio sin necesidad de cables conductores y que su naturaleza es semejante a las ondas luminosas. A finales del siglo XIX los científicos reconocieron la existencia de las ondas electromagnéticas y las llamaron ondas hertzianas como un reconocimiento a este físico alemán.

Así concluimos que el efecto magnético de la corriente y la inducción electromagnética han revolucionado a la ciencia, pues dieron origen a un área muy importante de la Física llamada electromagnetismo. Al aplicar sus principios y leyes a escala industrial, se ha logrado un gran avance tecnológico: la electrificación del mundo.



figura 14.4

Éstos son algunos ejemplos de aparatos eléctricos que funcionan con corriente alterna.

2 Campo magnético producido por una corriente

Como ya señalamos, Oersted descubrió que una corriente eléctrica crea a su alrededor un campo magnético al observar que una aguja imantada (figura 14.5), colocada cerca de un conductor rectilíneo, se desvía de su posición de equilibrio norte-sur cuando por el conductor circula una corriente. Ello se debe a que la corriente eléctrica genera un campo magnético que interactúa con la aguja. Oersted encontró que la desviación de la aguja variaba de sentido cuando se invertía el

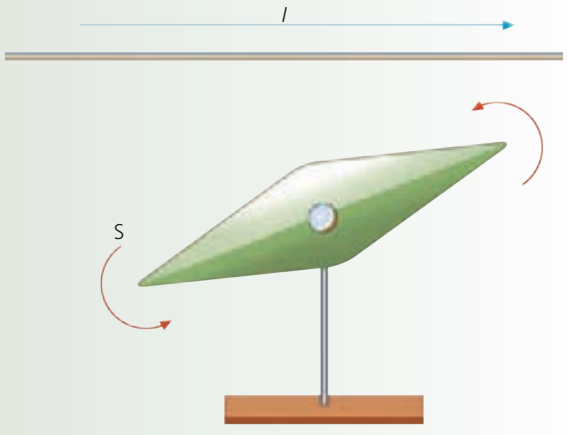


figura 14.5

La regla de Ampere señala que el polo norte de la aguja imantada se desvía siempre hacia la izquierda de la dirección de la corriente.

sentido de la corriente, y más tarde se pudo determinar, debido a la contribución de Ampere, que el polo norte de la aguja imantada se desvía siempre hacia la izquierda de la dirección que lleva la corriente.

El campo magnético producido puede analizarse para su estudio como si se tratara del campo creado por un imán, de tal manera que sea posible obtener su espectro y observar sus efectos.

Campo magnético producido por un conductor recto

Para estudiar cómo es el campo magnético producido por un conductor recto en el cual circula una corriente eléctrica se procede de la siguiente manera: se atraviesa el conductor rectilíneo con un cartón horizontal rígido (figura 14.6). En el momento en que circula la corriente por el conductor, se espolvorea al cartón con limaduras de hierro y se observa que éstas forman circunferencias concéntricas con el alambre. La regla de Ampere nos señala el sentido de las líneas de fuerza, pero también podemos aplicar la regla de la mano izquierda: como la dirección del campo magnético depende del sentido de la corriente, se toma al conductor recto con la mano izquierda con el pulgar extendido sobre el conductor, éste debe señalar el sentido en el que circula la corriente eléctrica (de negativo a positivo) y los cuatro dedos restantes indicarán el sentido del campo magnético (figura 14.6).

Para determinar la inducción magnética o densidad de flujo magnético (B) a una cierta distancia d de un conductor recto por el que circula una intensidad de corriente I, se aplica la siguiente expresión matemática:

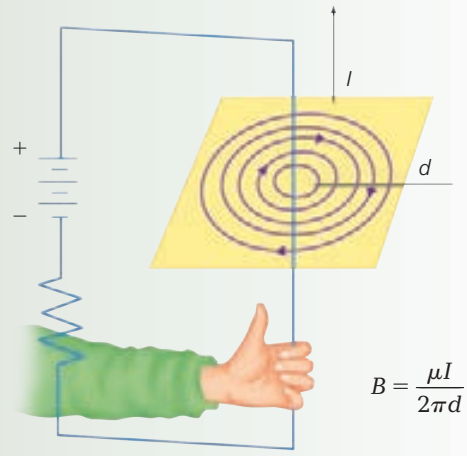


figura 14.6

Campo magnético formado por un conductor recto en el que circula una corriente continua o directa. El dedo pulgar de la mano izquierda señala el sentido de la corriente (de negativo a positivo) y los otros dedos, el sentido del campo magnético.

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d}$$

donde:

B = inducción magnética o densidad de flujo magnético en un punto determinado perpendicular al conductor, se mide en teslas (T)

μ = permeabilidad del medio que rodea al conductor, se expresa en Tm/A

I = intensidad de la corriente que circula por el conductor, su unidad en el SI es el ampere (A)

d = distancia perpendicular entre el conductor y el punto considerado, se mide en metros (m)

Nota: Cuando el medio que rodea al conductor es no magnético o aire, la permeabilidad se considera como si se tratara del vacío, por tanto: $\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A.

De acuerdo con la ecuación anterior se deduce que la densidad del flujo magnético es directamente proporcional a la intensidad de la corriente y que la distancia perpendicular del conductor es inversamente proporcional a la densidad del flujo.

Campo magnético producido por una espira

Una espira se obtiene al doblar en forma circular un conductor recto. El espectro del campo magnético creado por ésta, se origina por líneas cerradas que rodean a

la corriente y por una línea recta que es el eje central del círculo seguido por la corriente. Al aplicar la regla de la mano izquierda, en los diferentes puntos de la espira, obtendremos el sentido del campo magnético (figura 14.7). La dirección de la inducción magnética es siempre perpendicular al plano en el cual se encuentra la espira.

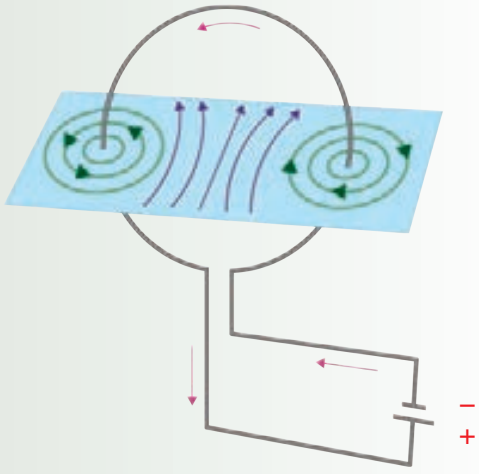


figura 14.7

Campo magnético producido por una espira en la que circula una corriente eléctrica.

Para calcular el valor de la inducción magnética o densidad de flujo (B) en el centro de una espira se usa la siguiente expresión matemática:

$$B = \frac{\mu I}{2\,r}$$

donde:

- B = inducción magnética en el centro de una espira, se mide en teslas (T)
- μ = permeabilidad del medio en el centro de la espira, se expresa en Tm/A
- I = intensidad de la corriente que circula por la espira, su unidad en el SI es el ampere (A)
- r = radio de la espira, se mide en metros (m)

Si en lugar de una espira se enrolla un alambre de tal manera que tenga un número N de vueltas, se obtendrá una bobina o solenoide y el valor de su inducción magnética en su centro será igual a:

$$B = \frac{N\mu I}{2\,r}$$

donde: N = número de espiras.

Campo magnético producido por un solenoide o bobina

Un solenoide (figura 14.8) se obtiene al enrollar un alambre en forma helicoidal (acción llamada devanar). Cuando una corriente circula a través del solenoide, las líneas de fuerza del campo magnético generado se asemejan al campo producido por un imán en forma de barra. En su interior las líneas de fuerza son paralelas y el campo magnético es uniforme. Para determinar cuál es el polo norte de un solenoide se aplica la regla de la mano izquierda: se coloca la mano izquierda en tal forma que los cuatro dedos señalen el sentido en el que circula la corriente eléctrica y el dedo pulgar extendido señalará el polo norte del solenoide.

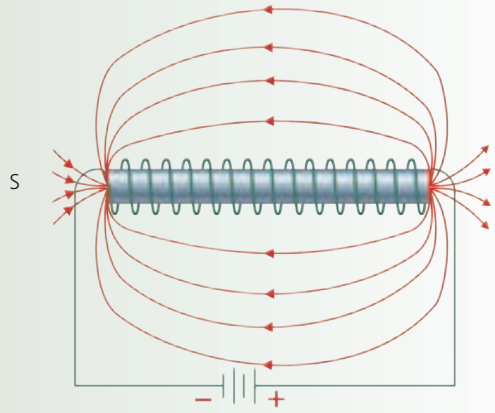


figura 14.8

Campo magnético producido por un solenoide en el cual circula una corriente eléctrica. Observe su similitud con el campo magnético formado por un imán de barra.

Para calcular la inducción magnética o densidad de flujo B en el interior de un solenoide, se utiliza la expresión matemática:

$$B = \frac{N\mu I}{L}$$

donde:

- B = inducción magnética en el interior de un solenoide, se mide en teslas (T)
- N = número de vueltas o espiras
- μ = permeabilidad del medio en el interior del solenoide, se expresa en Tm/A
- I = intensidad de la corriente calculada en amperes (A)
- L = longitud del solenoide medida en metros (m)

Resolución de problemas de campo magnético

1 Calcular la inducción magnética o densidad de flujo en el aire, en un punto a 10 cm de un conductor recto por el que circula una intensidad de corriente de 3 *A*.

Solución:

Datos

$B = ?$

$\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A

$d = 10$ cm $= 0.1$ m

$I = 3$ A

Fórmula

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d}$$

Sustitución y resultado

$$B = \frac{4 \times 3.14 \times 10^{-7}\ \text{Tm/A} \times 3\ \text{A}}{2 \times 3.14 \times 0.1\ \text{m}} = 60 \times 10^{-7}\ \text{T}$$

2 Determinar la inducción magnética en el centro de una espira cuyo radio es de 8 cm, si por ella circula una corriente de 6 A. La espira se encuentra en el aire.

Solución:

Datos

$B = ?$

$r = 8$ cm $= 8 \times 10^{-2}$ m

$I = 6$ A

$\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A

Fórmula

$$B = \frac{\mu I}{2r}$$

Sustitución y resultado

$$B = \frac{4 \times 3.14 \times 10^{-7}\ \text{Tm/A} \times 6\ \text{A}}{2 \times 8 \times 10^{-2}\ \text{m}} = 4.71 \times 10^{-5}\ \text{T}$$

3 Una espira de 9 cm de radio se encuentra sumergida en un medio cuya permeabilidad relativa es de 15. Calcular la inducción magnética en el centro de la espira si a través de ella circula una corriente de 12 *A*.

Solución:

Datos

$r = 9$ cm $= 9 \times 10^{-2}$ m

$\mu_r = 15$

$I = 12$ A

$B = ?$

$\mu = ?$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A

Fórmula

$$B = \frac{\mu I}{2r}$$

$\mu = \mu_r \mu_0$

Cálculo de la permeabilidad del medio

$\mu = 15 \times 4 \times 3.14 \times 10^{-7}$ Tm/A

$= 1.9 \times 10^{-5}$ Tm/A

Sustitución y resultado

$$B = \frac{1.9 \times 10^{-5}\ \text{Tm/A} \times 12\ \text{A}}{2 \times 9 \times 10^{-2}\ \text{m}} = 1.27 \times 10^{-3}\ \text{T}$$

4 Calcular el radio de una bobina que tiene 200 espiras de alambre en el aire por la cual circula una corriente de 5 *A* y se produce una inducción magnética en su centro de 8×10^{-3} *T*.

Solución:

Datos

$r = ?$

$N = 200$

$I = 5$ A

$B = 8 \times 10^{-3}$ *T*

$\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A

Fórmula

$$B = \frac{N\mu I}{2r} \quad \therefore \quad r = \frac{N\mu I}{2B}$$

Sustitución y resultado

$$r = \frac{200 \times 4 \times 3.14 \times 10^{-7}\ \text{Tm/A} \times 5\ \text{A}}{2 \times 8 \times 10^{-3}\ \text{T}}$$

$$= 7.8 \times 10^{-2}\ \text{m} = 7.8\ \text{cm}$$

5 Un solenoide tiene una longitud de 15 cm y está devanado con 300 vueltas de alambre sobre un núcleo de hierro cuya permeabilidad relativa es de 1.2×10^4. Calcular la inducción magnética en el centro del solenoide cuando por el alambre circula una corriente de 7 mA.

Solución:

Datos

$L = 15$ cm $= 15 \times 10^{-2}$ m

$N = 300$

$\mu_r = 1.2 \times 10^4$

$I = 7$ mA $= 7 \times 10^{-3}$ A

$B = ?$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A

$\mu = ?$

Fórmula

$$B = \frac{N\mu I}{L}$$

$\mu = \mu_r \mu_0$

Cálculo de la permeabilidad del hierro

$\mu = 1.2 \times 10^4 \times 4 \times 3.14 \times 10^{-7}$ Tm/A

$= 15.1 \times 10^{-3}$ Tm/A

Sustitución y resultado

$$B = \frac{300 \times 15.1 \times 10^{-3}\ \text{Tm/A} \times 7 \times 10^{-3}\ \text{A}}{15 \times 10^{-2}\ \text{m}}$$

$$= 2.1 \times 10^{-1}\ \text{T}$$

Ejercicios propuestos

1. Determinar la inducción magnética en el aire, en un punto a 6 cm de un conductor recto por el que circula una intensidad de corriente de 2 A.
2. Calcular a qué distancia de un conductor recto existe una inducción magnética de 9×10^{-6} T, si se encuentra en el aire y por él circula una corriente de 5 A.
3. ¿Cuál es la inducción magnética en el centro de una espira por la cual circula una corriente de 1 A, si está en el aire y su radio es de 11 cm?
4. Por una espira de 7 cm de radio que se encuentra sumergida en un medio con una permeabilidad relativa de 35, circula una corriente de 4 A. ¿Cuál es la inducción magnética en el centro de la espira?
5. Calcular la intensidad de la corriente que debe circular por una bobina de 500 espiras de alambre en el aire, cuyo radio es de 5 cm, para que produzca una inducción magnética en su centro de 7×10^{-3} T.
6. Calcular la longitud que debe tener un solenoide para que al ser devanado con 600 espiras de alambre sobre un núcleo de hierro, con una permeabilidad relativa de 1.25×10^{4}, produzca una inducción magnética de 0.5 T en su centro. Una corriente de 10 miliampers circula por el alambre.

3 Fuerzas sobre cargas eléctricas en movimiento dentro de campos magnéticos

Todo conductor por el cual circula una corriente eléctrica está rodeado de un campo magnético. En virtud de que una corriente eléctrica es un flujo de electrones, cada uno de ellos constituye una partícula cargada en movimiento generadora de un campo magnético a su alrededor. Por ello, cuando un electrón en movimiento con su propio campo magnético penetra en forma perpendicular dentro de otro campo producido por un imán o una corriente eléctrica, los dos campos magnéticos interactúan entre sí. En general, los campos magnéticos actúan sobre las partículas cargadas desviándolas de sus trayectorias a consecuencia del efecto de una fuerza magnética llamada fuerza de Ampere.

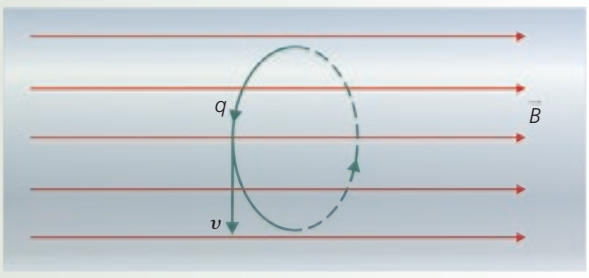


figura 14.9

Desviación de una partícula cargada q que describe una trayectoria circular como consecuencia de penetrar perpendicularmente a un campo magnético.

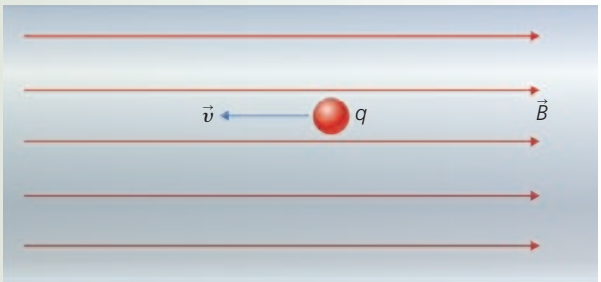


figura 14.10

Una partícula cargada q que se mueve paralelamente a las líneas del campo magnético no sufre ninguna desviación.

Cuando una partícula cargada se mueve perpendicularmente a un campo magnético, recibe una fuerza magnética cuya dirección es perpendicular a la dirección de su movimiento y a la dirección de la inducción magnética o densidad de flujo; por tanto, la partícula se desvía y sigue una trayectoria circular (figura 14.9). Cuando una carga se mueve paralelamente a las líneas magnéticas del campo, no sufre ninguna desviación (figura 14.10). Si la trayectoria de la partícula es en forma oblicua (con una cierta inclinación respecto a las líneas de fuerza de un campo magnético), la partícula cargada se desviará y describirá una trayectoria en forma de espiral (figura 14.11).

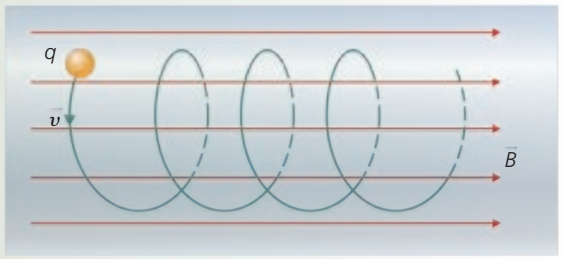


figura 14.11

Una partícula cargada q que penetra en forma oblicua a las líneas del campo magnético se desvía y sigue una trayectoria en espiral.

Una carga q cuyo movimiento es perpendicular a un campo magnético con una inducción magnética B a una cierta velocidad v, recibe una fuerza F cuya magnitud se calcula con la siguiente expresión:

$$F = qvB$$

Cuando la trayectoria del movimiento de la partícula forma un ángulo θ con la inducción magnética B (figura 14.11), la magnitud de la fuerza recibida por la partícula será proporcional a la componente de la velocidad perpendicular a B. Por tanto, la magnitud de la fuerza F se determina con la expresión:

$$F = qvB \operatorname{sen} \theta$$

donde

F = magnitud de la fuerza recibida por una partícula cargada en movimiento, su unidad en el SI es el newton (N)

v = magnitud de la velocidad que lleva la carga, se expresa en (m/s)

B = inducción magnética del campo, se mide en teslas (T)

θ = ángulo formado por la dirección de la velocidad que lleva la partícula y la inducción magnética

q = carga en movimiento, medida en coulombs

Para determinar la dirección de la fuerza magnética recibida por una carga que se mueve en forma perpendicular a las líneas de fuerza de un campo magnético, se emplea la regla de los tres dedos de la siguiente manera: los tres primeros dedos de la mano derecha se disponen extendidos perpendicularmente uno respecto del otro (figura 14.12), el dedo índice indicará la dirección del campo magnético, el medio representará la dirección de la velocidad con la cual se mueve una carga negativa, es decir, la corriente, y el

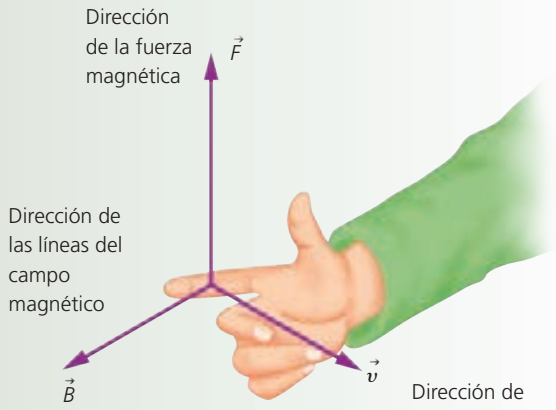


figura 14.12

Regla de los tres dedos, empleando la mano derecha para determinar la dirección de la fuerza magnética que recibe una carga negativa, la cual penetra perpendicularmente a un campo magnético.

pulgar señalará la dirección de la fuerza magnética que recibe la carga. Cuando la carga que se mueve perpendicularmente a un campo magnético es positiva, se emplea la mano izquierda de la misma manera.

Aplique la regla de los tres dedos de la mano derecha para comprobar que la dirección de la fuerza magnética recibida por una carga negativa, como se señala en la figura 14.13, es correcta.

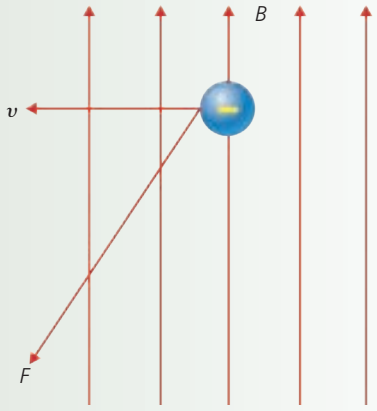


figura 14.13

Dirección de la fuerza magnética recibida por una carga negativa que se mueve perpendicularmente a un campo magnético.

Al despejar a la inducción magnética B de la expresión $F = qvB \operatorname{sen} \theta$, tendremos:

$$B = \frac{F}{qv \operatorname{sen} \theta}$$

y sus unidades serán:

$$B = \frac{N}{C\frac{m}{s}}$$

como $\frac{C}{s}$ = amper = A, entonces:

$$B = \frac{N}{Am} = \text{tesla} = T$$

Por definición: la inducción magnética o densidad de flujo en un punto de un campo magnético equivale a una tesla, cuando una carga de un coulomb al penetrar perpendicularmente al campo magnético con una velocidad cuya magnitud es igual a un metro por segundo, recibe, en dicho punto, una magnitud de fuerza magnética de un newton.

Fuerza sobre un conductor por el que circula una corriente

Como ya señalamos, un conductor por el que circula una corriente está rodeado de un campo magnético. Si el conductor se introduce en forma perpendicular a un campo magnético recibirá una fuerza lateral cuya magnitud se determina con la expresión matemática:

$$F = BIL$$

donde:

- F = magnitud de la fuerza magnética que recibe el conductor expresada en newtons (N)
- B = inducción magnética medida en teslas (T)
- I = intensidad de la corriente eléctrica que circula por el conductor medida en ampers (A)
- L = longitud del conductor sumergido en el campo magnético, se expresa en metros (m)

La demostración de la ecuación anterior la obtenemos a partir de la expresión usada para calcular la fuerza que recibe una carga en movimiento al penetrar perpendicularmente a un campo magnético, de la siguiente manera:

$$F = qvB \qquad (1)$$

Como v equivale a una longitud recorrida en un determinado tiempo, se tiene:

$$v = \frac{L}{t} \qquad (2)$$

Sustituyendo 2 en 1:

$$F = q\frac{L}{t}B \qquad (3)$$

Como q es la carga que circula por el conductor en un determinado tiempo t, la intensidad de la corriente es igual a:

$$\frac{q}{t} = I \qquad (4)$$

Sustituyendo 4 en 3 nos queda:

$$F = BIL$$

De la misma manera que sucede para una carga móvil, si el conductor por el cual circula una corriente forma un ángulo θ con el campo magnético, la fuerza recibida se determina con la expresión:

$$F = BIL \operatorname{sen} \theta$$

Fuerza magnética entre dos conductores paralelos por los que circula una corriente

En virtud de que una carga en movimiento genera a su alrededor un campo magnético, cuando dos cargas eléctricas se mueven en forma paralela interactúan sus respectivos campos y se produce una fuerza magnética entre ellas. La fuerza magnética es de atracción si las cargas que se mueven paralelamente son del mismo signo y se desplazan en igual sentido, o bien, cuando las cargas son de signo y movimiento contrarios. Evidentemente, la fuerza magnética será de repulsión si las cargas son de igual signo y con diferente sentido; o si son de signo contrario y su dirección es en el mismo sentido.

Cuando se tienen dos alambres rectos, largos y paralelos y por ellos circula una corriente eléctrica (figura 14.14), de-

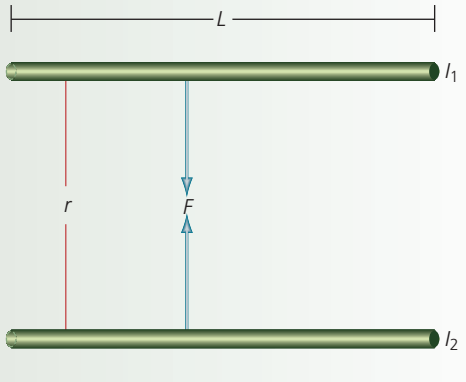


figura 14.14

Al circular una corriente en el mismo sentido a través de dos conductores paralelos, se produce entre ellos una fuerza magnética de atracción.

bido a la interacción de sus campos magnéticos se produce una fuerza entre ellos cuya magnitud puede calcularse con la siguiente expresión:

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi r}$$

donde:

F = magnitud de la fuerza magnética entre dos conductores rectos, largos y paralelos; se mide en newtons (N)

μ_0 = permeabilidad magnética del vacío igual a $4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A

I_1 = intensidad de la corriente en el primer conductor calculada en ampers (A)

I_2 = intensidad de la corriente en el segundo conductor expresada en ampers (A)

L = longitud considerada de los conductores medida en metros (m)

r = distancia entre los dos conductores, también con sus unidades en metros (m)

La fuerza entre los alambres conductores paralelos será de atracción si las corrientes van en el mismo sentido, pero si éste es opuesto, la fuerza será de repulsión. Recuérdese que para fines prácticos cuando los alambres se encuentran en el aire se considera como si estuvieran en el vacío (figura 14.15).

Como la relación $\frac{\mu_0}{2\pi}$ equivale a:

$$\frac{\mu_0}{2\pi} = \frac{4 \times 3.14 \times 10^{-7}\ \text{Tm/A}}{2 \times 3.14} = 2 \times 10^{-7}\ \text{Tm/A}$$

y como:

$$\frac{\text{Tm}}{\text{A}} = \frac{\frac{\text{N}}{\text{Am}}\text{m}}{\text{A}} = \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$$

tenemos que:

$$\frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \times 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$$



figura 14.15

La fuerza entre los cables es de atracción si las corrientes van en el mismo sentido, pero si es en sentido contrario entonces la fuerza es de repulsión.

o bien:

$$\frac{\mu_0}{2\pi} = 2\,\text{K}_\text{m}$$

donde: K_m = constante magnética cuyo valor es

$$1 \times 10^{-7} \frac{\text{N}}{A^2}$$

Por tanto, la expresión para calcular la magnitud de la fuerza magnética entre dos conductores paralelos por los que circula una corriente se reduce a:

$$F = \frac{2K_\text{m} L I_1 I_2}{r}$$

Resolución de problemas de fuerzas sobre cargas en movimiento dentro de campos magnéticos

1 Un protón de carga $1.6 \times 10^{-19}\ C$ penetra perpendicularmente en un campo magnético cuya inducción es de 0.3 T con una velocidad cuya magnitud es de 5×10^5 m/s. ¿Qué magnitud de fuerza recibe el protón?

Solución:

Datos

$q = 1.6 \times 10^{-19}\ C$

$B = 0.3$ T

$v = 5 \times 10^5$ m/s

$F = ?$

Fórmula

$F = qvB$

Sustitución y resultado

$$F = 1{,}6\times10^{-19}\ \text{C}\times5\times10^{5}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\times0.3\,\frac{\text{N}}{\text{C}\frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$= 2.4\times10^{-14}\ \text{N}$$

2 Una carga de 6 μC se mueve en forma perpendicular a un campo magnético con una velocidad cuya magnitud es de 4×10^4 m/s y recibe una fuerza cuya magnitud es de 3×10^{-3} N. ¿Cuál es el valor de la inducción magnética?

Solución:

Datos

$q = 6 \times 10^{-6}$ C

$v = 4 \times 10^4$ m/s

$F = 3 \times 10^{-3}$ N

$B = ?$

Fórmula

$F = qvB \ \therefore\ B = \dfrac{F}{qv}$

Sustitución y resultado

$$B = \frac{3\times10^{-3}\ \text{N}}{6\times10^{-6}\ \text{C}\times4\times10^{4}\ \text{m/s}}$$

$$= 1.25\times10^{-2}\,\frac{\text{N}}{\text{C}\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1.25\times10^{-2}\,\frac{\text{N}}{\text{Am}}$$

$$= 1.25\times10^{-2}\ \text{T}$$

3 Una carga de 7 μC se desplaza con una velocidad cuya magnitud es de 6×10^5 m/s y forma un ángulo de 60° respecto a un campo cuya inducción magnética es de 0.32 T. ¿Qué magnitud de fuerza recibe la carga?

Solución:

Datos

$q = 7 \times 10^{-6}$ C

$v = 6 \times 10^5$ m/s

$\theta = 60°$

$B = 0.32$ T

$F = ?$

Fórmula

$F = qvB \operatorname{sen}\theta$

Sustitución y resultado

$$F = 7\times10^{-6}\ C\times6\times10^{5}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\times0.32\,\frac{\text{N}}{\text{C}\frac{\text{m}}{\text{s}}}\times0.8660$$

$$= 11.6\times10^{-1}\ \text{N}$$

4 Por un alambre recto circula una corriente de 6 miliamperes. Si dicho alambre se introduce entre los polos de un imán de herradura y queda sumergido 5 cm en forma perpendicular al campo de 0.15 T de inducción magnética, calcular la magnitud de la fuerza que recibe.

Solución:

Datos

$I = 6 \times 10^{-3}\ A$

$L = 5\ \text{cm} = 5 \times 10^{-2}$ m

$B = 0.15$ T

$F = ?$

Fórmula

$F = BIL$

Sustitución y resultado

$$F = 0.15\,\frac{\text{N}}{\text{Am}}\times6\times10^{-3}\ \text{A}\times5\times10^{-2}\ \text{m}$$

$$= 4.5\times10^{-5}\ \text{N}$$

5 Calcular la corriente que circula por un alambre recto que recibe una fuerza cuya magnitud es de 2×10^{-4} N al ser introducido perpendicularmente a un campo magnético de 0.5 T, si se sumergen 9 cm del alambre.

Solución:

Datos

$I = ?$

$F = 2 \times 10^{-4}$ N

$B = 0.5$ T

$L = 9\ \text{cm} = 9 \times 10^{-2}$ m

Fórmula

$F = BIL \ \therefore\ I = \dfrac{F}{BL}$

Sustitución y resultado

$$I = \frac{2\times10^{-4}\ \text{N}}{0.5\,\frac{\text{N}}{\text{Am}}\times9\times10^{-2}\ \text{m}}$$

$$= 4\times10^{-3}\,\text{A} = 4\ \text{mA}$$

6 Un alambre recto por el cual circula una corriente de 1 A se introduce a un campo cuya inducción magnética es de 0.2 T y forma un ángulo de 70° con las líneas de flujo del mismo. Calcular la longitud del alambre que queda sumergido en el campo si la fuerza recibida tiene una magnitud de 8×10^{-3} N.

Solución:

Datos

$I = 1$ A

$\theta = 70°$

$B = 0.2$ T

$F = 8 \times 10^{-3}$ N

$L = ?$

Fórmula

$F = BIL\operatorname{sen}\theta \ \therefore\ L = \dfrac{F}{BI\operatorname{sen}\theta}$

Sustitución y resultado

$$L = \frac{8\times10^{-3}\ \text{N}}{0.2\,\frac{\text{N}}{\text{Am}}\times1\ \text{A}\times0.9397}$$

$$= 4.3\times10^{-2}\ \text{m} = 4.3\ \text{cm}$$

7 Por un conductor recto circula una corriente de 2 A y a través de otro, que está paralelo a una distancia de 5 cm, circula una corriente de 4 A. Calcular la magnitud de la fuerza recibida por cualquiera de los conductores si su longitud es de 0.6 m y se encuentran en el aire.

Al considerar que la corriente circula en diferente sentido por los conductores, ¿la fuerza es de atracción o repulsión?

Solución:

Datos

$I_1 = 2$ A

$I_2 = 4$ A

$r = 5$ cm $= 5 \times 10^{-2}$ m

$L = 0.6$ m

$K_m = 1 \times 10^{-7} \dfrac{\text{N}}{\text{A}^2}$

$F = ?$

Fórmula

$$F = \frac{2K_m L I_1 I_2}{r}$$

Sustitución y resultado

$$F = \frac{2 \times 10^{-7} \dfrac{\text{N}}{\text{A}^2} \times 0.6 \text{ m} \times 2 \text{ A} \times 4 \text{ A}}{5 \times 10^{-2} \text{ m}}$$

$$= 1.9 \times 10^{-5} \text{ N (de repulsión)}$$

Ejercicios propuestos

1 Una carga de 4 μC penetra perpendicularmente en un campo magnético de 0.4 T con una magnitud de velocidad de 7.5×10^4 m/s. Calcular la magnitud de la fuerza que recibe la carga.

2 Un electrón de carga -1.6×10^{-19} C se mueve con una velocidad cuya magnitud es de 8×10^5 m/s y forma un ángulo de 30° respecto a un campo de inducción magnética igual a 0.55 T. ¿Qué magnitud de fuerza recibe el electrón?

3 Calcular la magnitud de la velocidad que lleva una carga de 9 μC al penetrar un campo magnético de 0.1 T con un ángulo de 50° por lo que recibe una fuerza cuya magnitud es de 3×10^{-3} N.

4 ¿Qué magnitud de fuerza recibe un alambre recto por el cual circula una corriente de 5 mA al ser introducido perpendicularmente a un campo de 0.6 T, si quedan 8 cm de alambre dentro del campo?

5 12 cm de alambre recto se introducen, de manera perpendicular, en un campo de 0.25 T de inducción magnética. Determinar la corriente que circula por ese alambre, si recibe una fuerza cuya magnitud es de 1.6×10^{-3} N.

6 ¿Cuál es la longitud sumergida en un campo magnético de 0.28 T de un alambre recto por el que circula una corriente de 3 A, si al formar un ángulo de 37° con las líneas de flujo recibe una fuerza cuya magnitud es de 6×10^{-3} N?

7 Dos conductores rectos se encuentran paralelos a una distancia de 3 cm. Por uno circula una corriente de 5 A y por el otro una de 6 A. Si la longitud considerada de los conductores es de 70 cm, calcular la magnitud de la fuerza que recibe cualquiera de los conductores al estar en el aire; señale si es de atracción o repulsión, pues el sentido de la corriente en ambos conductores es el mismo.

8 Se tienen dos conductores paralelos que miden 1.5 m; cuál será la distancia entre ambos para que se atraigan con una fuerza cuya magnitud es de 4×10^{-5} N, al transportar una corriente de 3 A cada uno.

4 Inducción electromagnética y ley del electromagnetismo

En 1831, **Michael Faraday** descubrió las corrientes eléctricas inducidas al realizar experimentos con una bobina y un imán. En la figura 14.16 observamos un imán y una bobina a la cual se conecta un galvanómetro que servirá para detectar la presencia de corrientes eléctricas de poca intensidad.

Al permanecer inmóviles el imán y la bobina de la figura 14.16, no se produce ninguna corriente inducida, pero al acercar el imán a la bobina se origina inmediatamente una corriente que se detecta con el galvanómetro. Igual ocurriría si el imán permanece fijo y se mueve la bobina; la finalidad es **producir una variación en el flujo magnético**

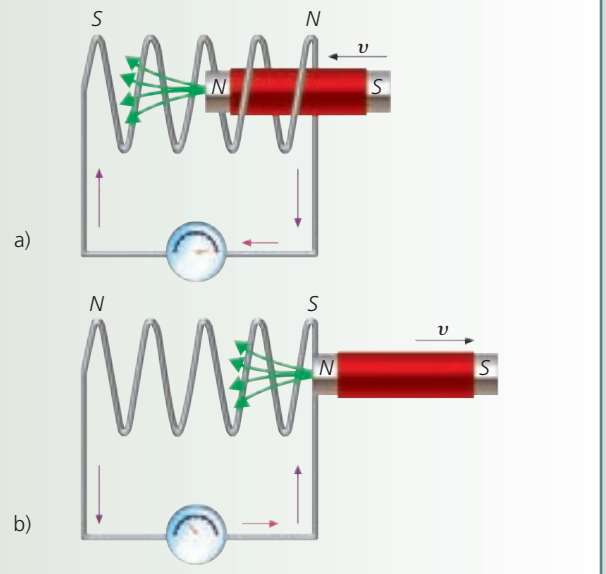


figura 14.16

Faraday demostró con sus experimentos que se podía inducir una corriente (i) en una bobina al acercar o alejar un imán. En a) cuando el polo norte del imán penetra en la bobina, la aguja del galvanómetro se desvía hacia la derecha del lector. En b) cuando el polo norte se aleja, la aguja se mueve hacia la izquierda, lo cual indica que la corriente (i) cambió de sentido.

que actúa sobre ésta. El sentido de la corriente está en función de si se acerca o se aleja el imán. La corriente inducida será más intensa al avanzar más rápido el imán, la bobina o ambos. Una forma práctica de obtener mayor intensidad de corriente inducida se logra al girar la bobina a través del campo magnético. El hecho de que se haya producido una corriente en el circuito formado por la bobina, señala la inducción de una fuerza electromotriz en el circuito al variar el flujo magnético debido al movimiento del imán.

De acuerdo con los experimentos realizados por Faraday podemos decir que:

1. Las corrientes inducidas son aquellas producidas cuando se mueve un conductor en sentido transversal a las líneas de flujo de un campo magnético.
2. La inducción electromagnética es el fenómeno que da origen a la producción de una fuerza electromotriz (*fem*) y de una corriente eléctrica inducida, como resultado de la variación del flujo magnético debido al movimiento relativo entre un conductor y un campo magnético.

En la actualidad casi toda la energía eléctrica que se consume en nuestros hogares y en la industria se obtiene gracias al fenómeno de la inducción electromagnética. Por todo el mundo existen generadores movidos por agua, vapor, petróleo o energía atómica, en los cuales enormes bobinas giran entre los polos de potentes imanes y generan grandes cantidades de energía eléctrica (figura 14.17). Los fenómenos de **inducción electromagnética** tienen una aplicación práctica invaluable, pues en ellos se fundan las dinamos y los alternadores que transforman la energía mecánica en eléctrica, así como los transformadores, los circuitos radioeléctricos y otros dispositivos de transmisión de energía eléctrica de un circuito a otro.

Ley de Lenz

El físico ruso **Heinrich Lenz** (1804-1865) enunció una ley sobre inducción magnética que lleva su nombre: siempre que se induce una *fem*, la corriente inducida tiene un sentido tal que tiende a oponerse a la causa que lo produce.

De acuerdo con la ley de Lenz, el sentido de la corriente inducida es contrario al de la corriente requerida para provocar el movimiento del campo magnético que la ha creado. Para comprender mejor esta ley observemos la figura 14.16a): cuando el polo norte del imán se acerca a la bobina, la corriente inducida representada por la letra *i* tiene el sentido señalado por las flechas; de manera que, de acuerdo con la regla de la mano izquierda, los polos norte de la bobina y del imán se encuentran juntos. Como polos del mismo nombre se rechazan, el polo norte de la bobina presenta una oposición al movimiento de aproximación del inductor, es decir, del imán. En b) si el imán se aleja, cambia el sentido de la corriente *i* en la bobina, por tanto, el extremo del polo norte ahora será el polo sur que atrae al polo norte del imán y se opone a su alejamiento. En estas condiciones podríamos expresar la ley de Lenz en los siguientes términos: la corriente inducida en la bobina es tal que el campo magnético producido por ella se opone al campo magnético del imán que la genera.

Es evidente que el sentido de la *fem* y el de la corriente inducida es el mismo, pues apoya el principio de la conservación de la energía. Veamos: la corriente inducida en el circuito genera un campo magnético que de acuerdo con la ley de Lenz se opone a la variación del flujo magnético, porque de no ser así el campo magnético de la corriente inducida aumentaría la variación del flujo magnético y produciría una corriente mayor. Ello implicaría un aumento desproporcional de la corriente con la simple producción de una insignificante variación inicial de las líneas del flujo magnético; de tal modo se obtendría energía eléctrica de manera ilimitada, lo cual es imposible ya que va en contra de la ley de la conservación de la energía.

Ley del electromagnetismo o ley de inducción de Faraday

Con base en sus experimentos, Faraday enunció la ley del electromagnetismo: la *fem* inducida en un circuito formado por un conductor o una bobina es directamente proporcional al número de líneas de fuerza magnética

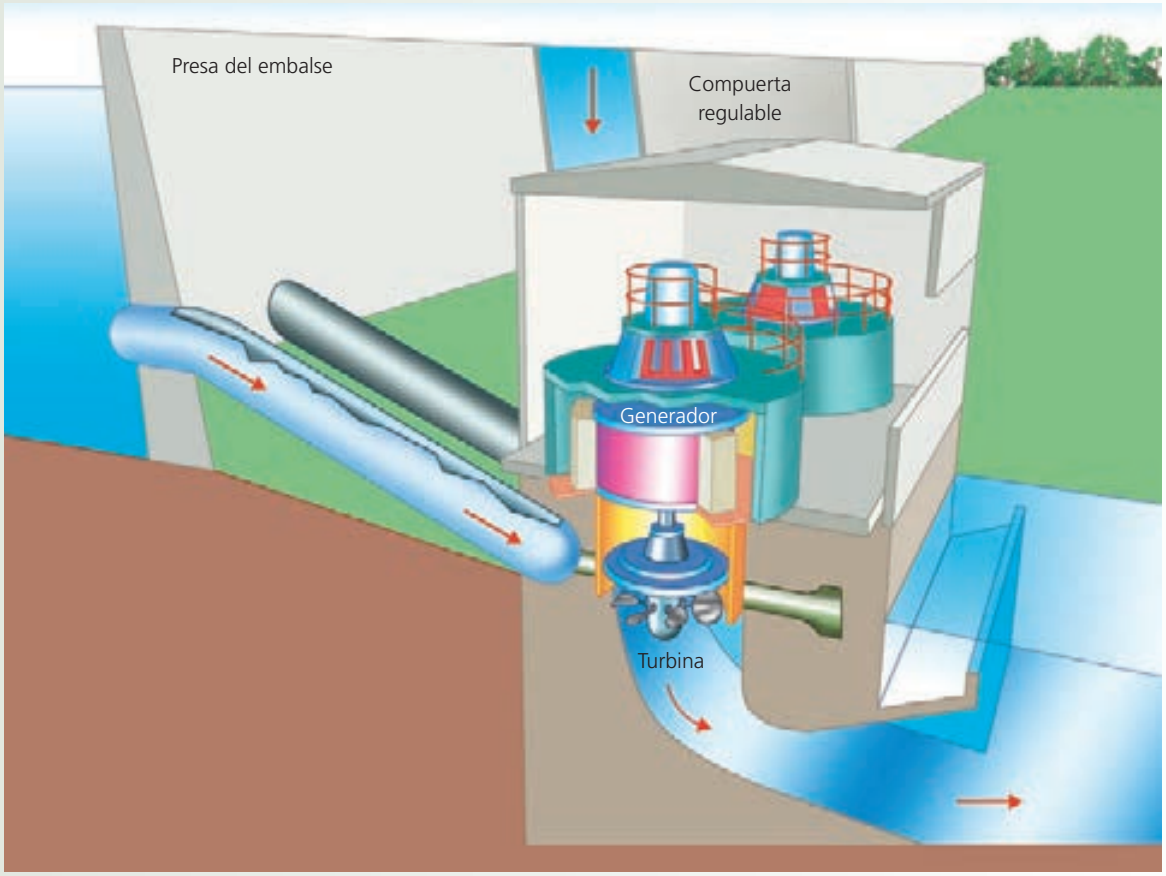


figura 14.17

En una central hidráulica el agua del embalse se lleva a la turbina por una tubería. La presión del agua mueve la turbina y, a la vez, los generadores producen energía eléctrica.

cortadas en un segundo. En otras palabras: la *fem* inducida en un circuito es directamente proporcional a la rapidez con que cambia el flujo magnético que envuelve.

La ley anterior, en términos de la corriente inducida, se expresa de la siguiente manera: la intensidad de la corriente inducida en un circuito es directamente proporcional a la rapidez con que cambia el flujo magnético.

La ley de Faraday se expresa matemáticamente como:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

o bien:

$$\varepsilon = -\frac{\phi_f - \phi_i}{t}$$

donde:

ε = *fem* media inducida expresada en volts (V)

ϕ_f = flujo magnético final medido en webers (Wb)

ϕ_i = flujo magnético inicial calculado en webers (Wb)

t = tiempo en que se realiza la variación del flujo medido en segundos (s)

El signo (−) de la ecuación se debe a la oposición existente entre la *fem* inducida y la variación del flujo que la produce (ley de Lenz).

Cuando se trata de una bobina que tiene N número de vueltas o espiras, la expresión matemática para calcular la *fem* inducida será:

$$\varepsilon = -N\frac{\phi_f - \phi_i}{t}$$

Al calcular la *fem* inducida en un conductor recto de longitud L que se desplaza con una magnitud de velocidad v en forma perpendicular a un campo de inducción magnética B se utiliza la expresión:

$$\varepsilon = BLv$$

Resolución de problemas de la ley de Faraday

1 Una bobina de 60 espiras emplea 4×10^{-2} s en pasar entre los polos de un imán en forma de U desde un lugar donde el flujo magnético es de 2×10^{-4} Wb, a otro en el que éste es igual a 5×10^{-4} Wb. ¿Cuál es la *fem* media inducida?

Solución:

Datos

$N = 60$

$t = 4 \times 10^{-2}$ s

$\phi_i = 2 \times 10^{-4}$ Wb

$\phi_f = 5 \times 10^{-4}$ Wb

$\varepsilon = ?$

Fórmula

$$\varepsilon = -N\frac{\phi_f - \phi_i}{t}$$

Sustitución y resultado

$$\varepsilon = -60\left(\frac{5\times10^{-4}\ Wb - 2\times10^{-4}\ Wb}{4\times10^{-2}\ \text{s}}\right)$$

$$= -0.45\ V$$

2 Un conductor rectilíneo de 10 cm de longitud se mueve perpendicularmente a un campo de inducción magnética igual a 0.4 T con una velocidad cuya magnitud es de 3 m/s. ¿Cuál es la *fem* inducida?

Solución:

Datos

$L = 10$ cm $= 0.1$ m

$B = 0.4$ T

$v = 3$ m/s

$\varepsilon = ?$

Fórmula

$\varepsilon = BLv$

Sustitución y resultado

$$\varepsilon = 0.4\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \times 0.1\ \text{m} \times 3\frac{\text{m}}{\text{s}} = 0.12\ V$$

3 El flujo magnético que cruza una espira de alambre varía de 2×10^{-3} a 4×10^{-3} webers en 3×10^{-2} segundos. ¿Qué *fem* media se induce en el alambre?

Solución:

Datos

$\phi_f = 4 \times 10^{-3}$ Wb

$\phi_i = 2 \times 10^{-3}$ Wb

$t = 3 \times 10^{-2}$ s

$\varepsilon = ?$

Fórmula

$$\varepsilon = -\frac{\phi_f - \phi_i}{t}$$

Sustitución y resultado

$$\varepsilon = -\frac{4\times10^{-3}\ \text{Wb} - 2\times10^{-3}\ \text{Wb}}{3\times10^{-2}\ \text{s}}$$

$$= -6.6\times10^{-2}\ V = -66\ mV$$

4 Calcular el número de espiras que debe tener una bobina para que al recibir una variación del flujo magnético de 8×10^{-4} *Wb* en 3×10^{-2} s se genere en ella una *fem* media inducida de 12 *V*.

Solución:

Datos

$N = ?$

$\Delta\phi = 8 \times 10^{-4}$ Wb

$t = 3 \times 10^{-2}$ s

$\varepsilon = 12\ V = 12$ Wb/s

Fórmulas

$$\varepsilon = -N\frac{\Delta\phi}{t} \quad \therefore \quad N = \frac{\varepsilon t}{\Delta\phi}$$

Sustitución y resultado

$$N = \frac{12\frac{\text{Wb}}{\text{s}} \times 3\times10^{-2}\ \text{s}}{8\times10^{-4}\ Wb} = 450\ \text{vueltas}$$

Ejercicios propuestos

1 Calcular la *fem* media inducida en una bobina de 200 espiras que tarda 2×10^{-2} segundos en pasar entre los polos de un imán en forma de U desde un lugar donde el flujo magnético es de 5×10^{-3} Wb a otro en el que éste vale 8×10^{-3} Wb.

2 Calcular el tiempo necesario para efectuar una variación de 6×10^{-4} Wb en el flujo magnético, al desplazarse una bobina de 500 vueltas entre los polos de un imán en forma de herradura, el cual genera una *fem* media inducida de 20 V.

3 Un conductor rectilíneo de 12 cm de longitud se mueve en forma perpendicular a un campo de inducción magnética igual a 0.27 T con una velocidad cuya magnitud es de 4×10^3 m/s. Calcular la *fem* media inducida.

4 Calcular la magnitud de la velocidad con que se mueve un alambre de 15 cm perpendicularmente a un campo cuya inducción magnética es de 0.35 T al producirse una *fem* media inducida de 0.5 V.

5 INDUCTANCIA

Existen fenómenos de inducción electromagnética generados por un circuito sobre sí mismo llamados de inductancia propia o de autoinducción; y los producidos por la proximidad de dos circuitos llamados de inductancia mutua. Un ejemplo de inductancia propia lo tenemos cuando por una bobina circula una corriente alterna.

Como sabemos, al circular la corriente por la bobina formará un campo magnético alrededor de ella, pero al variar el sentido de la corriente también lo hará el campo magnético alrededor de la bobina, con lo cual se produce una variación en las líneas de flujo magnético a través de ella, esto producirá una **fem inducida en la bobina**. La *fem* inducida con sus respectivas corrientes inducidas son contrarias a la *fem* y la corriente recibidas. A este fenómeno se le llama autoinducción.

Por definición: la autoinducción es la producción de una *fem* en un circuito por la variación de la corriente en ese circuito. La *fem* inducida siempre se opone al cambio de corriente. La capacidad de una bobina de producir una *fem* autoinducida se mide con una magnitud llamada inductancia. La bobina es conocida como autoinductor o simplemente inductor. En muchos circuitos de corriente alterna se utilizan inductores o bobinas con el objetivo de producir, en forma deliberada, inductancia en el circuito; si la bobina tiene un gran número de espiras su valor de inductancia es alto, y en caso contrario su valor es pequeño. Cuanto mayor sea la inductancia, más lentamente se elevará o descenderá la corriente dentro de la bobina (figura 14.18).

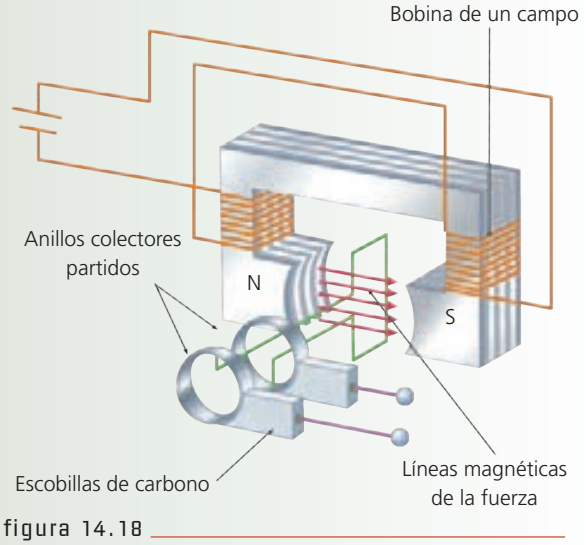


figura 14.18

El principio del generador de corriente alterna se observa en el gráfico. Cuando una espira gira entre los polos de un imán, varían las líneas de fuerza que corta la espira y se produce una corriente eléctrica.

La unidad de inductancia es el henry (H), llamada así en honor de **Joseph Henry** (1797-1878), maestro y físico estadounidense pionero en el estudio del electromagnetismo.

Como el fenómeno de la inductancia se debe a que un cambio de corriente en una bobina induce una *fem* en ella, el henry se puede definir en términos de la *fem* inducida por unidad de rapidez de cambio de la corriente. Por tanto, la inductancia equivale a un henry si la rapidez de cambio de la corriente es de un ampere por segundo e induce una *fem* de un volt. Matemáticamente se expresa:

$$L = -\frac{\varepsilon}{\frac{\Delta i}{\Delta t}}$$

o bien, si despejamos a la *fem* inducida:

$$\varepsilon = -L\frac{\Delta i}{\Delta t}$$

donde:

- L = inductancia expresada en volts-segundo/ampere = henry (H)
- ε = *fem* inducida medida en volts (V)
- Δi = cambio de la corriente en amperes (A). La letra *i* indica que es una corriente inducida
- Δt = tiempo en el que se efectúa el cambio en la corriente medido en segundos (s)

El signo negativo indica que la *fem* autoinducida ε es una fuerza llamada contraelectromotriz que se opone al cambio de la corriente.

La forma geométrica de la bobina afecta su inductancia. Por ello, existen inductores de diversos tamaños y formas en los que varía el número de espiras y la longitud del conductor; algunos tienen núcleo de hierro y otros no. Para el caso de una bobina larga de sección transversal uniforme, la inductancia se calcula con la expresión:

$$L = \mu\frac{N^2 A}{\ell}$$

donde:

- L = inductancia de la bobina expresada en henrys (H)
- μ = permeabilidad magnética del núcleo medida en webers/ampere-metro (Wb/Am)
- N = número de espiras de la bobina
- A = área de la sección transversal del núcleo en metros cuadrados (m^2)
- ℓ = longitud de la bobina en metros (m)

Inductancia mutua

Cuando dos bobinas se colocan una cerca de la otra, al pasar una corriente *i* por una de ellas, creará un campo magnético cuyo flujo penetrará a través de la otra, de tal manera que se puede inducir una *fem* en cada una por el efecto de la otra. La bobina en la que circula la corriente en forma inicial recibe el nombre de bobina primaria, y en la que se induce una *fem*, bobina secundaria. El valor de la *fem* secundaria inducida es directamente proporcional a la rapidez con que cambia la corriente en la bobina primaria $\Delta i_p/\Delta t$. Matemáticamente se expresa:

$$\varepsilon_s = M\frac{\Delta i_p}{\Delta t}$$

despejando el valor de *M* tenemos:

$$M = \varepsilon_s \frac{\Delta t}{\Delta i_p}$$

donde:

M = constante que recibe el nombre de inducción mutua del sistema de dos bobinas.

Resolución de problemas de inductancia

1 Un alambre de cobre se enrolla en forma de solenoide sobre un núcleo de hierro de 5 cm de diámetro y 25 cm de largo. Si la bobina tiene 220 vueltas y la permeabilidad magnética del hierro es de 1.8×10^{-3} Wb/Am. Calcular la inductancia de la bobina.

Solución:

Datos

$\phi = 5 \times 10^{-2}$ m

$\ell = 25 \times 10^{-2}$ m

$N = 220$

$\mu_{Fe} = 1.8 \times 10{-}3$ Wb/Am

$L = ?$

Fórmulas

$A = \pi r^2$

$L = \mu\dfrac{N^2 A}{\ell}$

Cálculo del área de la bobina

$A = 3.14 \times (2.5 \times 10^{-2}\text{ m})^2 = 1.96 \times 10^{-3}\text{ m}^2$

Sustitución y resultado

$$L = \frac{1.8\times10^{-3}\text{ Wb/Am}\times220^2\times1.96\times10^{-3}\text{ m}^2}{25\times10^{-2}\text{ m}}$$

$$= 6.83\times10^{-1}\frac{\text{Wb}}{\text{A}} = 6.83\times10^{-1}\text{ H}$$

2 Una bobina de 500 espiras tiene un núcleo de 20 cm de largo y un área de sección transversal de 15×10^{-4} m^2. Calcular la inductancia de la bobina en los siguientes casos:

a) Cuando la bobina tiene un núcleo de hierro con una permeabilidad relativa de 1×10^4.

b) Si el núcleo de la bobina es el aire.

Solución:

Datos

$N = 500$

$\ell = 20 \times 10^{-2}$ m

$A = 15 \times 10^{-4}$ m^2

$L = ?$

$\mu_{rFe} = 1 \times 10^4$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am

Fórmulas

$\mu = \mu_r\mu_0$

$\mu = \mu_0$

$L = \mu\dfrac{N^2 A}{\ell}$

a) Cálculo de la permeabilidad magnética del hierro:

$\mu_{Fe} = 1 \times 10^4 \times 4 \times 3.14 \times 10^{-7}$ Wb/Am

$= 12.56 \times 10^{-3}$ Wb/Am

Sustitución y resultado

$$L = \frac{12.56\times10^{-3}\text{ Wb/Am}\times500^2\times15\times10^{-4}\text{ m}^2}{20\times10^{-2}\text{ m}}$$

$= 23.5$ H

b) Como la permeabilidad magnética del aire es prácticamente igual a la del vacío tenemos que:

$\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A

Sustitución y resultado

$$L = \frac{4\times3.14\times10^{-7}\text{ Wb/Am}\times500^2\times15\times10^{-4}\text{ m}^2}{20\times10^{-2}\text{ m}}$$

$= 2.35\times10^{-3}\text{ H} = 2.35\text{ mH}$

Nota: La inductancia de la bobina es mucho mayor con el núcleo de hierro que sin él, pues en éste su inductancia fue de 23.5 H y en el aire fue de 2.35 mH.

3 Calcular la fuerza electromotriz inducida en una bobina cuya inductancia es de 0.5 H, si la corriente varía 80 mA cada segundo.

Solución:

Datos

$\varepsilon = ?$

Fórmula

$\varepsilon = -L\dfrac{\Delta i}{\Delta t}$

$L = 0.5\ \text{H} = 0.5\ \text{V s/A}$

$\Delta I = 80\ \text{mA} = 80 \times 10^{-3}\ \text{A}$

$\Delta t = 1\ \text{s}$

Sustitución y resultado

$$\varepsilon = -\frac{0.5\ \text{V s/A} \times 80 \times 10^{-3}\ \text{A}}{1\ \text{s}} = -40 \times 10^{-3}\ \text{V}$$

4 Una bobina de 25 cm de largo tiene 1500 espiras de alambre que rodean a un núcleo de hierro con un área de sección transversal de 2 cm^2. Si la permeabilidad relativa del hierro es de 800, calcular:

a) ¿Cuál es la autoinducción o inductancia de la bobina?

b) ¿Qué *fem* media se induce en la bobina si la corriente en ella disminuye de 0.7 A a 0.2 A en 4×10^{-2} segundos?

Solución:

Datos

$\ell = 25\ \text{cm}$

$N = 1500$

$A = 2\ \text{cm}^2$

$\mu_{r\text{Fe}} = 800$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{Wb/Am}$

$\Delta I = 0.7\ \text{A} - 0.2\ \text{A} = 0.5\ \text{A}$

$\Delta t = 4 \times 10^{-2}\ \text{s}$

a) $L = ?$

b) $\varepsilon = ?$

Fórmulas

$\mu = \mu_r \mu_0$

a) $L = \mu \dfrac{N^2 A}{\ell}$

b) $\varepsilon = -L \dfrac{\Delta i}{\Delta t}$

Cálculo de la permeabilidad magnética del hierro:

$\mu_{\text{Fe}} = 800 \times 4 \times 3.14 \times 10^{-7}\ \text{Wb/Am}$

$= 1 \times 10^{-3}\ \text{Wb/Am}$

Transformación de unidades

$(1\ \text{m})^2 = (100\ \text{cm})^2$

$1\ \text{m}^2 = 1 \times 10^4\ \text{cm}^2$

$$2\ \text{cm}^2 \times \frac{1\ \text{m}^2}{1 \times 10^4\ \text{cm}^2} = 2 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$$

Sustitución y resultado

a) $$L = \frac{1 \times 10^{-3}\ \text{Wb/Am} \times 1500^2 \times 2 \times 10^{-4}\ \text{m}^2}{25 \times 10^{-2}\ \text{m}} = 1.8\ \text{H}$$

b) $$\varepsilon = -\frac{1.8\ \text{V s/A} \times 0.5\ \text{A}}{4 \times 10^{-2}\ \text{s}} = -22.5\ \text{V}$$

5 Una bobina cuya corriente varía con una rapidez de 2 A/s se encuentra cerca de otra a la cual le induce una *fem* de 12 milivolts. Calcular la inducción mutua de las dos bobinas.

Solución:

Datos

$\dfrac{\Delta i}{\Delta t} = 2\ \text{A/s}$

$\varepsilon = 12 \times 10^{-3}\ V$

$M = ?$

Fórmula

$M = \varepsilon_s \dfrac{\Delta t}{\Delta i_p}$

Sustitución y resultado

$$M = 12 \times 10^{-3}\ V \times \frac{1\text{s}}{2A} = 6 \times 10^{-3}\ V\,\text{s/A} = 6\ \text{mH}$$

Ejercicios propuestos

1 Calcular la *fem* inducida en una bobina que produce una inductancia de 8 mH cuando la corriente varía 30 mA cada segundo.

2 Determinar la inductancia que se produce en una bobina formada por un alambre de cobre enrollado sobre un núcleo de hierro de 6 cm de diámetro y 30 cm de largo. El alambre tiene 400 espiras y la permeabilidad magnética del hierro es de 8×10^{-4} Wb/Am.

3 Una bobina de mil espiras tiene un núcleo de 30 cm de largo y un área de sección transversal de $2 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$. Determinar la inductancia de la bobina en los siguientes casos:

a) Cuando la bobina tiene un núcleo de hierro con una permeabilidad relativa de 1.2×10^3.

b) Cuando el núcleo de la bobina es el aire.

4 Un alambre se enrolla en un núcleo de hierro cuya permeabilidad relativa es de 2×10^3, forma una bobina de 750 vueltas con un largo de 20 cm y un área de sección transversal de 3 cm^2. Calcular:

a) ¿Cuál es la autoinducción o inductancia de la bobina?

b) ¿Cuál es la *fem* media que se induce en la bobina si la corriente varía 0.9 A en 2.5×10^{-2} segundos?

5 A través de una bobina hay una variación en la corriente de 4 A/s y al encontrarse cerca de otra le induce una *fem* de 20 milivolts. ¿Cuál es la inducción mutua de las bobinas?

6 Corriente alterna

Al conectar un alambre a las terminales de una pila se produce una corriente eléctrica. Los electrones que la originan van en forma constante del polo negativo al positivo en una misma dirección, por eso se le denomina corriente continua o directa.

La corriente que se usa en las casas, fábricas y oficinas no se mueve en forma constante en la misma dirección, sino que circula alternativamente, razón por la cual se le llama corriente alterna. El movimiento de vaivén de los electrones cambia 120 veces por segundo por lo que su frecuencia es de 60 ciclos/segundo.

En nuestros hogares e industrias se usa la corriente alterna, pues es la más sencilla de producir mediante el empleo de respectivos generadores de corriente alterna. También se prefiere porque su voltaje puede aumentarse o disminuirse fácilmente por medio de un aparato denominado transformador; lo que no ocurre con la continua (figura 14.19).



figura 14.19

El transformador se emplea para elevar o reducir el voltaje.

Cuando la electricidad tiene que recorrer grandes distancias se envía a voltajes muy altos, cercanos a cientos de miles de volts. Ello posibilita la transferencia de una gran cantidad de electricidad a baja intensidad, así se pierde muy poca energía por calentamiento del conductor; al llegar la electricidad a una ciudad se reduce su voltaje de tal manera que pueda ser utilizada en los aparatos domésticos y en las máquinas industriales.

Las representaciones gráficas de la corriente continua y alterna se dan en las figuras 14.20, 14.21 y 14.22.

Una *fem* alterna de 60 ciclos y 110 volts, significa que el campo eléctrico cambia de sentido 120 veces en un segundo. Cuando el electrón cambia de sentido efectúa una alternancia, dos alternancias consecutivas constituyen un ciclo completo. El número de ciclos por segundo recibe el nombre de frecuencia. La frecuencia de la

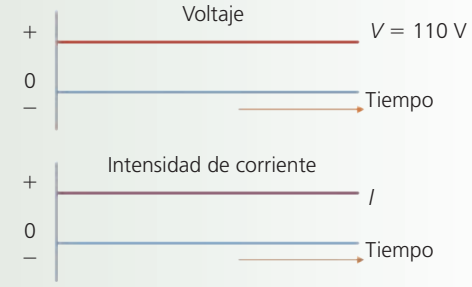


figura 14.20

Representación gráfica del voltaje y la intensidad de la corriente en función del tiempo, para una corriente continua de 110 V.

corriente alterna es de 60 ciclos/s. El valor de 110 volts representa un voltaje efectivo denominado *fem* media cuadrática porque es la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de la *fem*, y no el llamado pico o máximo de ésta cuyo valor es de 155 volts. En la figura 14.21 la curva representa la *fem* ε de salida (V) en cualquier instante, misma que alcanza su valor máximo (ε máximo) en la parte más alta de la curva, es decir, la amplitud. Igual sucede con la figura 14.22 para la intensidad de corriente.

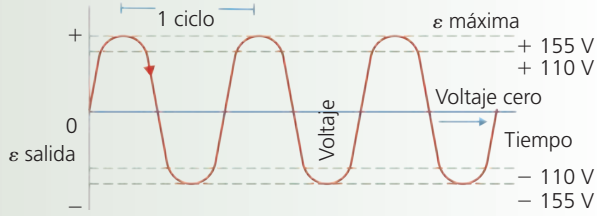


figura 14.21

Representación gráfica del voltaje en función del tiempo, para una corriente alterna de 110 V.

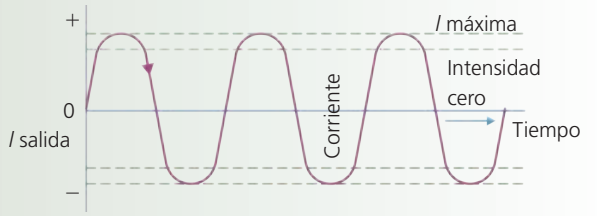


figura 14.22

Representación gráfica de la intensidad de la corriente en función del tiempo, para una corriente alterna de 110 V.

7 Circuitos de corriente alterna

Por lo general, todos los circuitos de corriente alterna tienen resistencia (R), inductancia (L) y capacitancia (C). Cuando la capacitancia y la inductancia totales del circuito son de un valor pequeño comparadas con la resistencia, puede aplicarse la ley de Ohm para calcular la intensidad de la corriente en cualquier parte del circuito: $I = \frac{V}{R}$; pero cuando la capacitancia y la inductancia no tienen un valor pequeño producen diferencias de fase o retardos entre la corriente y el voltaje (figura 14.23), por ello, la ley de Ohm ya no podrá aplicarse en su forma original.

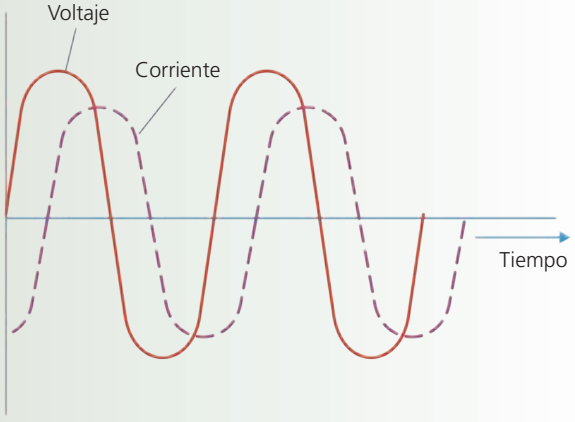


figura 14.23

Gráfica que muestra una diferencia de fase o retardo en la corriente respecto al voltaje.

Al aplicar una corriente alterna a un circuito en el que existe resistencia, pero no hay inductancia, el voltaje y la corriente a través de la resistencia alcanzan sus valores máximos y al mismo tiempo; lo mismo sucede con sus valores cero. En este caso, el voltaje y la corriente están en fase, es decir, no hay retraso entre ellas (figura 14.24), por este motivo; la ley de Ohm se aplica de la misma manera que si se tratara de un circuito de corriente directa.

Reactancia inductiva

De acuerdo con la ley de Lenz, la acción de un inductor es tal que se opone a cualquier cambio en la corriente, Como la corriente alterna cambia constantemente, un inductor se opone de igual manera a ello, por lo que reduce la corriente en un circuito de corriente alterna.

A medida que aumenta el valor de la inductancia, mayor es la reducción de la corriente. De igual manera, como las corrientes de alta frecuencia cambian más rápido que las de baja, mientras mayor sea la frecuencia, mayor será el efecto de reducción. Donde la capacidad de un inductor para reducirla es directamente proporcional a la inductancia y a la frecuencia de la corriente alterna. Este efecto de la inductancia (reducir la corriente), se puede comparar en parte al que produce una resistencia. Sin embargo, como una resistencia real produce energía calorífica al circular una corriente eléctrica por ella, para diferenciarlas se denomina reactancia inductiva al efecto provocado por la inductancia.

Por definición: la reactancia inductiva (X_L) es la capacidad que tiene un inductor para reducir la corriente en un circuito de corriente alterna. Su expresión matemática es:

$$X_L = 2\pi fL$$

donde:

X_L = reactancia inductiva expresada en ohms (Ω)
f = frecuencia de la corriente alterna medida en ciclos/s = hertz (Hz)
L = inductancia expresada en henrys (H)

Cuando se tiene un circuito puramente inductivo se puede sustituir en la ley de Ohm, X_L por R; así:

$$I = \frac{V}{X_L}$$

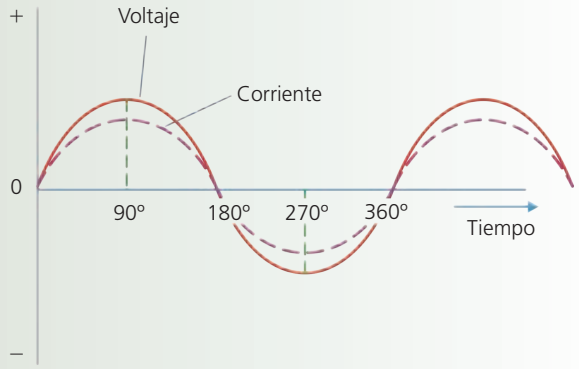


figura 14.24

Gráfica que muestra la variación proporcional de la corriente y el voltaje, de acuerdo con la ley de Ohm; alcanzan sus valores máximos al mismo tiempo. Lo mismo sucede con sus valores cero, por ello se encuentran en fase.

Grupo Editorial Patria

donde:

I = intensidad de la corriente medida en amperes (A)

V = voltaje expresado en volts (V)

X_L = reactancia inductiva medida en ohms (Ω)

En un circuito eléctrico donde existe únicamente inductancia, la onda de intensidad de corriente se atrasa 1/4 de ciclo, es decir, 90°, por esta razón se dice que se encuentran desfasadas 90° (figura 14.25). Ello se debe al efecto producido por la reactancia inductiva X_L.

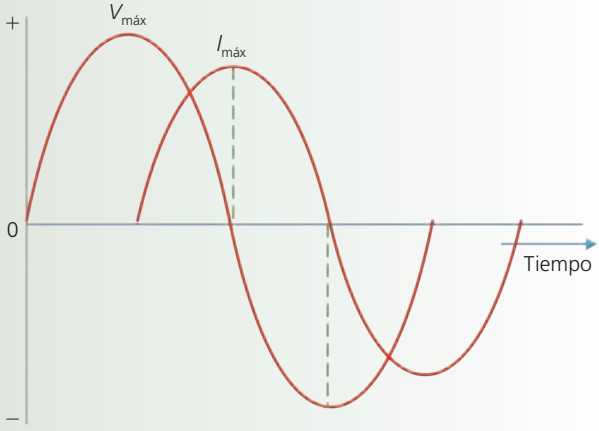


figura 14.25

Gráfica que muestra un desfasamiento de 90° entre la corriente y el voltaje debido al efecto de la reactancia inductiva. Cuando el voltaje es máximo, el valor de la intensidad de corriente es cero.

Reactancia capacitiva

Al introducir un condensador eléctrico o capacitor en un circuito de corriente alterna, las placas se cargan y la corriente eléctrica disminuye a cero. Por tanto, el capacitor se comporta como una resistencia aparente. Pero en virtud de que está conectado a una *fem* alterna se observa que a medida que la frecuencia de la corriente aumenta, el efecto de resistencia del capacitor disminuye.

Como un capacitor se diferencia de una resistencia pura por su capacidad para almacenar cargas, al efecto que produce de reducir la corriente se le da el nombre de reactancia capacitiva (X_C). El valor de ésta en un capacitor varía de manera inversamente proporcional a la frecuencia de la corriente alterna. Su expresión matemática es:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

donde:

X_C = reactancia capacitiva expresada en ohms (Ω)

f = frecuencia de la corriente alterna medida en ciclos/s = hertz (Hz)

C = capacitancia calculada en farads (F)

Por definición: la reactancia capacitiva (X_C) es la propiedad que tiene un capacitor para reducir la corriente en un circuito de corriente alterna. Como la corriente en un circuito capacitivo aumenta según se incrementa la frecuencia de la corriente alterna, se observa que la reactancia capacitiva (X_C) actúa en forma inversa a la reactancia inductiva (X_L), pues la corriente en un circuito inductivo disminuye de acuerdo con el aumento de la frecuencia.

A la diferencia entre $X_L - X_C$ se le da simplemente el nombre de reactancia (X) y se expresa como:

$$X = X_L - X_C$$

En términos generales, podemos decir que la reactancia es una resistencia aparente que se debe sumar a la resistencia de un circuito de corriente alterna para determinar su impedancia, es decir, su resistencia total.

Circuito RLC en serie e impedancia

En la figura 14.26 se muestra un circuito de corriente alterna que contiene una resistencia (o resistor), un inductor y un capacitor conectados en serie. A éste se le denomina circuito RLC *en serie*, por los elementos que lo constituyen y que están conectados en serie. Cuando se conectan en paralelo recibe el nombre de *circuito* RLC *en paralelo.*

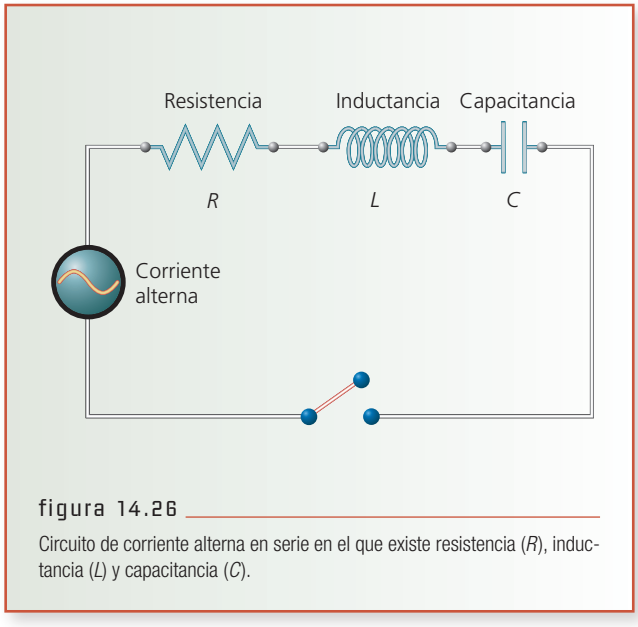


figura 14.26

Circuito de corriente alterna en serie en el que existe resistencia (*R*), inductancia (*L*) y capacitancia (*C*).

Cuando se desea conocer cuál es el valor de la resistencia total en un circuito debido a la resistencia, al inductor y al capacitor, se determina su impedancia. Por definición: en un circuito de corriente alterna la impedancia (Z) es la oposición total a la corriente eléctrica producida por R, X_L y X_C. Matemáticamente Z se expresa como:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

donde:

- Z = impedancia del circuito expresada en ohms (Ω)
- R = resistencia debida al resistor en ohms (Ω)
- X_L = reactancia inductiva medida en ohms (Ω)
- X_C = reactancia capacitiva expresada en ohms (Ω)

De acuerdo con la ley de Ohm para una corriente continua tenemos que:

$$I = \frac{V}{R}$$

En el caso de una corriente alterna (CA) R se sustituye por Z:

$$I = \frac{V}{Z}$$

donde:

- I = intensidad de la corriente en un circuito de CA expresada en amperes (A)
- V = *fem* o voltaje suministrado por el generador medido en volts (V)
- Z = impedancia del circuito calculada en ohms (Ω)

En un circuito en serie las relaciones entre R, X_L, X_C y su valor resultante Z (es decir, la impedancia), se pueden representar en forma gráfica al considerar a las magnitudes anteriores como vectores. En la figura 14.27 vemos lo siguiente: la resistencia R se representa por medio de un vector sobre el eje de las X la reactancia inductiva X_L es un vector en el eje positivo de las Y y la reactancia capacitiva X_C es un vector negativo localizado sobre el mismo eje. El vector resultante de la reactancia $X = X_L - X_C$ y la resistencia R originada por los alambres del circuito y el devanado de la inductancia, está representado por la impedancia Z.

Como ya señalamos, cuando la capacitancia y la inductancia de un circuito de CA no tienen valores relativamente pequeños, producen diferencias de fase o retardos entre la corriente y el voltaje. Cuando la reactancia inductiva X_L es mayor que la reactancia capacitiva X_C, la corriente fluye con un retraso respecto al voltaje recibido. En caso contrario, cuando X_C es mayor que X_L, la corriente fluye con un adelanto respecto al voltaje.

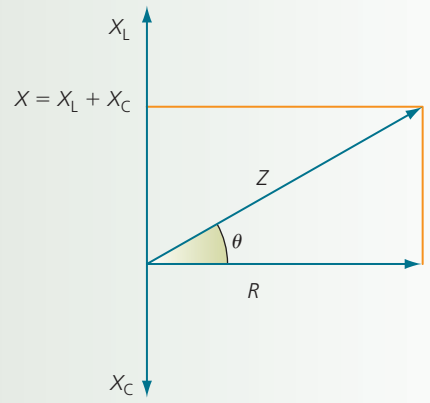


figura 14.27

Representación gráfica de las relaciones entre la resistencia (R) y la reactancia: $X = X_L - X_C$, y su valor resultante Z o impedancia.

Para determinar cuál es el valor del retraso o adelanto de la corriente respecto al voltaje, se determina el ángulo de fase θ (figura 14.27), el cual se calcula con la expresión:

$$\tan\theta = \frac{X}{R}$$

donde:

- θ = ángulo formado por los vectores Z y R
- X = reactancia del circuito ($X = X_L - X_C$) expresado en ohms (Ω)
- R = resistencia total del circuito medida en ohms (Ω)

En conclusión, la impedancia es, respecto a las corrientes alternas, lo que la resistencia es a las corrientes continuas. En otras palabras, es una resistencia aparente medida en ohms. Cuando se acoplan dos circuitos de diferente impedancia se produce en la conexión una resistencia que provoca una disminución en la corriente total, por eso, al conectar una antena a un televisor ambos deben tener la misma impedancia, pues en caso contrario se perderá una parte de la mínima corriente captada a través de la antena.

Factor de potencia

En el caso de un circuito de corriente continua, la potencia se calcula con la expresión $P = VI$ y se mide en watts, tal como lo señalamos en la unidad 12, sección 17: Potencia eléctrica, de este libro. Sin embargo, al tratarse de circuitos de corriente alterna, la potencia eléctrica consumida es igual al producto del voltaje por la corriente instantáneos. Pero como a veces ambos tienen un valor igual a cero, quiere decir que la potencia está variando

en cada ciclo, por ello se debe calcular un promedio de la potencia. Por definición: potencia media consumida en cualquier circuito de corriente alterna es igual al voltaje medio cuadrático multiplicado por la corriente eléctrica media cuadrática y por el coseno del ángulo de retraso entre ellas. Matemáticamente se expresa:

$$P = VI \cos \theta$$

donde:

P = Potencia media consumida en un circuito de *CA* expresada en watts (W)

V = *fem* o voltaje suministrado al circuito medido en volts (V)

I = intensidad de la corriente total que circula por el circuito calculada en ampers (A)

$\cos \theta$ = factor de potencia del circuito

Como observamos, la cantidad representada por $\cos \theta$ se llama factor de potencia, ya que es el factor por el cual debe multiplicarse VI para obtener la potencia media consumida por el circuito. Recuerde que un voltaje medio cuadrático representa el voltaje efectivo del circuito.

En los circuitos de corriente alterna se debe evitar que el valor del factor de potencia sea pequeño, pues esto significará que para un voltaje V suministrado, se requerirá de una corriente grande para que se transmita una energía eléctrica apreciable. También debe procurarse que las pérdidas por calor I^2R en las líneas sean mínimas, para ello, el valor del factor de potencia: cos θ deberá tender a la unidad y, por consiguiente, θ se aproximará a cero, pues si $\theta = 0$ el factor de potencia $\cos \theta = 1$.

Con el propósito de comprender mejor el concepto de factor de potencia, recordemos que los componentes de los circuitos de corriente alterna no aprovechan toda la energía eléctrica suministrada debido al desfasamiento entre el voltaje y la intensidad. Por tanto, el factor de potencia cos θ es la relación entre la potencia real que aprovecha o consume el circuito y la potencia teórica o total suministrada por la fuente de voltaje, por lo que este valor se considera igual al 100 %, donde:

$$\cos \theta = \frac{\text{Potencia real}}{\text{Potencia total}} = \text{Factor de potencia}$$

El factor de potencia también se puede calcular mediante la relación entre la resistencia R y la impedancia Z (figura 14.27):

$$\cos \theta = \frac{R}{Z}$$

La cual al mutiplicarse por cien se expresa en por centaje:

$$\cos\theta = \frac{R}{Z} \times 100$$

Cuando en un circuito de CA sólo existe un resistor, el valor del factor de potencia es uno; mientras su valor es igual a cero para un inductor o un capacitor solo. Por tanto, no hay pérdidas de potencia para éstos.

La potencia consumida en un circuito con inductancia y capacitancia se mide mediante el empleo de un aparato llamado wattímetro. Dicho aparato, al tomar en cuenta la fuerza electromotriz (*fem*), la corriente y el factor de potencia, ofrece lecturas directas. Si se cuenta con un wattímetro, un voltímetro y un amperímetro, podemos calcular el factor de potencia con la siguiente expresión:

$$\cos \theta = \frac{P}{VI}$$

Resolución de problemas de circuitos de corriente alterna

1 Una fuente de voltaje de CA de 110 V se conecta a través de un inductor puro de 0.5 henry. **Calcular:**

a) ¿Cuál es la reactancia inductiva?

b) ¿Cuál es la corriente que circula a través del inductor, si la frecuencia de la fuente es de 60 hertz?

Solución:

Datos

$V = 110$ V

$L = 0.5$ H

a) $X_L = ?$

Fórmulas

a) $X_L = 2\pi fL$

b) $I = \dfrac{V}{X_L}$

b) $I = ?$

$f = 60$ Hz

Sustitución y resultados

a) $X_L = 2 \times 3.14 \times 60 \text{ Hz} \times 0.5 \text{ H} = 188\ \Omega$

b) $I = \dfrac{110 \text{ V}}{188\ \Omega} = 0.58$ A

2 Una fuente de voltaje de CA de 110 V se conecta a través de un capacitor de 6 μF.

Calcular:

a) ¿Cuál es la reactancia capacitiva?

b) ¿Cuál es la corriente en el capacitor, si la frecuencia de la fuente es de 60 hertz?

Solución:

Datos

$V = 110$ V

$C = 6 \times 10^{-6}$ F

a) $X_C = ?$

b) $I = ?$

$f = 60$ Hz

Fórmulas

a) $X_C = \dfrac{1}{2\pi fC}$

b) $I = \dfrac{V}{X_C}$

Sustitución y resultados

a) $X_C = \dfrac{1}{2 \times 3.14 \times 60\ \text{Hz} \times 6 \times 10^{-6}\ \text{F}} = 442\ \Omega$

b) $I = \dfrac{110\ \text{V}}{442\ \Omega} = 0.25\ \text{A}$

3 Un generador de CA que produce una *fem* de 110 V con una frecuencia de 60 hertz se conecta en serie a una resistencia de 80 Ω, a un inductor de 0.4 henry y a un condensador de 60 microfarads.

Calcular:

a) La reactancia inductiva.
b) La reactancia capacitiva.
c) La impedancia.
d) La corriente eléctrica del circuito.
e) El ángulo de fase, señale si la corriente fluye retrasada o adelantada respecto al voltaje.
f) El factor de potencia.
g) La potencia real consumida por el circuito.
h) La potencia total o teórica que suministra la fuente.

Solución:

Datos

$V = 110$ V

$f = 60$ Hz

$R = 80\ \Omega$

$L = 0.4$ H

$C = 60 \times 10^{-6}$ F

a) $X_L = ?$

b) $X_C = ?$

c) $Z = ?$

d) $I = ?$

e) $\theta = ?$

f) $\cos\theta = ?$

g) $P_{real} = ?$

h) $P_{total} = ?$

Fórmulas

a) $X_L = 2\pi fL$

b) $X_C = \dfrac{1}{2\pi fC}$

c) $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

d) $I = \dfrac{V}{Z}$

e) $\tan\theta = \dfrac{X}{R}$

f) $\cos\theta = \dfrac{R}{Z}$

g) $P_{real} = VI\cos\theta$

h) $P_{total} = \dfrac{P_{real}}{\cos\theta}$

Sustitución y resultados

a) $X_L = 2 \times 3.14 \times 60\ \text{Hz} \times 0.4\ \text{H} = 151\ \Omega$

b) $X_C = \dfrac{1}{2 \times 3.14 \times 60\ \text{Hz} \times 60 \times 10^{-6}\ \text{F}} = 44.2\ \Omega$

c) $Z = \sqrt{(80\ \Omega)^2 + (151\ \Omega - 44.2\ \Omega)^2} = 133.4\ \Omega$

d) $I = \dfrac{110\ \text{V}}{133.4\ \Omega} = 0.82\ \text{A}$

e) $\tan\theta = \dfrac{151\ \Omega - 44.2\ \Omega}{80\ \Omega} = 1.335$

θ = ángulo cuya tangente es 1.335

$\theta = 53°$

Por tanto, el ángulo de fase es de 53° y como la reactancia inductiva es mayor que la reactancia capacitiva, la corriente fluye retrasada respecto al voltaje un ángulo de 53°.

f) $\cos\theta = \cos 53° = 0.6$

Valor igual al obtenido con la expresión:

$\cos\theta = \dfrac{R}{Z} = \dfrac{80\ \Omega}{133.4\ \Omega} = 0.6$

g) $P_{real} = 110\ \text{V} \times 0.82\ \text{A} \times 0.6 = 54.12\ \text{W}$

h) $P_{total} = \dfrac{54.12\ \text{W}}{0.6} = 90.2\ \text{W}$

Ejercicios propuestos

1 Un generador de CA produce un voltaje de 110 V con una frecuencia de 60 Hz, el cual se conecta a través de un inductor puro de 0.3 H. Calcular:

a) La reactancia inductiva.
b) ¿Cuál es la corriente que circula en el inductor?

2 Una fuente de voltaje de CA de 110 V con una frecuencia de 60 hertz se conecta a un capacitor de 20 μF. Calcular:

a) La reactancia capacitiva.
b) La corriente en el capacitor.

3. En un circuito RLC en serie formado por un generador de CA que produce una *fem* de 110 V con una frecuencia de 60 hertz, una resistencia de 100 Ω, un inductor de 0.5 H y un condensador de 70 μF. Calcular:
   - **a)** La reactancia inductiva.
   - **b)** La reactancia capacitiva.
   - **c)** La reactancia.
   - **d)** La impedancia.
   - **e)** La corriente eléctrica del circuito.

4. En un circuito RLC en serie formado por un generador de CA que produce una *fem* de 110 V con una frecuencia de 60 Hz, una resistencia de 90 Ω, un inductor de 0.2 H y un condensador de 50 μF. Calcular:
   - **a)** La reactancia inductiva.
   - **b)** La reactancia capacitiva.
   - **c)** La reactancia.
   - **d)** La impedancia.
   - **e)** La corriente eléctrica del circuito.
   - **f)** El ángulo de fase, señale si la corriente fluye retrasada o adelantada respecto al voltaje.
   - **g)** El factor de potencia.
   - **h)** La potencia real consumida por el circuito.
   - **i)** La potencia total o teórica que suministra la fuente.

8 TRANSFORMADORES

El transformador es otro invento realizado por **Michael Faraday**, funciona por inducción magnética. Como ya señalamos, la mayor cantidad de energía eléctrica utilizada en nuestros hogares, fábricas y oficinas es la producida por generadores de corriente alterna, pues su voltaje puede aumentarse o disminuirse fácilmente mediante un transformador. Éste eleva el voltaje de la corriente en las plantas generadoras de energía eléctrica y después lo reduce en los centros de consumo. Dicha característica es la principal ventaja de la corriente alterna sobre la continua.

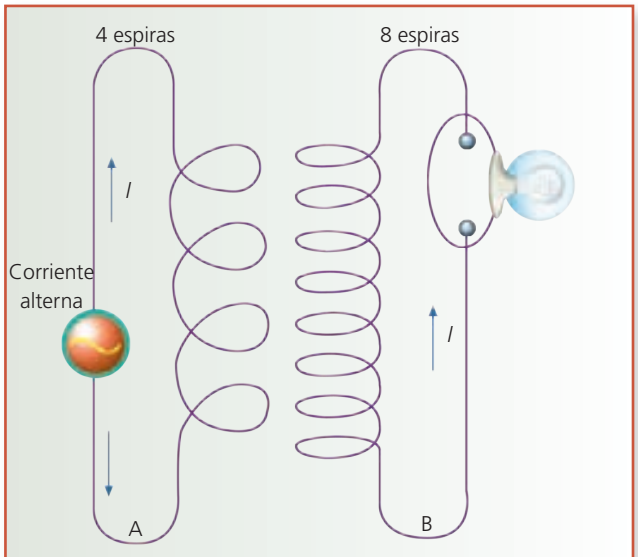


figura 14.28

Transformador básico unido a una fuente de voltaje de corriente alterna. El voltaje producido en la bobina secundaria B corresponde al doble de la bobina primaria A.

El principio del transformador se basa en la inducción mutua vista en la sección 5: Inductancia, de esta unidad. Para comprender su funcionamiento observe la figura 14.28.

En esta figura se muestran dos bobinas de alambre, una A formada por cuatro espiras conectadas a una fuente de voltaje de corriente alterna (CA) y otra B de ocho espiras con un foco integrado, sin ninguna conexión a una fuente de alimentación de energía eléctrica. Cuando por la bobina A circula una corriente alterna, se observa que el foco se enciende, aunque no está conectado a ninguna fuente. Ello se debe a que al circular corriente alterna por la bobina A, genera un campo magnético cuya intensidad varía constantemente de valor debido al cambio de la corriente en cada alternancia, pues va desde cero hasta alcanzar un valor máximo y después disminuye para llegar otra vez a cero, con lo cual ocasiona un campo magnético variable.

Recibe el nombre de bobina primaria la que está conectada a la fuente de voltaje de CA, y de bobina secundaria aquella donde la corriente es inducida.

Los transformadores se utilizan para elevar o disminuir el voltaje en un circuito de CA. Si lo elevan se denominan de subida o de elevación, si lo disminuyen se llaman de bajada o de reducción. En el ejemplo de la figura 14.29 tenemos un transformador de elevación, toda vez que la bobina B o secundaria tiene el doble de espiras que la A o primaria. Así, el voltaje inducido en B corresponde al doble del voltaje en A. Sin embargo, como al transformar el voltaje no cambia su potencia ni su frecuencia, el efecto que se presenta es la disminución a la mitad en la **intensidad de la corriente de la bobina B**.

La corriente disminuye al aumentar el voltaje o viceversa, porque la potencia eléctrica de un transformador es

la misma en la bobina primaria que en la secundaria, pues no genera energía y prácticamente tampoco produce pérdidas de ella, así:

$$\text{Potencia en la bobina primaria} = \text{Potencia en la bobina secundaria}$$

$$V_p I_p = V_s I_s$$

Si la bobina secundaria tiene más espiras que la primaria, su *fem* o voltaje es mayor y viceversa (figura 14.29). Donde la relación entre el voltaje y el número de vueltas en cada bobina se da con la siguiente expresión:

$$\frac{\text{Voltaje primario}}{\text{Voltaje secundario}} = \frac{\text{No. de vueltas del primario}}{\text{No. de vueltas del secundario}}$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

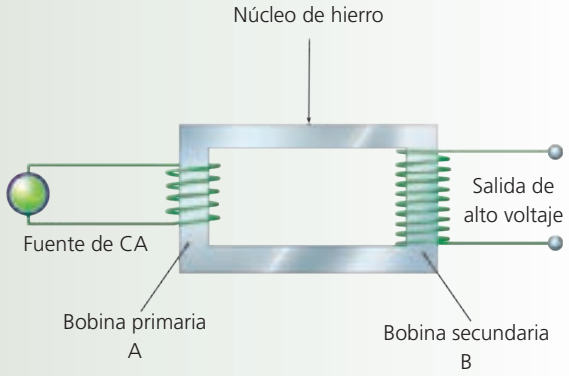


figura 14.29

Transformador elevador. El número de espiras de la bobina secundaria es mayor que la primaria.

Resolución de problemas de transformadores

1 En un transformador de subida la bobina primaria se alimenta con una corriente alterna de 110 V. ¿Cuál es la intensidad de la corriente en el primario, si en el secundario la corriente es de 3 A con un voltaje de 800 V?

Solución:

Datos

$V_p = 110$ V

$I_p = ?$

$I_s = 3$ A

$V_s = 800$ V

Fórmula

$$V_p I_p = V_s I_s \quad \therefore \quad I_p = \frac{V_s I_s}{V_p}$$

Sustitución y resultado

$$I_p = \frac{800 \text{ V} \times 3 \text{ A}}{110 \text{ V}} = 21.8 \text{ A}$$

2 Un transformador reductor es empleado para disminuir un voltaje de 8000 *V* a 220 *V*. Calcular el número de vueltas en el secundario, si en el primario se tienen 9000 espiras.

Solución:

Datos

$V_p = 8000$ V

$V_s = 220$ V

$N_s = ?$

Fórmula

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Despeje de N_s por pasos

$$N_s V_p = N_p V_s \quad \therefore \quad N_s = \frac{N_p V_s}{V_p}$$

$N_p = 9000$

Sustitución y resultado

$$N_s = \frac{9000 \times 220 \text{ V}}{8000 \text{ V}} = 248 \text{ espiras}$$

3 Un transformador elevador tiene 300 espiras en su bobina primaria y 4000 en la secundaria.

Calcular:

a) El voltaje en el circuito secundario, si el primario se alimenta con una *fem* de 110 V.

b) La corriente en el secundario, si en el primario es de 20 A.

c) La potencia en el primario y en el secundario.

Solución:

Datos

$N_p = 300$

$N_s = 4000$

a) $V_s = ?$

$V_p = 110$ V

b) $I_s = ?$

$I_p = 20$ A

c) $P_p = ?$

$P_s = ?$

Fórmulas

a) $\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$

b) $V_p I_p = V_s I_s$

c) $P_p = V_p I_p$

$P_s = V_s I_s$

Sustitución y resultados

a) $V_s = \dfrac{N_s V_p}{N_p} = \dfrac{4000 \times 110\ \text{V}}{300} = 1466.6\ \text{V}$

b) $I_s = \dfrac{V_p I_p}{V_s} = \dfrac{110\ \text{V} \times 20\ \text{A}}{1466.6\ \text{V}} = 1.5\ \text{A}$

c) $P_p = 110\ \text{V} \times 20\ A = 2200\ \text{W}$

$P_p = 1466.6\ \text{V} \times 1.5\ \text{A} = 2200\ \text{W}$

4. Un transformador cuya potencia es de 60 W tiene 1500 vueltas en el primario y 20000 en el secundario. El primario recibe una *fem* de 110 V. Determinar:
   - **a)** La intensidad de la corriente en el primario.
   - **b)** La *fem* inducida en el secundario.
   - **c)** La intensidad de la corriente en el secundario.

Solución:

Datos

$P = 60\ \text{W}$

$N_p = 1500$

$N_s = 20000$

$V_p = 110\ \text{V}$

a) $I_p = ?$

b) $V_s = ?$

c) $I_s = ?$

Fórmulas

a) $P = VI \ \therefore \ 1 = \dfrac{P}{V}$

b) $\dfrac{V_p}{V_s} = \dfrac{N_p}{N_s}$

c) $V_p I_p = V_s I_s$

o bien:

$P_s = V_s I_s$

Sustitución y resultados

a) $P_p = V_p I_p \ \therefore$

$I_p = \dfrac{P_p}{V_p} = \dfrac{60\ \text{W}}{110\ \text{V}} = 0.55\ \text{A}$

b) $V_s = \dfrac{N_s V_p}{N_p} = \dfrac{20000 \times 110\ \text{V}}{1500} = 1467\ \text{V}$

c) $I_s = \dfrac{V_p I_p}{V_s} = \dfrac{110\ \text{V} \times 0.55\ \text{A}}{1467\ \text{V}} = 0.04\ \text{A}$

o bien:

$I_s = \dfrac{P_s}{V_s} = \dfrac{60\ \text{W}}{1467\ \text{V}} = 0.04\ \text{A}$

Ejercicios propuestos

1. Un transformador reductor se utiliza para disminuir un voltaje de 12000 V a 220 V, calcular el número de espiras existentes en el secundario si el primario tiene 20000 vueltas.
2. En un transformador elevador la bobina primaria se alimenta con una corriente alterna de 120 V e induce al secundario un voltaje de 1500 V con una corriente de 2 A. Calcular la corriente en el primario.
3. Un transformador reductor se utiliza en una línea de 2000 V para entregar 110 V. Calcular el número de espiras en el devanado primario, si el secundario tiene 50 vueltas.
4. Un transformador elevador tiene 200 vueltas en su bobina primaria y 5000 en la secundaria, el circuito primario se alimenta con una *fem* de 120 V y tiene una corriente de 15 A.

   Calcular:
   - **a)** El voltaje en el secundario.
   - **b)** La corriente en el secundario.
   - **c)** La potencia en el primario que será igual a la del secundario.
5. Un transformador elevador cuya potencia es de 80 W tiene 300 vueltas en el primario y 15000 en el secundario. Si el primario recibe una *fem* de 110 V.

   Calcular:
   - **a)** La corriente en el primario.
   - **b)** La *fem* inducida en el secundario.
   - **c)** La intensidad de la corriente en el secundario.

9 Bobina de inducción o carrete de Ruhmkorff

La bobina de inducción o carrete de Ruhmkorff se utiliza ampliamente en los laboratorios escolares con el objetivo de generar voltajes elevados. Para ello, se alimenta de la energía proporcionada por una batería o de cualquier otra fuente que proporcione una corriente continua o directa. Dicha bobina de inducción consta de una bobina o carrete primario hecho con unas cuantas

vueltas de alambre grueso, enrolladas en un núcleo de hierro, así como una bobina de salida o carrete secundario con miles de vueltas (figura 14.30). Cuando se cierra el interruptor del circuito el núcleo de hierro se imanta y pasa un gran número de líneas de flujo magnético tanto por la bobina primaria como por la secundaria. El vibrador, similar al de una campanilla de un timbre eléctrico, es atraído por el núcleo de hierro y abre el circuito. Al abrir el circuito, el núcleo de hierro se desimanta y las líneas magnéticas salen de la bobina secundaria y se induce en ésta una *fem* elevada. La intensidad del campo eléctrico obtenida en el espacio señalado por la letra A, hace producir una descarga que se observa por la presencia de una chispa. Así, el vibrador abre y cierra el circuito automáticamente, produciéndose chispas en las terminales de salida A. El capacitor o condensador eléctrico sirve como un depósito al que fluye la carga si el contacto del vibrador se abre. Con ello el capacitor impide que salten chispas entre las terminales de salida y que el metal con el cual están hechas se funda.

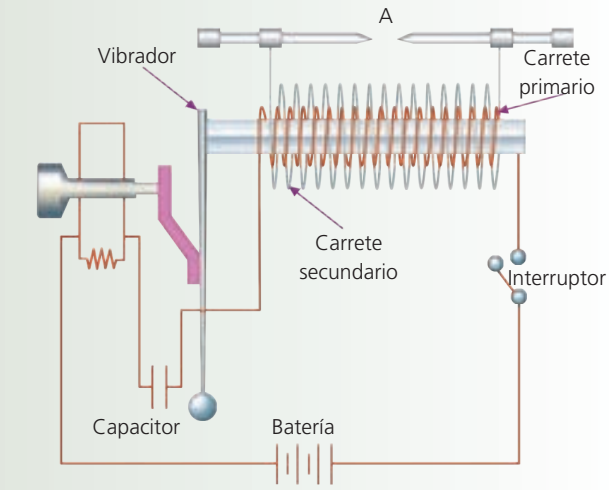


figura 14.30

Bobina de inducción o carrete de Ruhmkorff. La corriente que proporciona la batería imanta el núcleo de hierro, por lo cual éste atrae al vibrador y abre el circuito intermitentemente. El flujo magnético variable que se produce, induce una *fem* elevada en el carrete o bobina secundaria.

10 Generador eléctrico

El generador eléctrico es un aparato que transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Está constituido por un inductor elaborado a base de electroimanes o imanes permanentes que producen un campo magnético y por un inducido que consta de un núcleo de hierro al cual se le enrolla alambre conductor previamente aislado. Cuando se le comunica al inducido un movimiento de rotación, los alambres conductores cortan las líneas de flujo magnético, por tanto, se induce en ellas una *fem* alterna. Para obtener una corriente continua o directa debe incorporarse un dispositivo conveniente llamado conmutador (figura 14.31).

En la mayor parte de los generadores de la corriente continua el inductor que produce el campo magnético es fijo y el inducido móvil. En cambio, en los de corriente alterna permanece fijo el inducido y el inductor gira. Sin embargo, en cualquier generador eléctrico el origen de la *fem* inducida es por el movimiento existente entre el campo magnético creado por el inductor y los alambres conductores del inducido, lo cual provoca un flujo magnético variable.

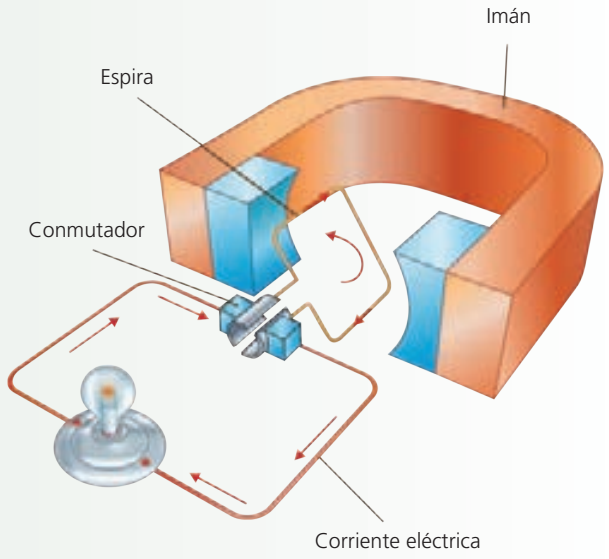


figura 14.31

Generador sencillo de corriente eléctrica. El conmutador invierte las conexiones del circuito externo dos veces en cada vuelta. La corriente en el circuito externo es en un solo sentido, aunque está pulsando.

11 Motor eléctrico

Un motor eléctrico es un aparato que transforma la energía eléctrica en energía mecánica (figura 14.32). Un motor de corriente continua o directa está constituido por una bobina suspendida entre los polos de un imán. Al circular una corriente eléctrica en la bobina, ésta adquiere un campo magnético y actúa como un imán, por tanto, es desplazada en movimientos de rotación, debido a la fuerza que hay entre los dos campos magnéticos. El motor de corriente alterna de inducción es el más empleado gracias a su bajo costo de mantenimiento. En general, todo motor eléctrico consta de dos partes principales: el electroimán, llamado inductor o estator pues suele ser fijo, y el circuito eléctrico, que puede girar alrededor de un eje y recibe el nombre de inducido o rotor.

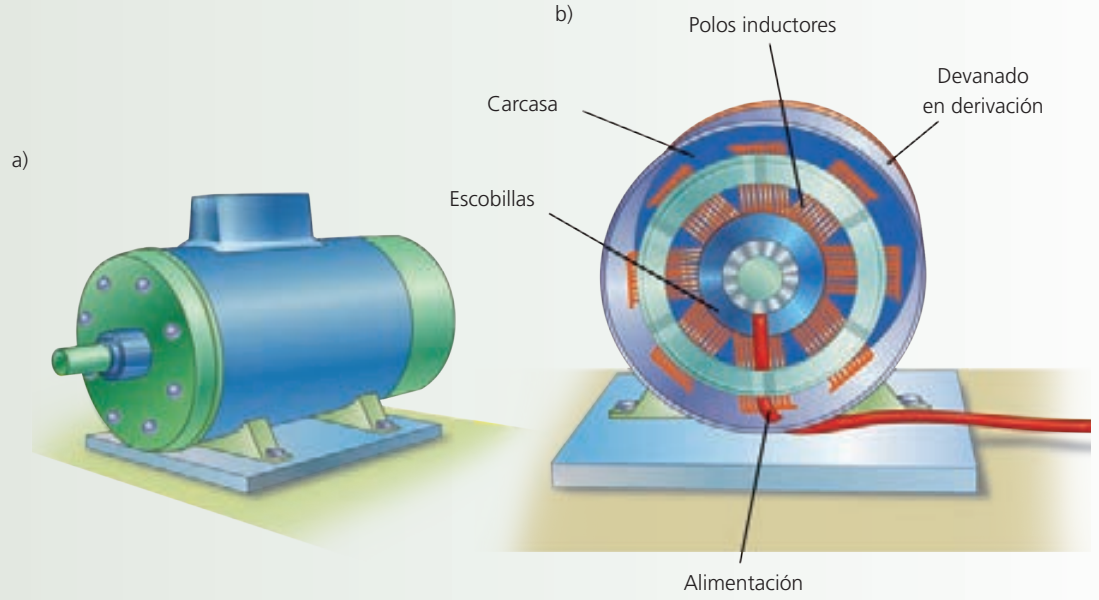


figura 14.32

En a) se observa un motor eléctrico; en b) se muestra el corte de un motor.

12 Síntesis de Maxwell del electromagnetismo

El desarrollo del electromagnetismo fue impulsado por muchos investigadores, de los cuales uno de los más importantes fue **Michael Faraday** (1791-1867), pero correspondió a **James Clerk Maxwell**, establecer las leyes del electromagnetismo en la forma en que las conocemos actualmente. Estas leyes, llamadas a menudo ecuaciones de Maxwell, desempeñan en el electromagnetismo, el mismo papel que las leyes de Newton del movimiento y de la gravitación desempeñan en la mecánica.

Aun cuando la síntesis de Maxwell del electromagnetismo descansa fundamentalmente en el trabajo de sus predecesores, su contribución personal es central y vital. Maxwell dedujo que **la luz es de naturaleza electromagnética** y que la magnitud de su velocidad puede calcularse a partir de experimentos puramente eléctricos y magnéticos. Así, la ciencia de la óptica se ligó íntimamente con las de la electricidad y el magnetismo. Es notable el alcance de las ecuaciones de Maxwell, ya que incluye los principios fundamentales de todos los dispositivos electromagnéticos y ópticos de grandes aplicaciones tales como motores, ciclotrones, calculadoras electrónicas, radio, televisión, radar de microonda, microscopios, telescopios, etcétera (figura 14.33).

Maxwell fue uno de los grandes sintetizadores de la física, ya que tomó los resultados experimentales de



figura 14.33

Estos aparatos se utilizan para transmitir señales en microondas a los satélites de comunicaciones y recibir retransmisiones de los satélites a la Tierra.

Faraday y de otros investigadores y los organizó en una teoría matemática coherente sobre los campos eléctricos y magnéticos. Maxwell encontró que la idea de las ondas electromagnéticas era una consecuencia lógica de su teoría, y publicó su resultado, aun cuando la naturaleza electromagnética de la luz no estaba probada experimentalmente —si bien se sospechaba— y nadie había detectado la existencia de otras ondas electromagnéticas. Lo mismo que Newton, Maxwell "se paró sobre los hombros de gigantes", y —también como Newton— vio más lejos que aquéllos.

Los investigadores se pusieron a buscar la manera de producir y detectar las ondas electromagnéticas predichas por Maxwell. En 1888, **Heinrich Hertz**, un físico alemán, ideó el primer transmisor y detectó sus señales a distancia de unos cuantos metros. Encontró que las ondas eran transversales y que sus longitudes eran de unos pocos metros. Había sido salvada la brecha que hasta entonces existía entre campos separados de la física: **electricidad, magnetismo y luz**.

Existe una gran simetría en los procesos de la electricidad y del magnetismo: los campos magnéticos cambiantes van acompañados por campos eléctricos, y los campos eléctricos cambiantes van acompañados por campos magnéticos. Maxwell quedó sorprendido por esta simetría en la estructura lógica que había creado y se preguntó si los dos procesos podrían combinarse para dar uno que se mantuviera por sí solo. Si el campo magnético estuviera cambiando de una manera *no uniforme* —sinusoidalmente, por ejemplo— el campo eléctrico inducido no sería constante, sino que también cambiaría con el tiempo en forma semejante. Este campo eléctrico cambiante induciría a un campo magnético cambiante que induciría un campo eléctrico cambiante, y así sucesivamente. Los cálculos subsecuentes de Maxwell lo condujeron a las ondas electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas tienen sus orígenes en las cargas oscilantes, por ejemplo, en los electrones que oscilan a altas frecuencias en una antena de radio. En la figura 14.34 se muestra una representación gráfica de una onda electromagnética en el espacio.

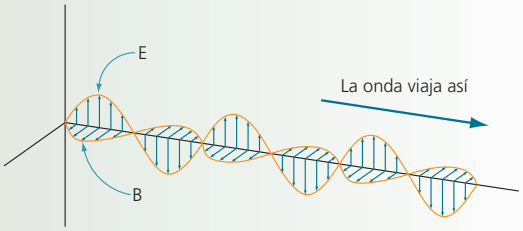


figura 14.34

Representación gráfica de los campos eléctrico y magnético en una onda electromagnética.

Recordemos que estamos hablando de campos eléctricos y de campos magnéticos; la onda electromagnética es un cambio tipo ondulatorio de las intensidades de campo acompañado de una propagación de energía en dirección de la onda.

No son ondas en el sentido de que se muevan partículas materiales, como las moléculas de agua se mueven cuando pasa una onda por la superficie de un estanque.

La figura 14.34 muestra las magnitudes y direcciones de la intensidad del campo eléctrico (E) y la inducción magnética (B) en un instante cualquiera. Sin embargo, debemos imaginar que toda la figura está avanzando hacia la derecha. Un observador que estuviera en reposo respecto a la onda y que dispusiera de instrumentos que pudieran responder a esos campos eléctrico y magnético que cambian rápidamente, observaría, conforme pasara la onda, que la intensidad del campo eléctrico en el sitio en que se encuentra, iría primero dirigida hacia arriba y después hacia abajo, variando su magnitud sinusoidalmente. En forma perpendicular al campo eléctrico, detectaría un campo magnético cuya inducción magnética estaría dirigida primero saliendo y después entrando, en variación sinusoidal. Las variaciones del campo eléctrico y las del campo magnético están en fase entre sí; se sostienen una a la otra debido a que los campos magnéticos de variación sinusoidal producen campos eléctricos de variación sinusoidal y viceversa. El campo eléctrico siempre es perpendicular al campo magnético, y ambos campos son perpendiculares a la dirección de propagación. La onda es transversal.

Los campos que constituyen una onda electromagnética tienen las propiedades de cualesquier otros campos

eléctricos y magnéticos que cambian con el tiempo. Cuando una onda electromagnética llega a un conductor, la componente de campo eléctrico produce corrientes de conducción alternas. Cuando una onda electromagnética pasa por una antena, se cortan las líneas magnéticas de la componente del campo magnético y se induce en la antena una corriente alterna de la frecuencia de la onda. Hemos visto que la energía se puede almacenar en campos eléctricos y en campos magnéticos. En forma semejante, la energía es transportada por ondas electromagnéticas.

Las ecuaciones de Maxwell, que no se estudian en este texto debido a que requieren conocimientos en matemáticas superiores, sintetizan las siguientes leyes:

Nombre de la ley	Se refiere a	Demuestra que
Ley de Gauss para la electricidad	La carga y el campo eléctrico	Cargas iguales se repelen y cargas diferentes se atraen, de acuerdo al inverso del cuadrado de la distancia que hay entre ellas. Una carga en un conductor aislado se mueve hacia su superficie exterior.
Ley de Gauss para el magnetismo	El campo magnético	Es imposible aislar un polo magnético.
Ley de Ampere	El efecto magnético de una corriente o de un campo eléctrico variable	La magnitud de la velocidad de la luz se puede calcular por medio de mediciones puramente electromagnéticas. Una corriente en un alambre produce a su alrededor un campo magnético.
Ley de Faraday de la inducción electromagnética	El efecto eléctrico de un campo magnético variable	Un imán recto que se hace pasar por una espira cerrada de alambre produce una corriente inducida en la espira.

Actividad experimental 23

Electromagnetismo

Objetivos

Observar experimentalmente algunos fenómenos que resultan de las acciones mutuas entre las corrientes eléctricas y el magnetismo.

Consideraciones teóricas

El **electromagnetismo** es la parte de la Física encargada de estudiar al conjunto de fenómenos que resultan de las acciones mutuas entre las corrientes eléctricas y el magnetismo. En 1820 **Oersted** descubrió que cuando circula corriente eléctrica por un alambre conductor se forma inmediatamente un campo magnético alrededor de él. Poco tiempo después **Ampere** descubrió que el campo magnético podía intensificarse al enrollar el alambre conductor en forma de bobina. En 1831 **Faraday** descubrió las **corrientes eléctricas inducidas** al realizar experimentos con una bobina a la que se le acercaba y alejaba un imán recto. La corriente inducida era más intensa a medida que se movía más rápido el imán. De acuerdo con los experimentos de Faraday sabemos lo siguiente: la inducción electromagnética es el fenómeno producido cuando un conductor se mueve en sentido transversal cortando las líneas de fuerza de un campo magnético, con ello se genera una fuerza electromotriz que induce una corriente eléctrica en el conductor. En la actualidad casi toda la energía consumida en nuestros hogares y en la industria se obtiene gracias al fenómeno de la **inducción electromagnética**. En todo el mundo existen generadores movidos por agua, vapor, petróleo o energía atómica, en los cuales enormes bobinas giran entre los polos de potentes imanes y generan grandes cantidades de energía eléctrica.

Material empleado

Una brújula, un interruptor, un alambre conductor aislado, un clavo grande de hierro, una pila de 1.5 volts, unos clips o alfileres, una bobina, un imán de barra y un microamperímetro.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Monte un circuito eléctrico básico como el mostrado en la figura 14.35. Para ello, coloque la brújula en posición paralela con el alambre conductor. Cierre el circuito mediante el interruptor y observe qué le sucede a la brújula. Abra el circuito y observe qué le sucede a la brújula.
2. Construya un pequeño electroimán, enrollando el alambre aislado alrededor de un clavo grande de hierro (figura 14.36). Conecte los extremos del alambre a la pila de 1.5 volts. Acerque cualquier extremo del clavo a clips o alfileres. ¿Qué observa?

3. Monte un dispositivo como el mostrado en la figura 14.37, tome en cuenta que la bobina debe estar fija. Introduzca varias veces y con diferentes magnitudes de velocidades el polo norte del imán en el centro de la bobina. Observe la aguja indicadora del microamperímetro. Repita la operación anterior, pero ahora con el polo sur del imán de barra.

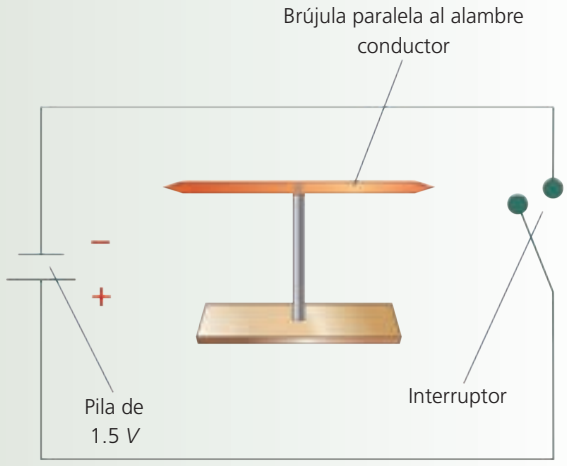


figura 14.35

Por medio de una pila que suministra una corriente continua en un circuito eléctrico básico, se puede detectar el campo magnético que se genera alrededor del alambre conductor.

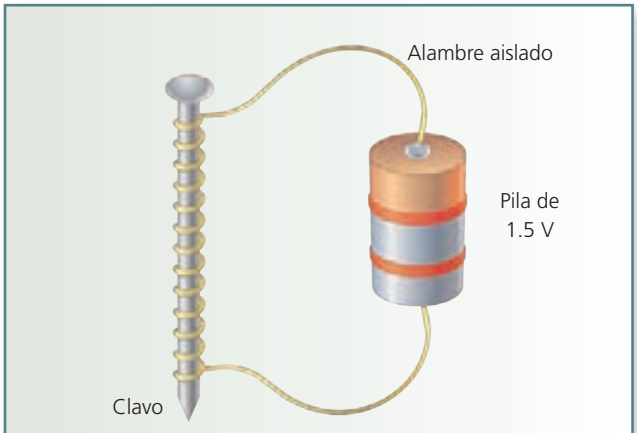


figura 14.36

Electroimán construido con un clavo de hierro, alambre aislado y una pila.

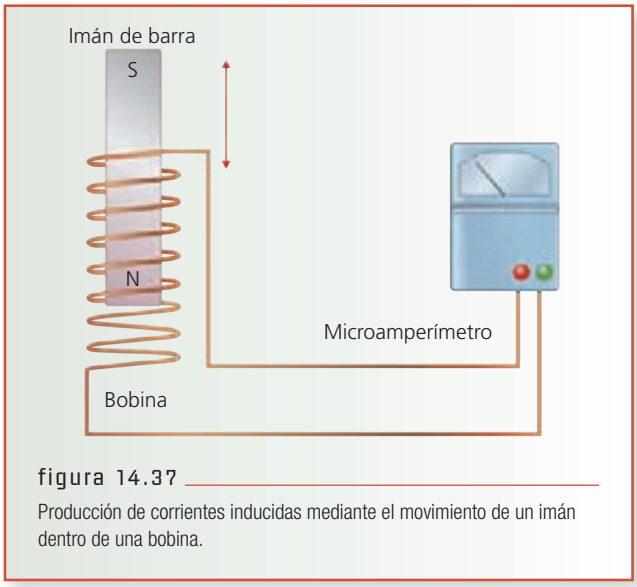


figura 14.37

Producción de corrientes inducidas mediante el movimiento de un imán dentro de una bobina.

Cuestionario

1. ¿Qué observó en la brújula al cerrar el circuito eléctrico y al abrirlo? Explique cuál fue la razón del comportamiento de la brújula.
2. ¿Qué sucedió al acercar cualquiera de los extremos del clavo a clips o alfileres?
3. ¿Qué uso práctico tienen los electroimanes? Señale un mínimo de dos usos.
4. ¿Qué se observa en la aguja indicadora del microamperímetro al introducir el imán y al sacarlo? Descríbalo.
5. ¿Qué se observa en la aguja indicadora del microamperímetro al incrementar la magnitud de la velocidad con que se mueve el imán? Explique cuál es la razón de dicho comportamiento.
6. ¿Qué se observa en la aguja indicadora del microamperímetro al introducir el polo sur del imán de barra en la bobina? Descríbalo.
7. ¿Qué sucede cuando el imán y la bobina permanecen inmóviles?
8. Defina con sus propias palabras qué son las corrientes inducidas.
9. Defina con sus propias palabras el fenómeno de la inducción electromagnética.
10. Enuncie la ley del electromagnetismo propuesta por Faraday.

Resumen

1. El *electromagnetismo* es la parte de la Física encargada de estudiar el conjunto de fenómenos que resultan de las acciones mutuas entre las corrientes eléctricas y el magnetismo. Su desarrollo histórico tuvo su origen con el invento de la pila eléctrica hecho por Volta; más adelante Oersted descubrió que cuando circula una corriente eléctrica por un alambre se forma un campo magnético alrededor de él. Había descubierto el electromagnetismo. Poco tiempo después, Ampere intensificó el campo magnético al enrollar un alambre conductor en forma de bobina. Este hecho condujo a Henry a construir el electroimán, pieza fundamental de los motores eléctricos. En 1821 Faraday construyó el primer motor experimental. Théophile Gramme fabricó el primer generador eléctrico o dinamo capaz de transformar la energía mecánica en energía eléctrica.

2. En 1888 Tesla inventó el *motor de inducción*, el cual funciona con corriente alterna y cuyos usos actualmente son bastante amplios en diversos aparatos eléctricos, como son: lavadoras, licuadoras, ventiladores, refrigeradores, tornos, etcétera. Lenz descubrió que una corriente inducida por fuerzas electromagnéticas siempre produce efectos que se oponen a las causas que lo producen. En 1873 Maxwell propuso la teoría electromagnética y gracias a sus ecuaciones se logró dar una aplicación práctica a las ideas que sobre los campos magnético y eléctrico hizo Faraday.

3. Hertz demostró que las *ondas electromagnéticas* se desplazan en el espacio sin necesidad de cables conductores y que su naturaleza es la misma que la de la luz. Hoy estas ondas reciben el nombre de hertzianas. El efecto magnético de la corriente y la inducción electromagnética han revolucionado la ciencia y dieron origen a un área muy importante de la Física llamada electromagnetismo. La aplicación de sus principios y leyes ha posibilitado la electrificación del mundo.

4. El *campo magnético* producido por una corriente eléctrica puede analizarse para su estudio como si se tratara del campo de un imán, de tal manera que sea posible obtener su espectro y sus efectos.

5. Si el conductor por el cual circula la corriente es recto, se observa que a su alrededor se forma un campo magnético en forma de círculos concéntricos con el alambre. La inducción magnética o densidad de flujo magnético en un punto determinado, perpendicular a un conductor recto, se encuentra con la expresión:

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d}$$

6. El espectro del *campo magnético* de una espira está formado de líneas cerradas que rodean a la corriente y de una línea recta que es el eje central del círculo seguido por la corriente. Para calcular el valor de la inducción magnética en el centro de la espira se usa la expresión:

$$B = \frac{\mu I}{2r}$$

si se trata de una bobina: $B = \dfrac{N\mu I}{2r}$

7. El *campo magnético producido por un solenoide* (bobina), se asemeja al de un imán en forma de barra. La inducción magnética en el interior de un solenoide se calcula con la expresión:

$$B = \frac{N\mu I}{L}$$

8. Cuando un electrón en movimiento con su propio campo magnético penetra en forma perpendicular dentro de otro campo, estos dos interactúan entre sí. En general, los campos magnéticos actúan sobre las partículas cargadas, desviándolas de sus trayectorias por el efecto de una fuerza magnética llamada de *Ampere*. Cabe señalar que si una partícula cargada se mueve paralelamente a las líneas de un campo magnético, ésta no sufre ninguna desviación. Cuando una carga penetra a un campo magnético en forma perpendicular o con un cierto ángulo respecto a las líneas de fuerza magnética, la fuerza de Ampere que recibe se calcula con la expresión: $F = qvB \operatorname{sen}\theta$. La dirección de la fuerza magnética que recibe la carga se determina con la regla de los tres dedos.

9. Cuando un conductor por el cual circula una corriente se introduce perpendicularmente o con un cierto ángulo en un campo magnético, recibe una fuerza lateral cuya magnitud se determina con la expresión: $F = BIL \operatorname{sen}\theta$.

10. Cuando se tienen dos alambres rectos, largos y paralelos por los que circula una corriente eléctrica, debido a la interacción de sus campos magnéticos se produce una fuerza entre ellos, la magnitud de ésta puede calcularse con la expresión:

$$F = \frac{2K_m L\, I_1 I_2}{r}$$

La fuerza entre los alambres conductores paralelos será de atracción si las corrientes van en igual sentido; si es opuesto, se trata de repulsión.

11. En 1831 Faraday descubrió las corrientes inducidas al realizar experimentos con una bobina y

un imán, y obtuvo las siguientes conclusiones: **a)** Las *corrientes inducidas* se producen al moverse un conductor en sentido transversal a las líneas de flujo de un campo magnético. **b)** La *inducción electromagnética* da origen a la producción de una fuerza electromotriz (*fem*) y a una corriente eléctrica inducida, como resultado de la variación del flujo magnético debido al movimiento relativo entre un conductor y un campo magnético. Actualmente, la mayoría de la energía eléctrica consumida en nuestros hogares y en la industria se obtiene gracias al fenómeno de la inducción electromagnética.

12. *Lenz* enunció una ley que lleva su nombre: siempre que se induce una *fem*, la corriente inducida tiene un sentido tal que tiende a oponerse a la causa que lo produce.

13. Con base en sus experimentos, *Faraday* enunció la *ley del electromagnetismo*: la *fem* inducida en un circuito es directamente proporcional a la rapidez con que cambia el flujo magnético que encierra. Matemáticamente se expresa como:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

o bien:

$$\varepsilon = -\frac{\phi_f - \phi_i}{t}$$

si se trata de una bobina: $\varepsilon = -N\dfrac{\phi_f - \phi_i}{t}$

14. Cuando se desea calcular la *fem* inducida en un conductor recto se usa la expresión: $\varepsilon = BLv$.

15. Existen fenómenos de *inducción electromagnética* producidos por un circuito sobre sí mismo llamados de *inducción propia o de autoinducción*, y los producidos por la proximidad de dos circuitos denominados de inductancia mutua. Por definición: la *autoinducción* es la producción de una *fem* en un circuito por la variación de la corriente en él. La capacidad de una bobina de producir una *fem* autoinducida se mide mediante la magnitud llamada inductancia. La bobina es conocida como autoinductor o simplemente inductor. La unidad de inductancia es el *henry* (H). Un inductor equivale a un henry si la rapidez de cambio de la corriente es de un ampere por segundo, e induce una *fem* de un volt. Matemáticamente se expresa:

$$L = -\frac{\varepsilon}{\Delta i/\Delta t} \quad \therefore \quad \varepsilon = -L\frac{\Delta i}{\Delta t}$$

16. La forma geométrica de una bobina afecta su inductancia. Para una bobina larga de sección transversal uniforme la inductancia se calcula con la expresión:

$$L = \mu\frac{N^2 A}{\ell}$$

17. La *inductancia mutua* se presenta cuando dos bobinas se colocan una cerca de la otra; al pasar una corriente *i* por una de ellas, creará un campo magnético cuyo flujo penetrará a través de la otra bobina. Si éste varía porque cambia la corriente, aparecerá una *fem* inducida en la segunda bobina, de tal manera que se puede inducir una *fem* en cada una por el efecto de la otra.

18. La corriente que se usa en las casas, fábricas y oficinas no se mueve en forma constante en la misma dirección, sino que circula alternativamente, razón por la cual se le llama *corriente alterna*. Su frecuencia es de 60 ciclos/segundo. Utilizar la corriente alterna en lugar de la continua presenta varias ventajas como son: facilidad de producirla mediante el empleo de los generadores, también se prefiere porque su voltaje puede aumentarse o disminuirse sin dificultad por medio de un aparato denominado transformador.

19. En general todos los circuitos de corriente alterna tienen resistencia *R*, inductancia *L* y capacitancia *C*. La ley de Ohm se puede aplicar para calcular la intensidad de la corriente en un circuito de corriente alterna, siempre y cuando la capacitancia y la inductancia de éste tengan un valor pequeño comparado con la resistencia. Pero si sus valores no lo son, producen diferencias de fase o retardos entre la corriente y el voltaje, y la ley de Ohm no podrá aplicarse en su forma original.

20. La acción de un inductor es tal que se opone a cualquier cambio en la corriente. Como la corriente alterna cambia constantemente, un inductor se opone de igual manera a ello, por tanto, reduce la corriente. La capacidad de un inductor para reducir la corriente es directamente proporcional a la inductancia y a la frecuencia de la corriente alterna. Por definición: la *reactancia inductiva* X_L es la capacidad del inductor para reducir la corriente en un circuito de corriente alterna. Matemáticamente se expresa por: $X_L = 2\pi fL$. Cuando se tiene un circuito puramente inductivo se puede sustituir en la ley de Ohm X_L por *R*; donde:

$$I = \frac{V}{X_L}$$

21. Al introducir un condensador eléctrico o capacitor en un circuito de corriente alterna, las placas se cargan y la corriente disminuye a cero. Por

tanto, el capacitor se comporta como una resistencia aparente. Pero en virtud de que está conectado a una *fem* alterna se observa que a medida que aumenta la frecuencia de la corriente el efecto de resistencia del capacitor disminuye. Por definición: la *reactancia capacitiva* X_C es la propiedad que tiene un capacitor para reducir la corriente en un circuito de corriente alterna. Matemáticamente se expresa:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

22. La reactancia capacitiva X_C actúa en forma inversa a la reactancia inductiva X_L. A la diferencia entre X_L y X_C se le da el nombre de reactancia y se expresa como: $X = X_L - X_C$.

La reactancia es una resistencia aparente que se debe sumar a la resistencia de un circuito de corriente alterna para determinar su impedancia, es decir, su resistencia total.

23. Cuando se conectan una resistencia, un inductor y un capacitor en serie se le denomina circuito RLC en serie. Si se desea conocer cuál es el valor de la resistencia total en un circuito debido a la resistencia, al inductor y al capacitor, se determina su impedancia. Por definición: en un circuito de corriente alterna, la *impedancia* Z es la oposición total a la corriente producida por *R*, X_L y X_C. Matemáticamente Z se expresa como:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(X_L - X_C\right)^2}$$

En el caso de una corriente alterna, *R* se sustituye por Z en la Ley de Ohm:

$$I = \frac{V}{Z}$$

24. Cuando la reactancia inductiva X_L es mayor que la reactancia capacitiva X_C la corriente fluye con un retraso o desfasamiento respecto al voltaje recibido. Si X_C es mayor que X_L, la corriente fluye con un adelanto respecto al voltaje. Para determinar cuál es el valor del retraso o adelanto de la corriente respecto al voltaje, se determina el ángulo de fase θ, mismo que se calcula con la expresión:

$$\tan\theta = \frac{X}{R}$$

25. En el caso de un circuito de CC la potencia se calcula con la expresión: $P = VI$, pero en un circuito de CA la potencia media consumida es igual al voltaje medio cuadrático multiplicado por la corriente eléctrica media cuadrática y por el coseno del ángulo de retraso entre ellas. Matemáticamente se expresa como: $P = VI \cos \theta$. A la cantidad representada por $\cos \theta$ se le da el nombre de *factor de potencia*, pues éste debe multiplicarse por *VI* para obtener la potencia media que consume el circuito. El factor de potencia $\cos \theta$ también se puede definir como la relación entre la potencia real que aprovecha o consume el circuito y la potencia teórica o total que suministra la fuente de voltaje. Donde:

$$\cos\theta = \frac{\text{Potencia real}}{\text{Potencia total}}$$

26. El factor de potencia también se puede calcular mediante la relación entre la resistencia *R* y la impedancia Z. $\cos\theta = \frac{R}{Z}$.

Al multiplicarla por 100 se expresa en porcentaje:

$$\cos\theta = \frac{R}{Z} \times 100$$

27. Cuando en un circuito de CA sólo existe un resistor o resistencia *R*, el valor del factor de potencia es igual a la unidad; mientras que su valor es cero para un inductor o un capacitor solo. Por tanto, no existen pérdidas de potencia para ambos. La potencia consumida en un circuito con inductancia y capacitancia se mide mediante un aparato llamado wattímetro. Mismo que al tomar en cuenta la *fem*, la corriente y el factor de potencia, ofrece lecturas directas de la potencia.

28. El transformador es un aparato que funciona por inducción mutua entre dos bobinas; eleva el voltaje de la corriente en las plantas generadoras de energía eléctrica y después lo reduce en los centros de consumo. Esta característica es la principal ventaja de la corriente alterna sobre la continua. Los transformadores son llamados de subida o elevación si aumentan el voltaje, pero si lo disminuyen se denominan de bajada o de reducción. Recibe el nombre de bobina primaria, circuito primario o simplemente primario aquel que está conectado a la fuente de voltaje de CA; y bobina secundaria, circuito secundario o simplemente secundario, aquel donde la corriente es inducida.

29. Un transformador eleva o reduce el voltaje sin cambiar la potencia ni la frecuencia de la corriente. La corriente disminuye al aumentar el voltaje y viceversa. Como la potencia en el primario es igual a la del secundario, tenemos que: $V_p I_p = V_s I_s$. La relación entre el voltaje y el número de vueltas en cada bobina se determina con la siguiente expresión:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

30. La bobina de inducción o carrete de Ruhmkorff se utiliza en los laboratorios escolares para generar voltajes elevados. Se alimenta de corriente directa.

31. El generador eléctrico es un aparato que transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Está constituido por un inductor hecho a base de electroimanes o imanes permanentes productores de un campo magnético, y por un inducido que consta de un núcleo de hierro al cual se le enrolla alambre conductor previamente aislado. En cualquier generador eléctrico, el origen de la *fem* inducida se debe al movimiento existente entre el campo magnético creado por el inductor y los alambres conductores del inducido, lo cual provoca un flujo magnético variable.

32. Un motor eléctrico es un aparato que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Un motor de corriente continua está construido por una bobina suspendida entre los polos de un imán. Al circular una corriente eléctrica a través de la bobina, ésta adquiere un campo magnético y actúa como un imán, por lo que es desplazada en movimientos de rotación, debido a la fuerza que hay entre los dos campos magnéticos. Todo motor eléctrico consta de dos partes principales: el electroimán, llamado inductor o estator porque suele ser fijo, y el circuito eléctrico que puede girar alrededor de un eje y recibe el nombre de inducido o rotor.

33. El desarrollo del electromagnetismo fue impulsado por muchos investigadores, de los cuales uno de los más importantes fue Faraday, pero correspondió a Maxwell establecer las leyes del electromagnetismo en la forma en que las conocemos actualmente. Estas leyes, llamadas a menudo ecuaciones de Maxwell, desempeñan en el electromagnetismo el mismo papel que las leyes de Newton del movimiento y de la gravitación desempeñan en mecánica.

34. Existe una gran simetría en los procesos de la electricidad y del magnetismo: los campos magnéticos cambiantes van acompañados por campos eléctricos, y los campos eléctricos cambiantes van acompañados por campos magnéticos.

35. Las ondas electromagnéticas tienen su origen en las cargas eléctricas oscilantes.

36. Las ecuaciones de Maxwell sintetizan las siguientes leyes: de Gauss para la electricidad; de Gauss para el magnetismo; de Ampere y de Faraday de la inducción electromagnética.

Autoevaluación

Escriba en su cuaderno las respuestas a las siguientes preguntas. Si se le presentan dudas al responder vuelva a leer la sección correspondiente del libro, la cual viene señalada al final de cada pregunta para su fácil localización.

1. Por medio de un dibujo describa qué es el electromagnetismo? *(Introducción de la unidad 14)*
2. Describa brevemente dos antecedentes históricos que para usted sean de los más relevantes del electromagnetismo. *(Sección 1)*
3. Explique por qué el descubrimiento del efecto magnético de la corriente y del fenómeno de inducción electromagnética revolucionaron a la ciencia. *(Sección 1)*
4. Describa por medio de un dibujo en qué consistió el experimento realizado por Oersted para detectar un campo magnético alrededor de un alambre por el que circula una corriente. Mencione también las principales conclusiones del experimento. *(Sección 2)*
5. Dibuje y explique cómo es el campo magnético producido por: **a)** un conductor recto, **b)** una espira, **c)** un solenoide. *(Sección 2)*
6. Escriba las expresiones matemáticas para calcular: **a)** la inducción magnética a una cierta distancia de un conductor recto por donde circula una corriente, **b)** la inducción magnética en el centro de una espira y en el centro de una bobina, **c)** la inducción magnética en el interior de un solenoide. *(Sección 2)*
7. Explique qué sucede cuando una partícula cargada, como el electrón, penetra en forma perpendicular a un campo magnético y en forma paralela a las líneas de fuerza del campo. *(Sección 3)*
8. Escriba las expresiones matemáticas para calcular la fuerza de Ampere sobre: **a)** una carga eléctrica que penetra perpendicularmente y con un cierto ángulo a un campo magnético, **b)** un conductor por el cual circula una corriente, **c)** la fuerza magnética entre dos conductores paralelos por los que circula una corriente. *(Sección 3)*
9. Qué entiende por inducción electromagnética. *(Sección 4)*
10. Mediante un dibujo describa en qué consistieron los experimentos realizados por Faraday con una bobina y un imán, para demostrar la producción de una corriente y una *fem* inducidas. *(Sección 4)*
11. Enuncie y explique la ley de Lenz. *(Sección 4)*
12. Escriba la ley del electromagnetismo de Faraday y su expresión matemática. *(Sección 4)*
13. Defina los siguientes conceptos: **a)** autoinducción, **b)** inductancia, **c)** inductor, **d)** inductancia mutua. *(Sección 5)*
14. Explique qué es un henry de inductancia. *(Sección 5)*
15. Escriba la expresión matemática para calcular la *fem* inducida en un inductor. *(Sección 5)*
16. Explique cuál es la diferencia entre la corriente continua y la corriente alterna. *(Sección 6)*
17. Explique por qué en los hogares, fábricas y oficinas se utiliza más la corriente alterna que la continua. *(Sección 6)*
18. Mediante dibujos, haga la representación gráfica del voltaje y la intensidad de la corriente en función del tiempo para: **a)** corriente continua, **b)** corriente alterna. *(Sección 6)*
19. Diga cuáles son los elementos más comunes que integran un circuito de corriente alterna. *(Sección 7)*
20. Explique cuándo es posible aplicar la ley de Ohm en un circuito de corriente alterna sin sufrir modificaciones y cuándo no puede aplicarse en su forma original. *(Sección 7)*
21. Defina qué se entiende por: **a)** reactancia inductiva, **b)** reactancia capacitiva, **c)** reactancia, **d)** impedancia. Escriba también sus modelos matemáticos. *(Sección 7)*
22. Explique qué se entiende por un circuito RLC en serie. *(Sección 7)*
23. Represente gráficamente con vectores, las relaciones entre R, X_L y X_C y su valor resultante Z. *(Sección 7)*
24. Qué se entiende por ángulo de fase y cómo se calcula. *(Sección 7)*
25. Defina los siguientes conceptos y escriba sus modelos matemáticos: **a)** potencia media consumida; **b)** factor de potencia; **c)** potencia real, **d)** potencia total o teórica de un circuito. *(Sección 7)*
26. Mediante un dibujo explique el principio del funcionamiento de un transformador. *(Sección 8)*

27. Explique qué es un transformador elevador y qué es un transformador reductor. *(Sección 8)*

28. Señale si existe diferencia en los valores de: **a)** la potencia, **b)** la frecuencia, **c)** el voltaje, **d)** la corriente; en el circuito primario y en el secundario de un transformador. En caso de existir diferencias, explique cómo y por qué varían en cada caso. *(Sección 8)*

29. Escriba las expresiones matemáticas que relacionan a la potencia en el primario con la potencia en el secundario; y el voltaje con el número de espiras en cada bobina de un transformador. *(Sección 8)*

30. Explique para qué se utiliza la bobina de inducción o carrete de Ruhmkorff y cómo funciona. *(Sección 9)*

31. Explique qué es un generador eléctrico y cómo está constituido. *(Sección 10)*

32. Diga qué es un motor eléctrico, cómo se encuentra constituido y cuáles son las dos partes principales de cualquier motor eléctrico. *(Sección 11)*

33. ¿Cuál es la relevancia de las ecuaciones de Maxwell? *(Sección 12)*

34. ¿Qué originan los campos magnéticos cambiantes y los campos eléctricos cambiantes? *(Sección 12)*

35. ¿Cuál es el origen de las ondas electromagnéticas? *(Sección 12)*

36. ¿Cuáles son las leyes que se sintetizan con las ecuaciones de Maxwell? *(Sección 12)*

Coevaluación

Instrucciones: Consolide su aprendizaje, para ello lea y conteste en una hoja las siguientes preguntas. Luego, intercambie con un(a) compañero(a) sus respuestas. Coméntenlas, pónganse de acuerdo y den respuestas comunes. Discútanlas con las demás parejas y enriquezcan sus conocimientos con las aportaciones de todos.

1. ¿Por qué un alambre conductor en un circuito eléctrico abierto no atrae a un clavo cuando se le acerca pero sí lo hace al cerrar el circuito?

2. ¿Cómo sería su vida actual sin utilizar la energía eléctrica? Señale ventajas y desventajas y concluya señalando si preferiría contar con su suministro o sin él y por qué.

3. ¿Qué ángulo debe llevar una partícula cargada que se mueve en campo magnético cuando?

   a) Recibe la mayor fuerza magnética.

   b) No recibe ninguna desviación.

4. ¿Cómo puede producir corrientes eléctricas inducidas en el laboratorio escolar y cómo le haría para que la corriente inducida fuera más intensa?

5. ¿Cómo se logra que la corriente eléctrica recorra grandes distancias sin mucha pérdida de energía por calentamiento del conductor?

6. Usted requiere reducir la intensidad de la corriente en un circuito por medio de un transformador.

   a) ¿Debe reducir o elevar el voltaje?

   b) ¿Qué tipo de transformador utilizaría de subida o de bajada?

7. ¿Qué usos le da de manera cotidiana a los motores eléctricos?

8. ¿Cuál invento de los siguientes cuatro es más relevante y por qué?: la televisión, el refrigerador, el generador eléctrico o el foco eléctrico.

9. ¿Qué puede hacer de manera directa para reducir su consumo de energía y disminuir la contaminación que produce al ambiente?

Glosario

Bobina o solenoide

Es la que se obtiene al enrollar un alambre en forma helicoidal o de hélice, acción que recibe el nombre de devanar.

Corriente alterna

Es producida por los electrones que en un conductor no se mueven en forma constante en la misma dirección, sino que circulan alternativamente del polo negativo al positivo, y viceversa.

Corriente continua o directa

Es producida por los electrones que en un conductor se mueven de manera constante del polo negativo al positivo en una misma dirección.

Corrientes inducidas

Se producen cuando se mueve un conductor en sentido transversal a las líneas de flujo de un campo magnético.

Electromagnetismo

Parte de la Física encargada de estudiar el conjunto de fenómenos que resultan de las acciones mutuas entre las corrientes eléctricas y el magnetismo.

Espira

Es la que se obtiene al doblar en forma circular un conductor recto.

Fuerza de ampere

Fuerza debida a un campo magnético que actúa sobre las partículas cargadas desviándolas de sus trayectorias.

Generador eléctrico

Aparato que sirve para transformar la energía mecánica en energía eléctrica.

Inducción electromagnética

Es el fenómeno que da origen a la producción de una fuerza electromotriz (voltaje) y de una corriente eléctrica inducida, como resultado de la variación del flujo magnético debido al movimiento relativo entre un conductor y un campo magnético.

Inductancia propia o autoinducción

Es la producción de una fuerza electromotriz en un circuito por la variación de la corriente en ese circuito.

Ley de Faraday

La fuerza electromotriz inducida en un circuito es directamente proporcional a la rapidez con que cambia el flujo magnético que envuelve.

Ley de Lenz

La corriente inducida en una bobina es tal que el campo magnético producido por ella se opone al campo magnético del imán que la genera.

Motor eléctrico

Aparato que transforma la energía eléctrica en energía mecánica.

Reactancia

Es una resistencia aparente que se debe sumar a la resistencia de un circuito de corriente alterna para determinar su impedancia, es decir, su resistencia total.

Transformador

Aparato que se emplea para aumentar o disminuir el voltaje producido por generadores de corriente alterna.

UNIDAD 15

CONTENIDO

- Masa y carga del electrón
- Emisión termoiónica
- Semiconductores
- Diodo de cristal
- Transistor
- Circuitos integrados y chips
- Resumen
- Autoevaluación
- Coevaluación
- Glosario

La electrónica es la parte de la Física aplicada a la tecnología que se encarga del diseño y aplicación de dispositivos, como son los circuitos electrónicos, cuyo funcionamiento se basa en el flujo de electrones para la generación, transmisión, recepción y almacenamiento de información. Dicha información puede ser por medio de un radio, una televisión o una computadora.

Para cualquiera de nosotros se ha vuelto parte de nuestra vida cotidiana encender el televisor o la radio, a fin de enterarnos, casi al instante, de lo que sucede en el mundo. De igual manera, utilizamos una calculadora electrónica con el propósito de obtener rápidamente el resultado de una operación matemática. Los investigadores coordinan los vuelos espaciales al efectuar en pocos segundos cálculos que tardarían muchas semanas en realizarse aunque se contara con un buen equipo de matemáticos. Para ello, usan **calculadoras y computadoras electrónicas** que almacenan y suministran gran cantidad de información. También es posible incursionar al maravilloso mundo de las partículas más pequeñas de la materia viva, gracias al uso del **microscopio electrónico**, navegar por aire o mar a través de la niebla más espesa, seguir la trayectoria de un satélite o encontrar la ubicación exacta de cualquier nave aérea en un radio de varios cientos de kilómetros, es totalmente posible mediante el empleo del radar. Todos estos beneficios y muchos otros más que el hombre ha obtenido para un mejor nivel de vida, investigación e interpretación de los sucesos ocurridos en la naturaleza, ha sido posible a través del estudio de la **electrónica**.

En la actualidad, el estudio y la aplicación de la electrónica ha originado una importante y próspera industria cuyo campo de acción es tan amplio que abarca todas las ciencias, sean puras o aplicadas. Por tanto, ningún país deseoso de superarse puede estar al margen de tan prometedora ciencia.

Aparatos como la radio o la televisión llevan dos tipos de componentes, unos llamados componentes eléctricos, como son: resistencias eléctricas, capacitores y bobinas, y otros denominados componentes electrónicos, como: diodos y transistores que rectifican y amplifican las señales eléctricas.

Los principales fenómenos en que se basan los dispositivos o componentes electrónicos son: **la ionización y los rayos catódicos, la conducción a través de los sólidos cristalizados o semiconductores, el efecto fotoeléctrico, el efecto termoiónico y las corrientes electrolíticas**.



Electrónica

1 Masa y carga del electrón

Como sabemos, el electrón junto con el protón y el neutrón son las tres partículas elementales que constituyen la materia. Está dotado de la menor carga eléctrica posible de aislar. Todos los átomos tienen una o varias capas de electrones. La última capa es la más importante porque de ella dependen las propiedades químicas de un elemento, como su valencia.

El electrón tiene una carga negativa y debido a ello es posible detectar su trayectoria mediante una cámara de ionización. Los electrones se manifiestan de diversas maneras: como corriente eléctrica o flujo de electrones en un conductor; en las lámparas incandescentes que los emiten; en los bulbos o válvulas electrónicas que funcionan por el salto de éstos entre dos electrodos; en las celdas fotoeléctricas en las cuales al incidir un rayo de luz le arranca electrones que pueden ser recogidos en forma de corriente eléctrica, o bien, en un aparato de televisión en el cual las imagénes en la pantalla fluorescente son dibujadas por un rápido haz de electrones emitidos a través del cañón electrónico (figura 15.1).

Las principales características físicas de un electrón son:

a) Masa $= 9.11 \times 10^{-28}$ g $= 9.11 \times 10^{-31}$ kg

b) Carga $= -1.6 \times 10^{-19}$ C

El electrón, partícula fundamental en el estudio de la electrónica, fue descubierto en virtud de la aportación hecha por el inglés **William Crookes** (1832-1919), quien observó el fenómeno producido al establecer una diferencia de potencial entre dos electrodos o terminales metálicas colocadas en el interior de un tubo de vidrio en el cual hay un gas a baja presión (figura 15.2). Cuando se producía la diferencia de potencial, el electrodo ne-

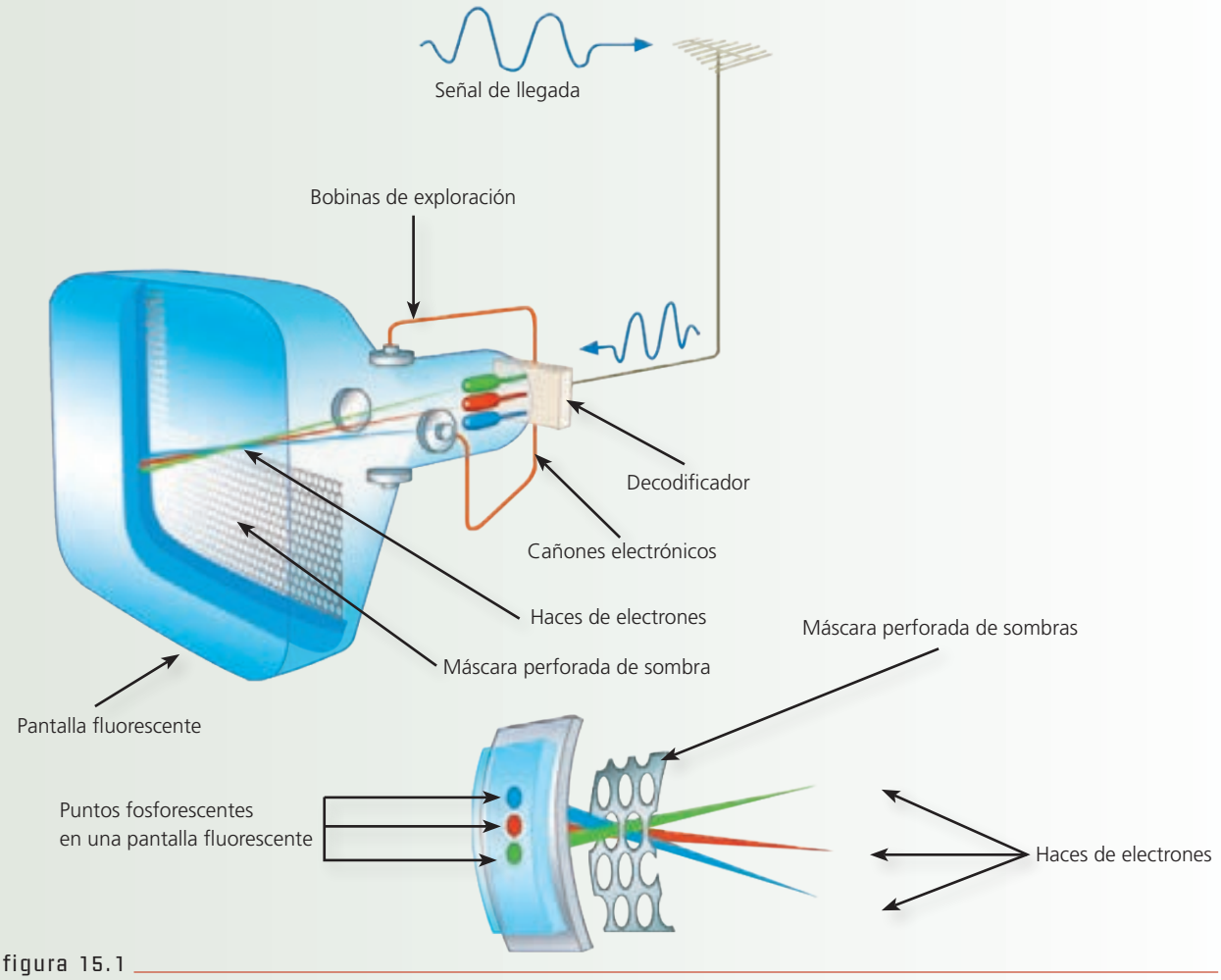


figura 15.1

En un televisor en color la señal de llegada es procesada por un decodificador, cuya salida controla los haces de los tres cañones electrónicos.

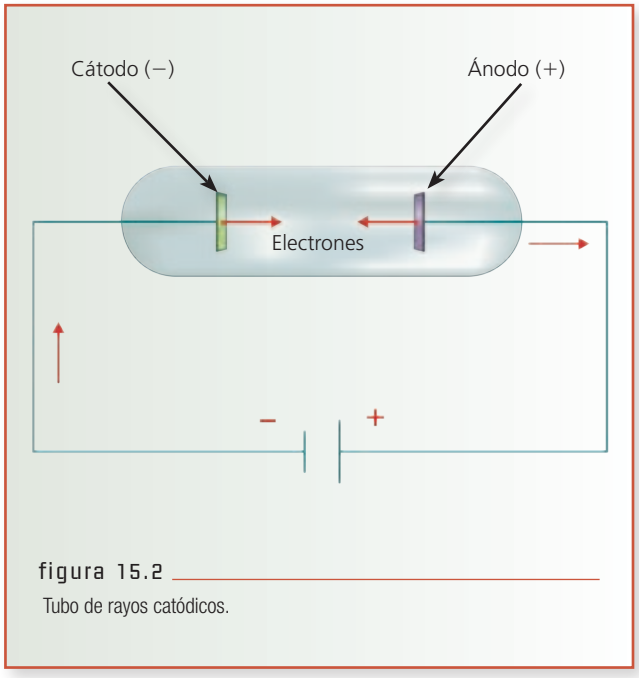


figura 15.2
Tubo de rayos catódicos.

gativo o cátodo emitía rayos que por provenir del cátodo fueron denominados rayos catódicos.

Con base en su experimento, Crookes encontró las siguientes características de los rayos catódicos:

a) Pueden ser deflectados, es decir, ser desviados por la presencia de un campo magnético.

b) Producen fluorescencia en las paredes del tubo.

c) Tienen ímpetu y energía, por lo que pueden mover pequeños objetos colocados en el interior del tubo.

d) Las propiedades de los rayos son las mismas independientemente de que se sustituya la placa del cátodo por diversos metales.

En 1897 el inglés **Joseph Thomson** (1856-1940) demostró que los rayos catódicos estaban constituidos por pequeñísimas partículas cargadas negativamente, las cuales eran emitidas por el cátodo o electrodo negativo, y les dio el nombre de electrones. Thomson consideró que los electrones son partículas presentes en los átomos de todos los cuerpos. Sus estudios sobre la estructura de la materia y los electrones le permitieron obtener el Premio Nóbel en 1906. Además, acabó con el mito de que el átomo era indivisible y propuso un nuevo modelo para su descripción, al considerar a éste como un pastel de pasas en el cual los electrones son las pasas y el pastel es una masa uniforme con carga positiva.

En 1897 Thomson logró medir la relación entre la carga q y la masa m del electrón; q/m. Para ello, utilizó un tubo de descarga (figura 15.3), en el que los electrones emitidos por el cátodo son reducidos a un haz estrecho mediante el uso de los diafragmas dd, a fin de pasar después en medio de las placas metálicas pp y el campo magnético producido por dos solenoides externos ss para llegar finalmente a la pantalla fluorescente.

Para calcular la relación entre la carga y la masa del electrón, Thomson se basó en la desviación de una partícula cargada al penetrar en forma perpendicular a un campo magnético (ver unidad 14, sección 3: Fuerzas sobre cargas eléctricas en movimiento dentro de campos magnéticos). También consideró que cuando una partícula cargada se mueve a través de un campo magnético uniforme recibe una fuerza que la hace girar en forma circular y cuya magnitud se calcula con la expresión: $F = q\,v\,B$. Además, interpretó que esta fuerza magnética es de la naturaleza de una fuerza centrípeta F_C, cuya magnitud se calcula con la expresión:

$$F_C = \frac{mv^2}{r}$$

Al igualar las magnitudes de la fuerza magnética y centrípeta se tiene que:

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

Si se pasa m al primer miembro y vB al segundo, tenemos:

$$\frac{q}{m} = \frac{v^2}{vBr}$$

Al eliminar v del denominador con el cuadrado de v del numerador nos queda:

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{Br}$$

donde:

$\frac{q}{m}$ = relación entre la carga y la masa del electrón determinada en C/kg

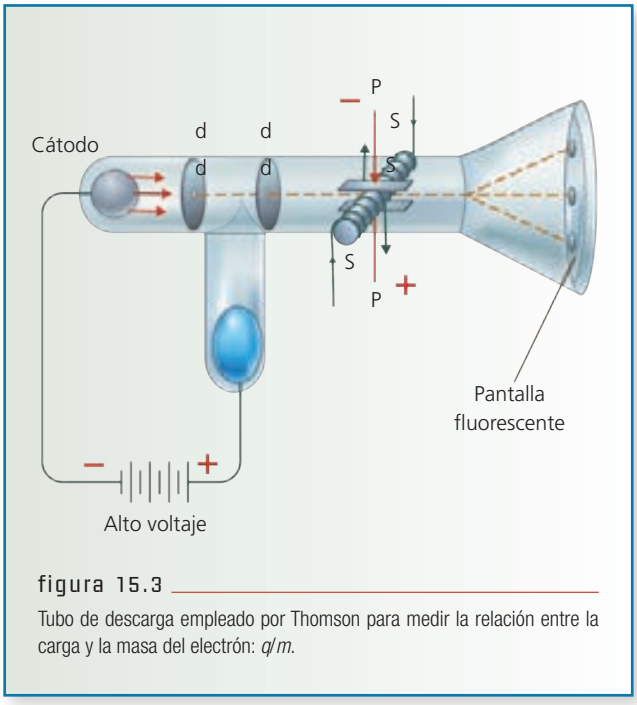


figura 15.3
Tubo de descarga empleado por Thomson para medir la relación entre la carga y la masa del electrón: q/m.

v = magnitud de la velocidad de las partículas calculada en m/s

B = inducción magnética medida en Wb/m^2

r = radio del arco del círculo que describe la partícula expresado en metros (m)

Con los valores de v, B y r, Thomson calculó la relación q/m y encontró que su valor era:

$$\frac{q}{m} = 1.7589 \times 10^{11} \ \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

Este valor tan grande significa que la carga del electrón es mucho mayor comparada con el valor de su masa.

Más tarde, en 1906, **Robert A. Millikan** (1868-1953), físico estadounidense, utilizó un aparato como el de la figura 15.4 y determinó el valor de la carga del electrón. Al observar la figura vemos que Millikan roció con un pulverizador pequeñas gotas de aceite encima de una de las placas del capacitor, esta placa tiene una pequeña perforación por la cual caerá una gota de aceite cargada gracias a la fricción con el aire o a la fricción al salir del pulverizador. Al caer la gota es iluminada por una lámpara de arco lateral y puede ser observada mediante el empleo de un microscopio. La gota de aceite, por la fricción con el aire, pronto alcanza su velocidad máxima, pues no se acelera uniformemente debido a la caída libre; la magnitud de la velocidad máxima que alcanza la gota está en función de su masa, su volumen y de la viscosidad del aire.

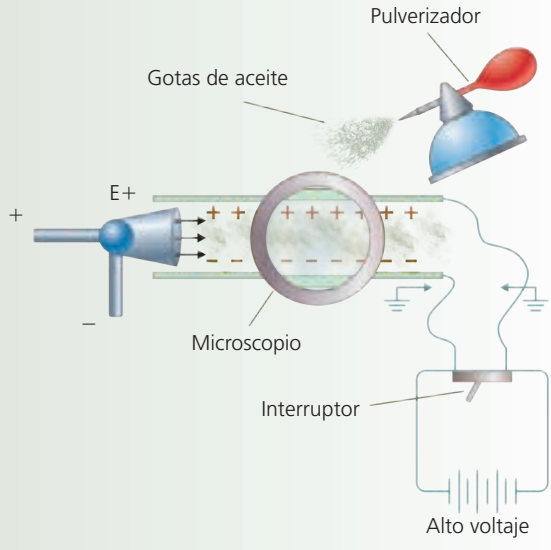


figura 15.4

Determinación de la carga del electrón, mediante el experimento de la gota de aceite de Millikan.

Cuando la gota alcanza su velocidad máxima, la magnitud de la fuerza que la impulsa, debido a la gravedad o sea su peso mg, es igual a la magnitud de la fuerza que la retarda debido a la fricción con el aire, de donde:

$$mg = kv_0 \qquad (1)$$

donde:

k = constante que depende del tamaño de la gota, de su masa y de la viscosidad del aire

v_0 = magnitud de la velocidad máxima de la gota

La gota cae a una velocidad máxima y las placas del capacitor están desconectadas, pero cuando la gota está a punto de tocar la placa inferior, se conecta el interruptor para que las placas se carguen positiva y negativamente. Así, la gota es rechazada y vuelve a subir por la fuerza que sobre ella ejerce el campo eléctrico de la placa y cuya magnitud es: $F = Eq$. La gota sube con una magnitud de velocidad constante v_E. Como sobre la gota están actuando dos fuerzas, una debido al campo eléctrico y otra a la fuerza de gravedad, la diferencia entre ellas será la fuerza resultante que produce el movimiento, de donde:

$$Eq - mg = kv_E \qquad (2)$$

Sumando las ecuaciones 1 y 2 tenemos:

$$\begin{aligned} mg &= kv_0 \\ Eq - mg &= kv_E \\ \hline Eq &= k\left(v_0 + v_E\right) \end{aligned}$$

despejando el valor de la carga q tenemos:

$$q = \frac{k\left(v_0 + v_E\right)}{E} \qquad (3)$$

Al utilizar la ecuación 3 y repetir muchas veces el experimento para obtener el valor promedio que nos da un valor confiable, se obtiene el valor de la carga de un electrón el cual será igual a:

$$q = -1.6019 \times 10{-}19 \text{ coulombs}$$

A partir de la obtención de la carga de un electrón hecha por Millikan y de la determinación de la relación q/m del electrón realizada por Thomson, la masa del electrón se calcula mediante la división de estos dos valores, por tanto:

$$m = \frac{q}{\frac{q}{m}} = \frac{1.6019 \times 10^{-19} \ \text{C}}{1.7589 \times 10^{11} \ \frac{\text{C}}{\text{kg}}}$$
$$= 9.1072 \times 10^{-31} \ \text{kg}$$

Como puede observarse, la masa de cualquier electrón es sumamente pequeña.

Grupo Editorial Patria

2 Emisión termoiónica

El físico estadounidense **Thomas A. Edison** (1847-1931) fue un gran inventor y dentro de los numerosos aparatos eléctricos que fabricó destacan la lámpara de incandescencia o foco eléctrico, el perfeccionamiento del teléfono y del telégrafo, el fonógrafo, el micrófono, la primera cámara de cine, el cine sonoro y la batería alcalina de almacenamiento.

El origen de la electrónica se remonta a 1883 cuando Edison buscaba afanosamente mejorar la duración de su más reciente invento: la lámpara incandescente o foco. El efecto Edison o fenómeno de emisión termoiónica que consiste en la emisión de electrones por el filamento de las lámparas de incandescencia se descubrió al colocar una placa metálica encerrada herméticamente en el interior de una lámpara al vacío como se ve en la figura 15.5.

El galvanómetro de la figura 15.5 registra un flujo de electrones emitidos a través del filamento y son atraídos por la placa metálica, toda vez que se encuentra conectada a la terminal positiva de una batería; pues si estuviera conectada a la terminal negativa de la pila, en lugar de atraerlos los rechazaría.

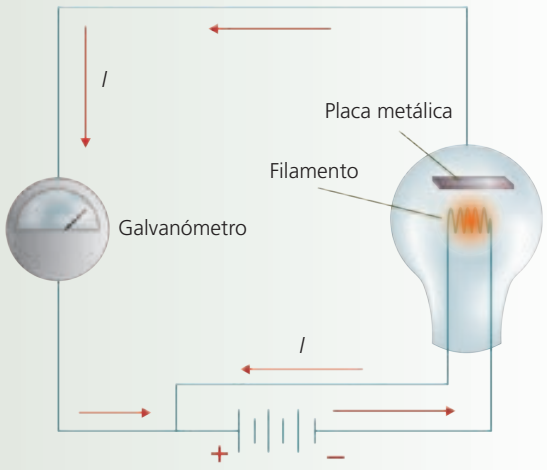


figura 15.5

Efecto Edison o emisión de electrones debido al calentamiento del filamento del foco.

En 1904 **John Fleming** utilizó el efecto Edison para inventar el primer tubo de vacío que tenía un electrodo caliente y otro frío, su principal característica es que permitía pasar corriente eléctrica en un solo sentido. A este tubo de vacío se le dio el nombre de válvula de Fleming o diodo de vacío y se utiliza aún en algunos aparatos con el fin de transformar la corriente alterna en continua. Después del descubrimiento de la válvula de Fleming, la tecnología de los tubos de vacío se desarrolló a un ritmo muy acelerado hasta llegar a la construcción de los cinescopios de televisión a colores, y a las enormes y costosas instalaciones de tubos de vacío que se usan con el propósito de acelerar partículas subatómicas. En la actualidad, la mayoría de los tubos de vacío pequeños han sido reemplazados por los transistores, aunque algunos tipos especiales de ellos se siguen utilizando en los laboratorios de investigación.

Un diodo de vacío o válvula electrónica, como el de la figura 15.6, consta de un tubo de vidrio casi al vacío en cuyo interior hay dos piezas metálicas llamadas electrodos. Uno de ellos es el filamento que eleva su temperatura al circular por él una corriente eléctrica y desprende electrones que producen una emisión termoiónica, por lo cual recibe el nombre de emisor. La otra pieza metálica tiene la forma de un tramo corto de tubo, dicha pieza se encuentra colocada alrededor del filamento o emisor y recibe el nombre de placa o colector. El emisor y la placa están unidos mediante alambres con el exterior del diodo.

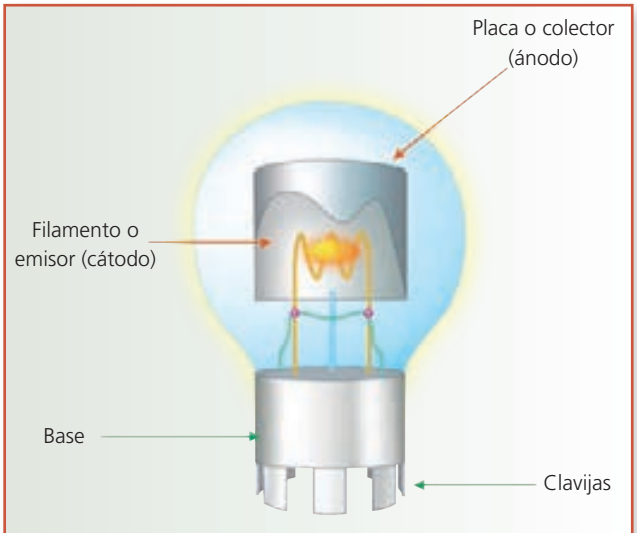


figura 15.6

Diodo de vacío o válvula electrónica también llamada bulbo.

Un diodo conduce electrones desde el cátodo o emisor hasta el ánodo o colector, como se ve en la figura 15.7a. Si las terminales se invierten, como en la figura 15.7b, el emisor se conecta a la terminal positiva de la fuente de voltaje. Por tanto, no recibirá suministro de electrones y tampoco los podrá emitir. El ánodo conectado a la terminal negativa de la fuente de voltaje no emitirá electrones, pues un metal frío sólo los emite a muy altos voltajes.

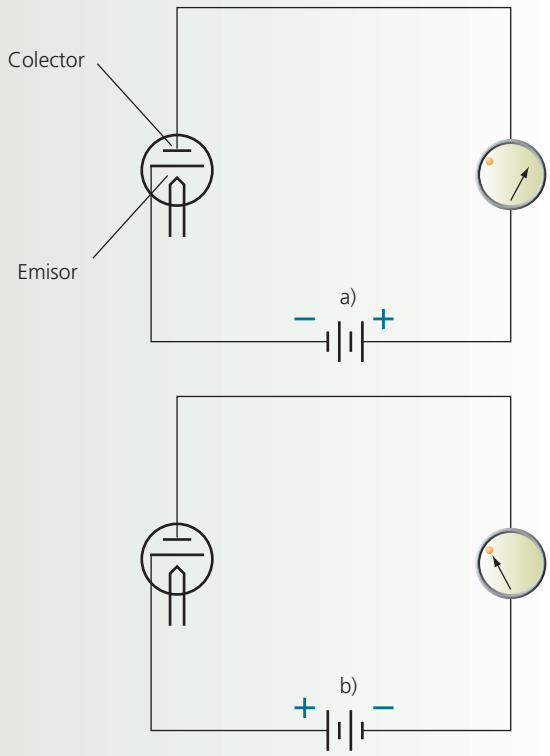


figura 15.7

Funcionamiento de un diodo como rectificador de corriente. En a) vemos el emisor conectado a la terminal negativa de la fuente de voltaje y hay conducción de electrones. En b) se invierte la polaridad y no existe conducción electrónica.

Como un diodo sólo conduce electrones cuando el emisor está conectado a la terminal negativa de un circuito, tendremos que su comportamiento es el de una válvula en un solo sentido, porque los electrones fluyen también en un solo sentido.

El uso más importante que se le dio al diodo de vacío fue el de transformar la corriente alterna en continua, la cual se necesitó para el funcionamiento de aparatos como son: radiorreceptores, televisión, sistemas de audio para circuitos telefónicos y la carga de acumuladores, entre otras cosas. La conversión de la corriente alterna en continua recibe el nombre de rectificación de la corriente y los diodos que se utilizan para tal fin se llaman tubos rectificadores o convertidores.

Un triodo, como el de la figura15.8, se parece mucho a un diodo, la diferencia es que el colector y el emisor están más separados y entre ellos hay una pantalla metálica o bobina de alambre llamada rejilla. El triodo realiza dos funciones que el diodo no puede hacer: amplifica la corriente y produce corrientes oscilatorias.

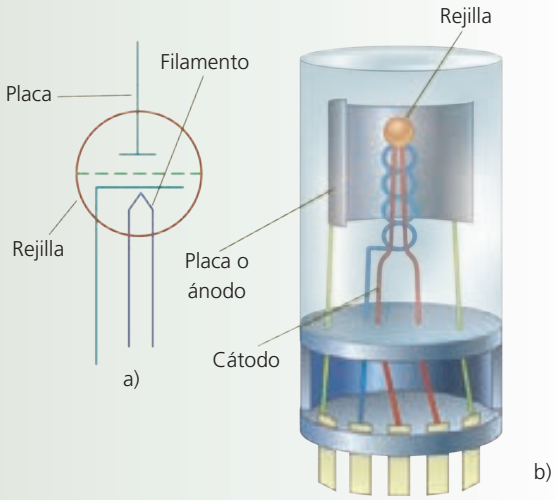


figura 15.8

En a) vemos el símbolo de un triodo de vacío. En b) tenemos la construcción de un triodo.

Cuando la rejilla de la figura15.8b se halla a un potencial o voltaje nulo, los electrones pasan libremente a través de ella. Pero si a la rejilla se le aplica un pequeño voltaje negativo, ejercerá una repulsión sobre los electrones dificultando su paso del emisor hacia la placa o colector. Por el contrario, si se le aplica un voltaje positivo atraerá a los electrones del emisor, sumando su efecto al del colector, con aumento del flujo de electrones. Así, si se aplica a la rejilla de un triodo una señal débil como la producida por un fonocaptor de un tocadiscos, en el colector aparecerá una señal mucho más fuerte, misma que se puede conducir a la rejilla de un segundo triodo obteniéndose una amplificación todavía mayor. Al aumentar varias veces la señal débil es posible obtener finalmente un sonido de gran intensidad. Por tanto, la rejilla de un triodo actúa como una válvula reguladora de la corriente del emisor al colector, por lo que puede servir de **modulador o de amplificador**.

A pesar del amplio uso que tuvieron los tubos de vacío en todos los aparatos electrónicos, actualmente han sido desplazados en forma vertiginosa por otros materiales llamados semiconductores, los cuales han originado una nueva tecnología denominada del estado sólido. Prácticamente sólo quedan en uso el tubo de rayos X y el de rayos catódicos, este último permite la visión de un aparato electrónico denominado osciloscopio y es usado en los televisores.

Un aparato de rayos X está constituido principalmente por un tubo al vacío, si a dicho tubo se le hace llegar una potente carga eléctrica, el cátodo emitirá un rayo de electrones que al chocar con el anticátodo (material resistente), produce un haz de rayos X, es decir, ondas electromagnéticas de alta frecuencia. Como los rayos X atraviesan fácilmente la piel y los tejidos, los huesos y

los músculos que son más duros oponen resistencia, de manera que se pueden imprimir en una placa fotográfica y con ellos se logran obtener radiografías del cuerpo humano (figura 15.9).

Un osciloscopio es un aparato cuya función principal es examinar las formas de las ondas de una señal de corriente fluctuante. Está integrado por un tubo electrónico, el cual es un tipo especial de tubo de rayos catódicos. En el interior del tubo de vidrio al vacío, se encuentran los siguientes elementos:

a) Cátodo o cañón electrónico emisor de un flujo de electrones atraídos por un ánodo de alta tensión que tiene una abertura por donde salen los electrones acelerados en forma de haz.

b) Rejilla cilíndrica encargada de controlar el paso de los electrones y de regular la intensidad de la mancha luminosa producida en una pantalla.

c) Bobinas que concentran el flujo de electrones en forma de un haz fino de rayos catódicos.

d) Dos paredes de placas o bobinas que desvían el haz, una en posición horizontal y otra verticalmente.

e) Pantalla cubierta de sustancias que tengan la propiedad de ser luminiscentes cuando son impactadas por los rayos catódicos. En un aparato de televisión la imagen se forma en un tubo catódico semejante al de un osciloscopio.

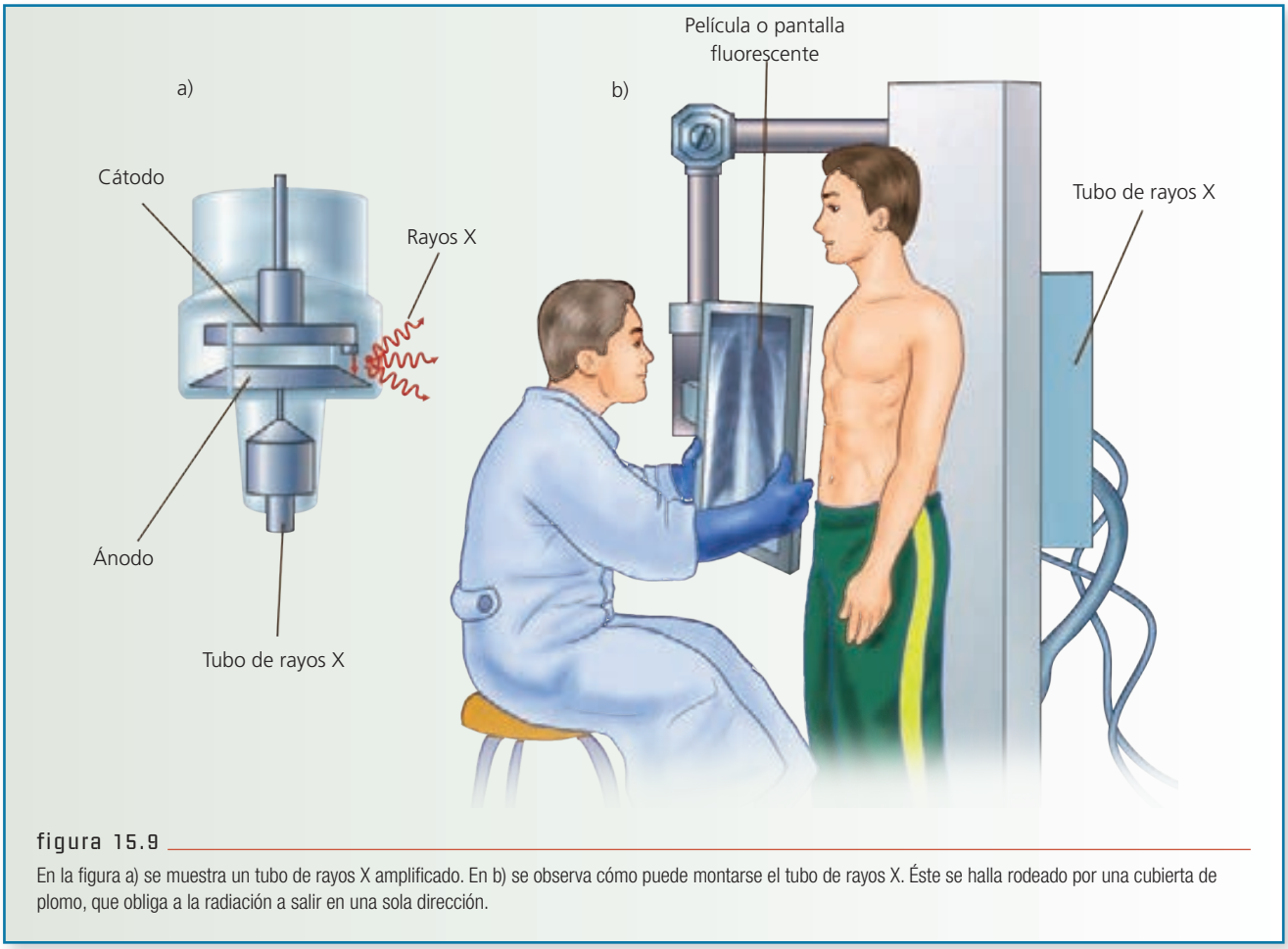


figura 15.9

En la figura a) se muestra un tubo de rayos X amplificado. En b) se observa cómo puede montarse el tubo de rayos X. Éste se halla rodeado por una cubierta de plomo, que obliga a la radiación a salir en una sola dirección.

3 Semiconductores

El amplio desarrollo de la electrónica y sus múltiples aplicaciones en diversos equipos y aparatos de gran utilidad, se debe al estudio de la Física del estado sólido. Ello ha permitido que enormes y complicados sistemas a base de tubos de vacío se reduzcan y simplifiquen mediante el uso de los semiconductores. El nombre de

semiconductor se le da a aquellas sustancias de conductibilidad eléctrica intermedia entre los conductores y los aislantes, y cuya resistencia eléctrica disminuye al aumentar su temperatura.

Sabemos que los metales son buenos conductores de la electricidad, ello se debe al enlace metálico. Dicho enlace está formado por electrones libres o por electrones apareados en movimiento, que en un momento dado pueden formar enlaces iónicos o covalentes, o encontrarse enlazados y después ya no. Debido a su inestabilidad electrónica y a lo débil de su enlace, los electrones de los átomos se desprenden fácilmente, lo cual hace a los metales buenos conductores.

Un cristal de cualquier metal tiene millones de átomos muy cerca unos de otros en una disposición ordenada. Como el número de niveles energéticos permitidos es grande, conviene hablar de bandas de energía (figura 15.10) en lugar de niveles discretos de energía.



figura 15.10

Diagrama de bandas de energía de un cristal de cualquier metal.

En la figura 15.10 los diferentes niveles de valencia forman la banda de valencia y en la banda de conducción quedan comprendidos los niveles de excitación de un átomo. Todas las sustancias pueden ser clasificadas en conductores, aislantes y semiconductores en función de la energía que requiere un electrón para pasar de la banda de valencia a la banda de conducción.

El diagrama de los niveles de energía de la figura 15.11 muestra las posiciones relativas de las bandas de energía en los conductores, semiconductores y aislantes.

Como se observa en la figura 15.11, en los conductores casi no hay separación entre la banda de valencia y la de conducción, por tanto, un electrón requiere poca energía para transitar de la banda de valencia a la de conducción. En los semiconductores la separación entre las dos bandas aumenta y un electrón requiere una mayor energía para pasar a la banda de conducción. En un aislante la energía que requiere un electrón para saltar de la banda de valencia a la banda de conducción es muy grande, aproximadamente 6×10^6 volts/metro.

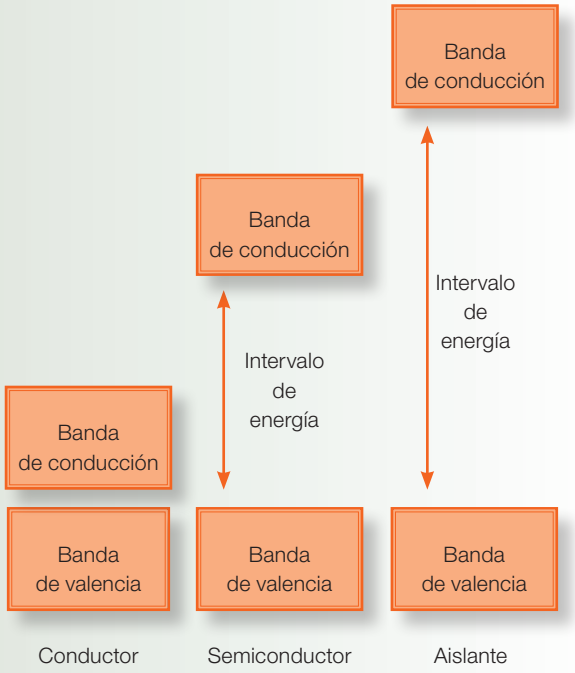


figura 15.11

Diagrama de niveles de energía.

Los materiales semiconductores pertenecen al grupo IV A de la tabla periódica y sus propiedades están

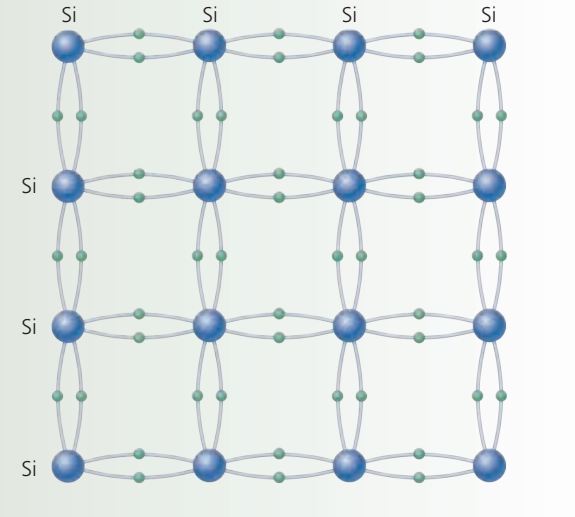


figura 15.12

Estructura simplificada de un cristal de silicio puro que muestra el enlace covalente entre sus átomos.

relacionadas con su estructura atómica. Tienen cuatro electrones en su última capa, por ejemplo: el germanio tiene 32 electrones distribuidos de la siguiente manera: 2 en el nivel de energía 1 o K; 8 en el nivel 2 o L; 18 en el nivel energético 3 o M y 4 electrones en el último nivel 4 o N. En el silicio sus 14 electrones están repartidos de la siguiente manera: 2 en el 1; 8 en el 2 y 4 en el 3. Cuando los cristales del germanio o del silicio comparten sus 4 electrones con otro átomo cercano, forman capas totalmente llenas con 8 electrones. Por eso, cuando un semiconductor es totalmente puro su comportamiento es el de un aislante. La estructura simplificada de un semiconductor puro, como es el caso del silicio, se muestra en la figura 15.12.

Semiconductores de tipos N y P

Un semiconductor totalmente puro no tiende a ceder o aceptar electrones y como no conduce la corriente eléctrica es por tanto un aislante. Sin embargo, un cristal puro, ya sea de germanio o de silicio, puede ser contaminado con pequeñas cantidades de impurezas. Ejemplo: si cristales de silicio son contaminados con arsénico que tiene 33 electrones distribuidos de la siguiente forma: 2 en el nivel 1, 8 en el nivel 2, 18 en el nivel 3 y 5 en su último nivel; existirá un electrón libre sin enlazar por cada átomo de arsénico, con libertad relativa para moverse dentro de la red cristalina, comportándose como un electrón libre. Ello permitirá que el silicio contaminado se convierta en un conductor de la corriente eléctrica (figura 15.13).

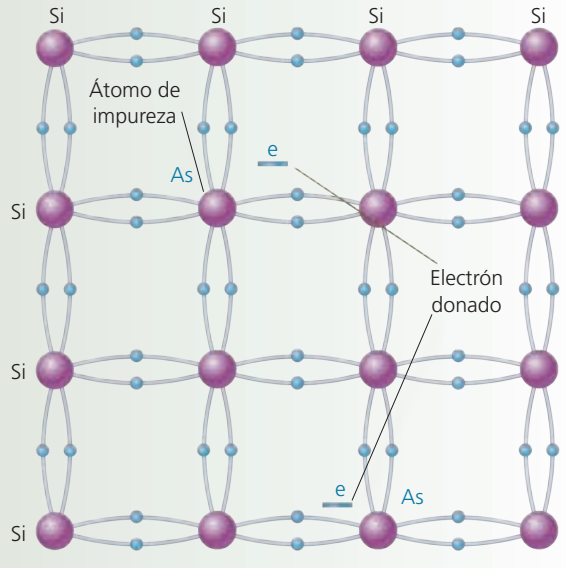


figura 15.13

Retículo cristalino de tipo N formado por átomos de silicio contaminados con arsénico, el cual es donador de un electrón libre.

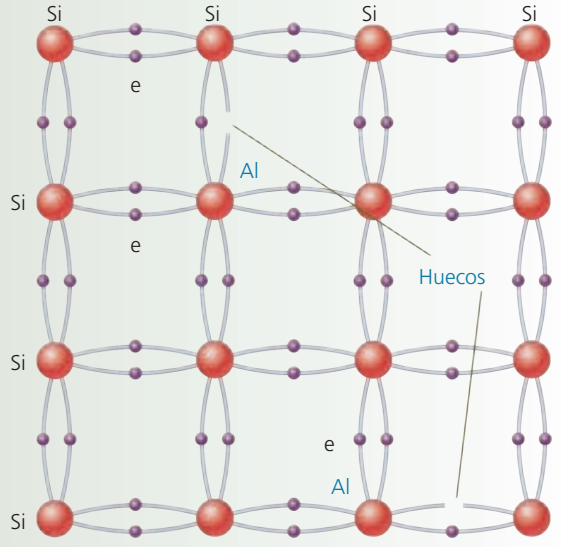


figura 15.14

Retículo cristalino de tipo P, formado por átomos de silicio contaminados con aluminio que es una impureza aceptora, por tanto, le deja un hueco o agujero, es decir, una deficiencia de un electrón.

Las impurezas que proporcionan electrones suplementarios reciben el nombre de donadores. Aquellos semiconductores contaminados con impurezas donadoras se transforman en conductores por la presencia de electrones libres y se les llama semiconductores de tipo N.

Cuando el silicio o el germanio son contaminados con una impureza como el aluminio o el indio que tienen 3 electrones en su último nivel de energía, la impureza deja al silicio con un hueco en su estructura (figura 15.14). Los huecos pueden considerarse con carga positiva, pues significan deficiencia de electrones.

Las impurezas que contribuyen con huecos en la red cristalina de un semiconductor reciben el nombre de aceptores. Cuando un semiconductor es contaminado con impurezas aceptoras, dichas impurezas le dejan agujeros en su estructura cristalina, por lo que se convierten en portadores y se les denomina semiconductores de tipo P. Como uno de éstos tiene portadores positivos, en presencia de una diferencia de potencial se desplazarán hacia el potencial negativo. Por el contrario, en un semiconductor de tipo N, los electrones libres se moverán hacia el potencial positivo. Así, un semiconductor de tipo N y un semiconductor de tipo P son eléctricamente opuestos.

Cuando se conecta un cristal de silicio contaminado con aluminio a una batería, los huecos pueden moverse dentro del cristal. Así, un electrón saltará al hueco y éste se desplazará a otro lugar que posteriormente será ocupado por otro electrón, de nueva cuenta el hueco se moverá y así sucesivamente.

4 Diodo de cristal

Una unión o empalme PN se presenta al poner en contacto dos semiconductores de los tipos P y N (figura 15.15). En la zona de contacto los electrones libres en el cristal N se esparcen en los huecos a través del límite, por lo cual se produce una diferencia de potencial entre los cristales que antes se encontraban neutros. Como los electrones han dejado el cristal N, esa parte tendrá un potencial positivo y el cristal P tendrá un potencial negativo al llenarse algunos huecos.
Cuando la unión PN, mostrada en la figura 15.15, está a una temperatura fija sin recibir luz, el miliamperímetro no detectará ninguna corriente. Ello se debe a la formación de potenciales inversos entre las extremidades del cristal, por tanto, no se presenta diferencia de potencial entre el punto 1 y 2.

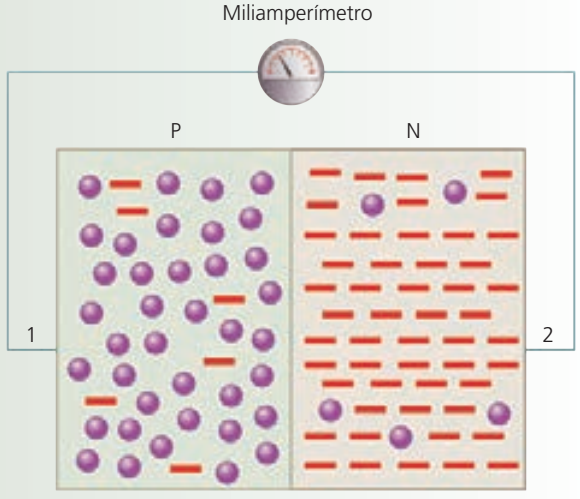


figura 15.15
Unión o empalme de semiconductores PN.

Al incidir un haz luminoso sobre la unión PN de la figura 15.15, se registrará con el multímetro una corriente eléctrica debido a que la luz al ser absorbida libera a los electrones adicionales y produce huecos. En este principio se basa el funcionamiento de una batería solar, la cual sólo trabaja al recibir energía luminosa.

Una unión o empalme de semiconductores PN puede funcionar como rectificador de corriente, si ésta fluye en un solo sentido al igual que un diodo de vacío, por ello se le llama diodo de cristal o simplemente diodo.

Al observar la figura15.16 se comprenderá el funcionamiento de un diodo rectificador de corriente, mediante la unión NP de semiconductores.

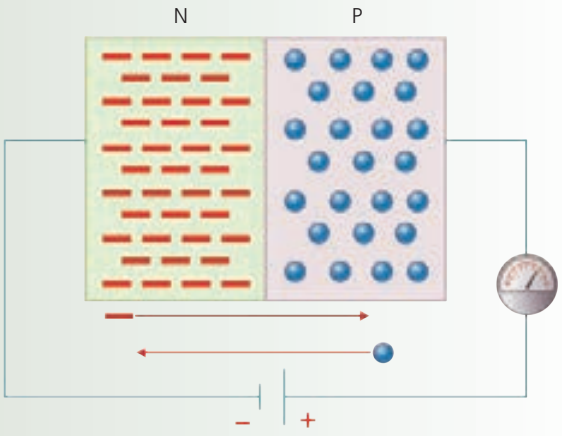


figura 15.16
Unión NP de semiconductores con polarización directa. Se registra una corriente eléctrica en un solo sentido.

En la figura 15.16 se tiene un circuito en el que se encuentran en contacto un semiconductor de silicio de tipo N y uno de tipo P. El primero se conecta a la terminal negativa de la pila y el segundo a la positiva. En estas condiciones los electrones y los huecos son obligados a moverse hacia el punto de unión de los semiconductores, y los electrones de la sección N saltan a los huecos de la sec-

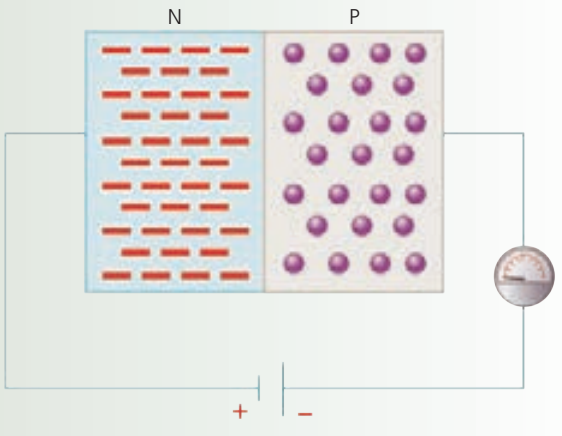


figura 15.17
Unión NP de semiconductores con polarización inversa. No se registra corriente en el miliamperímetro.

ción P, la cual genera una corriente eléctrica en un solo sentido. Cuando la unión NP se sujeta a una polaridad eléctrica como la descrita, se dice que está polarizada hacia adelante o con polarización directa.

Cuando la conexión con las terminales de la pila se cambia (figura 15.17), los electrones y los huecos son obligados a alejarse de la unión NP; en consecuencia, los electrones ya no cruzan el punto de unión, por lo que no se produce la corriente eléctrica. Una unión NP sometida a esta polaridad eléctrica está polarizada hacia atrás o con polarización inversa.

Toda vez que un diodo hecho con la unión NP permite el paso de la corriente sólo cuando tiene polarización directa, éste se utiliza para convertir una corriente alterna en directa lo que sustituye ventajosamente a un tubo rectificador o diodo de vacío.

5 Transistor

Un diodo semiconductor actúa como rectificador y un triodo semiconductor como amplificador denominado transistor. Básicamente éste es una especie de doble rectificador de contacto.

Existen dos tipos de transistores: el NPN y el PNP. La estructura de un transistor NPN se muestra en la siguiente figura:

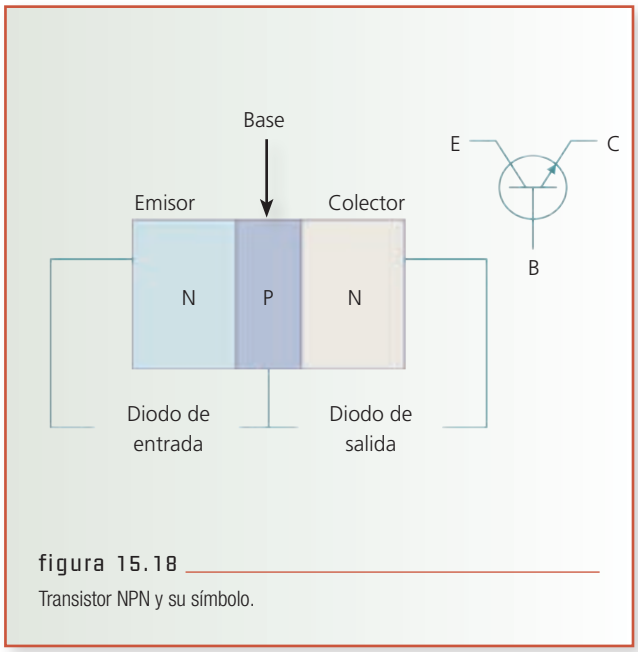


figura 15.18
Transistor NPN y su símbolo.

Como se ve en la figura 15.18 existen tres secciones unidas: una a la izquierda muy delgada que puede ser de silicio o germanio de tipo N llamada emisor; en medio una sección aún más delgada de tipo P nombrada base; y a la derecha otra sección N denominada colector. Un transistor puede tener el tamaño de la punta de un alfiler. Generalmente, los transistores se fabrican incrustados en plástico o en pasta. Para comprender el funcionamiento de un transistor observe la figura 15.19.

En la figura 15.19 se observa que el diodo de entrada emisor-base recibe una polarización directa y el diodo de salida base-colector, una polarización inversa. En el diodo de entrada los electrones del emisor se ven obligados a desplazarse hacia la base. Ésta, que es muy delgada, permite que los electrones pasen en su mayoría (95%) y lleguen al colector, el cual está influenciado por la atracción del polo positivo de la batería. Sólo un 5% de los electrones no llegan al colector y salen por la parte inferior de la base. La intensidad de la corriente del colector dependerá de la que tenga el emisor.

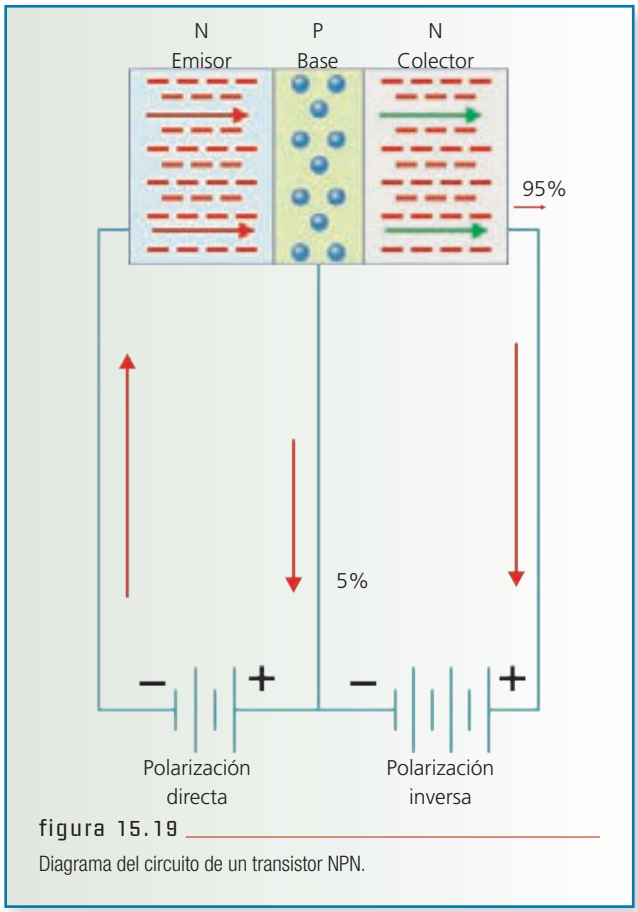


figura 15.19
Diagrama del circuito de un transistor NPN.

Si el transistor es del tipo PNP, la polaridad de las pilas se debe invertir a fin de obtener los mismos efectos que el de tipo NPN, aunque cabe señalar que el movimiento de los huecos sustituye al de los electrones.

Un transistor puede desempeñar todas las funciones de un tubo electrónico o tubo de vacío, pues sirve para rectificar o para amplificar la corriente. Para que un transistor amplifique la corriente, el diodo de entrada, es decir, emisor-base, debe conectarse a un alternador. Cuando las polaridades del alternador quedan en fase con las polaridades de la batería, la polarización directa del diodo de entrada será mayor al igual que la corriente del diodo de salida, por tanto, se ha amplificado la corriente.

Aunque los transistores y los tubos electrónicos tienen las mismas aplicaciones, existen grandes diferencias en su construcción y funcionamiento. Por ejemplo: mientras el tubo electrónico requiere para funcionar de una fuente térmica que caliente el cátodo, o sea, el emisor, y un tiempo para su calentamiento; el transistor no lo necesita. Otra diferencia es el tamaño, los transistores son muy pequeños comparados con los tubos electrónicos, es por ello que los aparatos hechos con transistores son compactos, no se calientan y son de baja potencia eléctrica; además, funcionan con bajos voltajes, resisten golpes y vibraciones por lo que son de larga duración. Sin embargo, una semejanza entre ambos es el comparar la función del emisor, base y colector de un transistor, con el cátodo, rejilla y placa de un tubo electrónico respectivamente (figura 15.20).

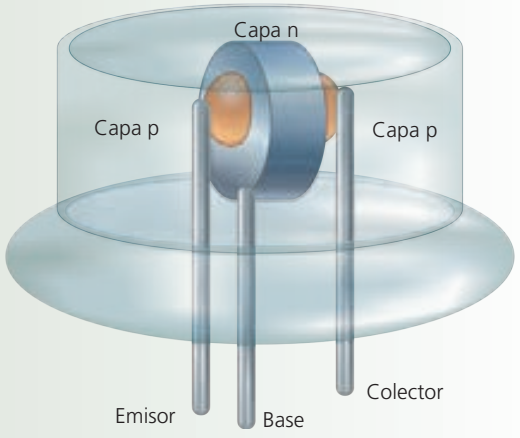


figura 15.20

El transistor está formado por tres capas de material semiconductor: emisor, base y colector.

A pesar que el transistor está sustituyendo en forma notable al tubo electrónico por sus múltiples ventajas, es difícil pensar que sea reemplazado en su totalidad, pues en ocasiones el tubo electrónico supera a los transistores. Tal es el caso del uso de altas potencias eléctricas, en las que es necesario resistir altas temperaturas y en donde las propiedades de los transistores se ven notablemente afectadas.

La parte activa de un transistor puede ser tan pequeña como la punta de un alfiler. No obstante, necesita hilos de enlace con otras partes del circuito y una cubierta que lo proteja del calor, motivo por el cual su tamaño aumenta. Mucho espacio es ahorrado al diseñar circuitos en los cuales transistores y otros dispositivos se encuentren integrados en un mismo bloque (figura 15.21).



figura 15.21

La pequeñez y escaso peso de los componentes electrónicos ha contribuido al desarrollo de los circuitos impresos.

6 Circuitos integrados y chips

Gracias al desarrollo del transistor durante las décadas de los cincuenta y sesenta del siglo xx, en los que su tamaño fue cada vez más pequeño, se inició el proceso de miniaturización de los conjuntos electrónicos. Surgen ahora en una segunda revolución industrial, los circuitos integrados (CI's). En dichos dispositivos se encuentran agrupados resistores, transistores, diodos, capacitores y otros elementos del circuito, en una pequeña capa soporte llamada sustrato hecha con base en silicio monocristalizado, fabricado mediante difusión de impurezas, para transformarlo en un material semiconductor (figura 15.22).

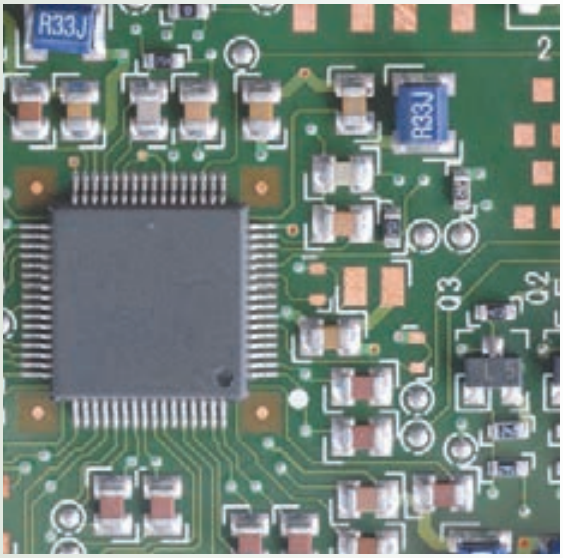


figura 15.22

En un circuito integrado se encuentran agrupados: resistores, transistores, diodos, capacitores y otros elementos del circuito.

Cientos de circuitos integrados iguales se fabrican en un mismo proceso en una oblea o placa circular cuyo diámetro es de unos cuantos centímetros. Posteriormente, la oblea se corta en circuitos integrados individuales a los que se les da el nombre de chips.

Existen circuitos integrados que suelen designarse de acuerdo con sus siglas en el idioma inglés y son SSI (*Small Scale Integration*) o integración a pequeña escala, que reúnen decenas de componentes; MSI (*Middle Scale Integration*) o integración a mediana escala, construida por cientos de componentes; y los circuitos integrados LSI (*Large Scale Integration*) o integración a gran escala, formados por decenas de miles de componentes en un cuadrado de silicio de un poco más de un centímetro de lado. De esta manera, cientos de estos circuitos integrados se pueden agrupar en una oblea de silicio cuyo diámetro varía de 8 a 15 cm. También se producen chips de silicio que contienen millones de componentes. Los componentes que integran un chip se interconectan utilizando películas delgadas hechas de metal o de algún material semiconductor y se separan del resto del circuito con capas de material aislante.

La combinación adecuada de circuitos integrados entre sí y con otros dispositivos, que se logra al montar los chips en cápsulas provistas de conductores eléctricos externos, de tal manera que se puedan insertar sin dificultad en una placa, ha facilitado la construcción de computadoras, calculadoras, relojes electrónicos, radios, televisores, reproductores de discos compactos, videocaseteras, satélites y mecanismos robots.

Al producirse en serie los circuitos integrados, se ha abaratado su costo y se ha reducido el tamaño de los equipos y su consumo de energía. Por ejemplo: las operaciones lógicas y matemáticas que realiza una computadora pequeña, se logran por medio de un solo chip VLSI (*Very Large Scale Integration*) o con integración a escala muy grande, que recibe el nombre de microprocesador. En la actualidad, las computadoras controlan procesos de producción en fábricas, viajes espaciales, son bancos importantes de información, se utilizan para la enseñanza en las escuelas, diseñan, hablan y han permitido el desarrollo de la robótica, lo cual ha reemplazado al hombre en tareas y trabajos monótonos de gran cuidado. Todo lo anterior, con la finalidad de mejorar nuestro nivel de vida (figura 15.23).

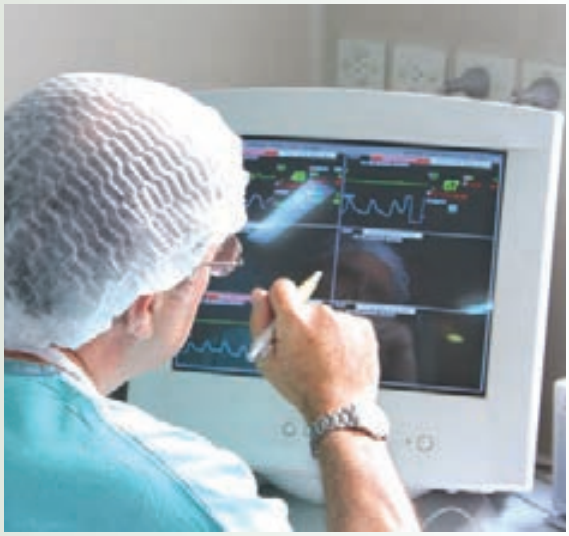


Fig. 15.23

El uso de la computadora se incrementa día con día, ya sea en la industria, el comercio, centros de investigación, escuelas, hospitales y el hogar.

Resumen

1. La *electrónica* es la parte de la Física aplicada a la tecnología que se encarga del diseño y aplicación de dispositivos, como son los circuitos electrónicos cuyo funcionamiento se basa en el flujo de electrones para la generación, transmisión, recepción y almacenamiento de la información. En la actualidad, el estudio y la aplicación de la electrónica ha originado una importante y próspera industria, con un campo de acción tan amplio que abarca todas las ciencias, ya sean puras o aplicadas.

2. Los principales fenómenos en que se basan los dispositivos electrónicos son: la *ionización* y los *rayos catódicos,* la conducción a través de sólidos cristalizados o semiconductores, el efecto fotoeléctrico, el efecto termoiónico y las corrientes electrolíticas.

3. El electrón junto con el protón y el neutrón son las tres partículas elementales que constituyen la materia. El electrón está dotado de la menor carga eléctrica posible de aislar. Todos los átomos tienen una o varias capas de electrones. La última capa es la más importante porque de ella dependen las propiedades químicas de un elemento, como su valencia. Las principales características físicas de un electrón son: **a)** Masa $= 9.11 \times 10^{-31}$ kg; **b)** Carga $= -1.6 \times 10^{-19}$ C. El electrón se descubrió gracias a cierta emisión de rayos que por provenir del electrodo negativo o cátodo se les denominó rayos catódicos. Joseph Thomson demostró que los rayos catódicos eran pequeñísimas partículas cargadas negativamente a las cuales nombró electrones.

4. Thomas A. Edison, físico estadounidense, fue un gran inventor y dentro de los numerosos aparatos eléctricos que fabricó destacan la *lámpara de incandescencia* o foco eléctrico, el fonógrafo, el micrófono y el cine sonoro. El origen de la electrónica se remonta a 1883, año en que se descubrió el efecto Edison. Dicho efecto o fenómeno de emisión termoiónica consiste en la emisión de electrones por el filamento de las lámparas de incandescencia. En 1904 Fleming utilizó el efecto Edison para inventar el primer tubo de vacío con un electrodo caliente y otro frío. Su principal característica era permitir el paso de una corriente eléctrica en un solo sentido. Se le dio el nombre de diodo de vacío o válvula electrónica. Un diodo conduce electrones desde el cátodo o emisor hasta el ánodo o colector. Como un diodo únicamente conduce electrones cuando el emisor está conectado a la terminal negativa de un circuito, se comporta como una válvula de electrones en un solo sentido. Por ello, se usa para transformar la corriente alterna en directa, proceso llamado rectificación de la corriente.

5. Un *triodo de vacío* tiene gran parecido a un diodo, pero su diferencia es que el colector y el emisor están más separados y entre ellos hay una pantalla metálica o bobina de alambre nombrada rejilla. El triodo realiza dos funciones que el diodo no puede hacer: amplifica la corriente y produce corrientes oscilatorias.

6. Actualmente, los tubos electrónicos han sido desplazados por otros dispositivos basados en materiales llamados semiconductores. De los primeros prácticamente sólo quedan en uso el tubo de rayos X y el tubo de rayos catódicos.

7. El estudio de la Física del estado sólido ha permitido que enormes y complicados sistemas con base en tubos de vacío, se reduzcan y simplifiquen mediante el uso de semiconductores. Los *semiconductores* son sustancias de conductibilidad eléctrica intermedia entre los conductores y los aislantes, cuya resistencia eléctrica disminuye al aumentar su temperatura.

8. Los *metales son buenos conductores de la electricidad,* debido a su enlace metálico, el cual se caracteriza por una gran inestabilidad electrónica y un enlace débil, por lo que los electrones se desprenden fácilmente. Como un cristal de cualquier metal tiene millones de átomos muy cerca unos de otros en una disposición ordenada, y el número de niveles energéticos permitidos es grande, conviene hablar de bandas de energía en lugar de niveles discretos de energía. Todas las sustancias pueden ser clasificadas en conductores, semiconductores y aislantes en función de la energía que requiere un electrón para pasar de la banda de valencia a la de conducción; en los semiconductores se necesita de una mayor energía para el salto a la banda de conducción, y en los aislantes la energía es muy alta, aproximadamente 6×10^6 volts/metro.

9. Los *materiales semiconductores* pertenecen al grupo IV A de la tabla periódica y sus propiedades están relacionadas con su estructura atómica. Tienen cuatro electrones en su última capa. Un semiconductor totalmente puro se comporta como un aislante.

10. Un *semiconductor puro,* ya sea de silicio o de germanio, puede ser contaminado con pequeñas impurezas. Ejemplo, el silicio puede ser contaminado con arsénico que tiene cinco electrones en su último nivel, debido a ello existirá un electrón libre sin enlazar por cada átomo de arsénico, lo cual permitirá que el silicio contaminado se convierta en conductor de la corrien-

te eléctrica. Las impurezas que proporcionan electrones suplementarios reciben el nombre de donadores. Aquellos semiconductores contaminados con impurezas donadoras, se transforman en conductores por la presencia de electrones libres y se les llama *semiconductores de tipo N*.

11. Cuando el silicio o el germanio se contaminan con impurezas de aluminio o de indio que tienen tres electrones en su último nivel de energía, la impureza deja al silicio con un hueco y se denomina *semiconductor de tipo P.*

12. Una unión o empalme PN se presenta al poner en contacto dos semiconductores P y N. Dicha unión puede funcionar como rectificador de corriente, si ésta fluye en un solo sentido al igual que lo hace un diodo de vacío; por ello se le llama *diodo de cristal* o simplemente diodo.

13. Un *diodo* actúa como rectificador y un *triodo* como amplificador llamado transistor. Básicamente éste es una especie de doble rectificador de contacto. Existen dos tipos de transistores: el PNP y el NPN. Este último tiene tres secciones unidas: una de tipo N llamada emisor, en medio una de tipo P denominada base y otra de tipo N que es el colector.

14. Un *transistor* puede desempeñar todas las funciones de un tubo electrónico, pues sirve para rectificar o amplificar la corriente. Sin embargo, las ventajas de un transistor sobre el tubo electrónico son muchas, entre ellas están las siguientes: **a)** No necesita una fuente térmica que caliente el cátodo o emisor ni un tiempo de calentamiento. **b)** Su tamaño es muy pequeño. **c)** No se calienta y son de baja potencia. **d)** Resiste golpes y vibraciones, por lo que son de larga duración. A pesar de lo anterior, en ocasiones el tubo electrónico supera al transistor, tal es el caso del uso de altas potencias eléctricas en las cuales es necesario resistir altas temperaturas y en donde las propiedades de los transistores se ven notablemente afectadas; debido a ello, es difícil pensar que los tubos electrónicos sean sustituidos totalmente por los transistores.

15. Mediante el diseño de los *circuitos integrados* (CI's) en los que los transistores y otros dispositivos se encuentran juntos en un mismo bloque, se logra un gran ahorro de espacio y otros CI's forman parte de varios aparatos como son: calculadoras, radios, televisores, reproductores de discos compactos y computadoras.

16. Cientos de circuitos integrados iguales se fabrican en un mismo proceso en una oblea o placa circular, cuyo diámetro es de unos cuantos centímetros. Posteriormente, la oblea se corta en circuitos integrados individuales a los que se les da el nombre de chips.

Autoevaluación

Escriba en su cuaderno las respuestas a las siguientes preguntas. Si se le presentan dudas al responder vuelva a leer la sección correspondiente del libro, la cual viene señalada al final de cada pregunta para su fácil localización.

1. Explique qué es para usted la electrónica. *(Introducción de la unidad 15)*
2. Dé el nombre de aparatos que utilice cotidianamente y cuyo funcionamiento esté basado en los principios y teorías de la electrónica. *(Introducción de la unidad 15)*
3. Señale las características más importantes del electrón y diga cómo se manifiesta. *(Sección1)*
4. Describa por medio de un dibujo, el experimento del tubo de rayos catódicos hecho por Crookes y señale cuáles fueron las características que se encontraron en los rayos catódicos. *(Sección 1)*
5. Explique el razonamiento de Thomson sobre la naturaleza de los rayos catódicos y describa cómo era el modelo atómico que proponía. *(Sección 1)*
6. Escriba cuál es el valor de la relación carga/masa, es decir, q/m del electrón, y cuál es su interpretación física. *(Sección 1)*
7. Mencione brevemente el experimento de la gota de aceite de Millikan para determinar la carga del electrón. *(Sección 1)*
8. Explique en qué consiste el efecto Edison o fenómeno de emisión termoiónica. *(Sección 2)*
9. Describa en qué consistió la válvula inventada por Fleming, cuál era su principal característica y qué contribuciones hizo al desarrollo de la electrónica. *(Sección 2)*
10. Mediante un dibujo explique cómo está constituido un diodo de vacío o válvula electrónica y cómo es su funcionamiento para rectificar la corriente. *(Sección 2)*
11. Señale las diferencias existentes entre un diodo de vacío y un triodo. *(Sección 2)*
12. Explique cómo está constituido un aparato de rayos X y para qué se utilizan éstos. *(Sección 2)*
13. Mencione cuál es la función principal de un osciloscopio. *(Sección 2)*
14. Describa qué es un semiconductor. *(Sección 3)*
15. ¿Cómo se interpreta el enlace metálico? *(Sección 3)*
16. Mediante el concepto de bandas de valencia y bandas de conducción, explique cómo pueden ser clasificadas las sustancias. *(Sección 3)*
17. Señale las propiedades de los semiconductores con base en su estructura atómica. *(Sección 3)*
18. ¿Por qué un semiconductor totalmente puro se comporta como un aislante? *(Sección 3)*
19. Explique cómo se obtiene un semiconductor de tipo N y uno de tipo P. *(Sección 3)*
20. Describa cómo se obtiene una unión PN y qué efectos produce un haz luminoso al incidir en dicha unión. *(Sección 4)*
21. Explique mediante un dibujo cómo actúa una unión PN como rectificador de corriente. *(Sección 4)*
22. Explique qué es un transistor y mencione los tipos de transistores. *(Sección 5)*
23. Dibuje las tres secciones que constituyen a un transistor. *(Sección 5)*
24. Señale cuáles son las principales ventajas de los transistores sobre los tubos electrónicos. *(Sección 5)*
25. Diga por qué los transistores no pueden sustituir totalmente a los tubos electrónicos. *(Sección 5)*
26. Explique qué es un circuito integrado y qué beneficios proporciona. *(Sección 5)*
27. Explique qué es un chip. *(Sección 5)*

Coevaluación

Instrucciones: Consolide su aprendizaje, para ello lea y conteste en una hoja las siguientes preguntas. Una vez contestadas, intercambie con un(a) compañero(a) sus respuestas. Coméntenlas, pónganse de acuerdo y den respuestas comunes. Discútanlas con las demás parejas y enriquezcan sus conocimientos con las aportaciones de todos.

1. ¿Qué dispositivos utiliza de manera frecuente en los cuales se aplican los conocimientos que el estudio de la electrónica ha proporcionado?
2. ¿Tiene idea de cómo es el funcionamiento de una computadora? Si es así descríbalo.
3. ¿Cómo describiría el tamaño y la constitución del átomo?
4. ¿Por qué es insignificante el peso de un electrón comparado con el peso de un protón?

Glosario

Bulbo, diodo de vacío o válvula electrónica

Su funcionamiento se fundamenta en el efecto Edison, ya que tiene un electrodo caliente y otro frío. Conduce electrones desde el cátodo o emisor hasta el ánodo o colector. Como únicamente conducen electrones cuando el emisor está conectado a la terminal negativa de un circuito, se comporta como una válvula de electrones en un solo sentido. Por ello, se usa para transformar la corriente alterna en directa, proceso llamado rectificación de corriente.

Circuito integrado

Dispositivo en el cual se encuentran agrupados resistores, transistores, diodos, capacitores y otros elementos de un circuito, en una pequeña capa soporte llamada sustrato, hecha con base en silicio monocristalizado.

Chip

Dispositivo constituido por circuitos integrados individuales, que reúnen desde decenas hasta decenas de miles de componentes en un cuadrado de silicio monocristalizado de un poco más de un centímetro de lado.

Diodo de cristal o simplemente diodo

Es una unión o empalme de semiconductores PN, funciona como rectificador de corriente al igual que un diodo de vacío o bulbo.

Efecto Edison

Se le conoce también como fenómeno de emisión termoiónica, consiste en la emisión de electrones por el filamento de las lámparas de incandescencia.

Electrónica

Es la parte de la Física aplicada a la tecnología que se encarga del diseño y aplicación de dispositivos, como son los circuitos electrónicos, cuyo funcionamiento se basa en el flujo de electrones para la generación, transmisión, recepción y almacenamiento de información. Dicha información puede ser por medio de radio, televisión o computadora.

Rayos catódicos

Se producen cuando se establece una diferencia de potencial entre dos electrodos o terminales metálicas colocadas en el interior de un tubo de vidrio en el cual hay un gas a baja presión. Cuando se produce la diferencia de potencial, el electrodo negativo o cátodo, emite lo que antiguamente se conoció con el nombre de rayos catódicos por desconocer su origen. Hoy se sabe que dichos rayos son partículas cargadas negativamente, es decir, son electrones.

Semiconductor

Sustancia de conductibilidad eléctrica intermedia entre los conductores y los aislantes, y cuya resistencia eléctrica disminuye al aumentar su temperatura.

Transistor

Es un triodo semiconductor, cuyo tamaño puede ser el de la punta de un alfiler, sirve para rectificar y amplificar la corriente eléctrica. Existen dos tipos, el NPN y el PNP.

Triodo

Dispositivo parecido a un diodo, su diferencia es que el colector y el emisor están más separados y entre ellos hay una pantalla metálica o bobina de alambre llamada rejilla. El triodo realiza dos funciones que el diodo no puede hacer: amplifica la corriente y produce corrientes oscilatorias.

UNIDAD 16

CONTENIDO

- Comportamiento dual de la luz
- Óptica geométrica
- Óptica física
- Actividad experimental 24: *Espejos planos y cóncavos*
- Resumen
- Autoevaluación
- Coevaluación
- Glosario

La **óptica** es la rama de la Física que estudia la luz y los fenómenos que produce. La luz se propaga por medio de ondas electromagnéticas en línea recta a una rapidez aproximada de 300 mil km/s en el vacío.

Para su estudio la óptica se puede dividir de la siguiente manera:

a) Óptica geométrica. Estudia fenómenos y elementos ópticos mediante el empleo de líneas rectas y geometría plana.

b) Óptica física. Estudia los fenómenos ópticos con base en la Teoría del Carácter Ondulatorio de la Luz.

c) Óptica electrónica. Trata los aspectos cuánticos de la luz.

Cuando la luz llega a la superficie de un cuerpo se **refleja** total o parcialmente en todas direcciones. Si la superficie es lisa como un espejo, los rayos se reflejan o rechazan en una sola dirección. La **refracción** de la luz consiste en la desviación que sufren los rayos luminosos cuando llegan a la superficie de separación entre dos sustancias o medios de diferente densidad.

Los **espejos esféricos** son casquetes de una esfera hueca, los cuales reflejan los rayos luminosos que inciden en ellos. Son cóncavos si la superficie reflectora es la inferior y convexos si la superficie reflectora es la exterior.

Las **lentes** son cuerpos transparentes, limitados por dos superficies esféricas o por una esférica y una plana. Las lentes se utilizan a fin de desviar los rayos luminosos con base en las leyes de la refracción. Se dividen en **convergentes y divergentes**.

Los espejos y lentes se utilizan para la fabricación de diferentes instrumentos ópticos de mucha utilidad, tales como la cámara fotográfica, el proyector de transparencias, el microscopio o el telescopio, entre otros. El telescopio, que es utilizado para observar a los astros, se remonta a principios del siglo XVII.

En la actualidad, existen en varios países centros de observaciones astronómicas llamados **observatorios**, entre ellos se encuentran los siguientes: Monte Wilson, Monte Palomar y Mama Ken, en EUA; el de Crimea, en la Federación Rusa; el de Calar Alto, en España; el de la Silla y Cerro Tololo en Chile. En nuestro país operan dos observatorios de investigación astronómica: el de **San Pedro Mártir**, que está situado sobre el kilómetro 103 de la carretera Tijuana-Ensenada, en el estado de Baja California, cuyo funcionamiento está a cargo de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); el otro es el Observatorio Astrofísico de **Cananea**, Sonora, que se localiza en la cima de una montaña en la Sierra de la Mariquita a 26 kilómetros de la ciudad de Cananea; su operación está a cargo del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). También se ha instalando en la cima del volcán La Negra, que se localiza en el estado de Puebla, cerca del Pico de Orizaba en el estado de Veracruz, uno de los mayores telescopios del mundo, mismo que es administrado por el INAOE y cuyo nombre es: **Gran Telescopio Milimétrico**. Con la ayuda de dicho telescopio se realizan importantes estudios acerca de la evolución de las estrellas y galaxias, así como el estudio del medio interestelar e intergaláctico.



Óptica

1 Comportamiento dual de la luz

Desde tiempos muy remotos, al hombre le ha inquietado saber qué es la luz y cuál es la causa por la que vemos las cosas.

En la antigüedad sólo se interpretaba a la luz como lo opuesto a la oscuridad. Más adelante, los filósofos griegos se percataron de la existencia de algo que relacionaba la distancia entre nuestros ojos, las cosas vistas y la fuente que las iluminaba. Pitágoras señalaba en su teoría: la luz es algo que emana de los cuerpos luminosos en todas direcciones, choca contra los objetos y rebota de ellos; cuando ésta penetra en nuestros ojos, produce la sensación de ver el objeto desde el cual rebotó. Epicuro de Samos, otro filósofo griego, señalaba: la luz es emitida por los cuerpos en forma de rayos, éstos al entrar al ojo estimulan el sentido de la vista.

A fines del siglo XVII existían dos teorías que trataban de explicar la naturaleza de la luz. Una era la **teoría corpuscular** de Isaac Newton, quien señalaba: la luz está constituida por numerosos corpúsculos o partículas emitidas por cualquier cuerpo luminoso, dichas partículas al chocar con nuestra retina nos permiten ver las cosas al recibir la sensación luminosa. La otra era la **teoría ondulatoria** propuesta por el holandés Christian Huygens, quien opinaba: la luz es un fenómeno ondulatorio semejante al sonido, por eso su propagación es de la misma naturaleza que la de una onda.

Las dos teorías anteriores explican satisfactoriamente las tres características de la luz que se habían descubierto hasta entonces (figura 16.1):



figura 16.1

Tres de las características de la luz son: propagación rectilínea, reflexión y refracción.

1. Propagación rectilínea, es decir, la luz viaja en línea recta.
2. Reflexión, cuando la luz incide en una superficie lisa, los rayos luminosos son rechazados o reflejados en una sola dirección y sentido, como lo hace un espejo.
3. Refracción, desviación que sufre la luz al llegar a la superficie de separación entre dos sustancias de diferente densidad.

Sin embargo, en 1801 se descubrió que la luz también presentaba el fenómeno de interferencia (ver unidad 10, sección: Interferencia de ondas), producido al superponerse en forma simultánea dos o más movimientos ondulatorios. El fenómeno de interferencia es una prueba contundente para comprobar si un movimiento es ondulatorio o no. En 1816 se encontró que la luz también se **difractaba** (fenómeno característico de las ondas), es decir, si una onda encuentra un obstáculo en su camino, lo rodea o lo contornea. Estos fenómenos permitieron la aceptación de la teoría de Huygens, pues la proposición de Newton no podía explicar estos fenómenos.

La pregunta obligada era: si la luz es una onda, ¿a qué tipo pertenece? Como las ondas necesitan de un medio para transmitirse, los físicos supusieron erróneamente, que dicho medio existía en todo espacio e incluso en el vacío y lo llamaron "éter".

En 1865 el físico escocés James Clerk Maxwell propuso que la luz está formada por ondas electromagnéticas como las de radio y radar, entre otras; esto permite su propagación, aun en el vacío, a una rapidez aproximada de 300 mil km/s. Ello ocasionó que en 1887 los físicos Michelson y Morley demostraran mediante el interferómetro ideado por Michelson, que no existía ningún éter envolviendo a la Tierra y, por tanto, no producían ningún arrastre sobre los rayos luminosos. Concluyeron que la magnitud de la velocidad de la luz es constante, independientemente del movimiento de la Tierra.

De lo anterior puede deducirse que la naturaleza de la luz es ondulatoria. No obstante, a fines del siglo XIX se descubre **el fenómeno fotoeléctrico, el cual consiste en la transformación de energía luminosa a energía eléctrica; cuando un rayo de luz de determinada frecuencia incide sobre una placa metálica, éste es capaz de arrancar de ella un haz de electrones generándose una corriente eléctrica.** Este fenómeno y el de dispersión o efecto Compton, producido cuando se hace perder energía a un haz de electrones de gran rapidez debido a que son frenados por el choque con la superficie de un metal, sólo pueden ser explicados si se considera que la luz está formada por partículas o corpúsculos y no por ondas. Ello, debido a que en estos fenómenos la luz se comporta como si estuviera formada por paquetes discretos de energía llamados **cuantos o quanta**, en el

caso particular de la luz se les denomina **fotones**. Estos últimos arrancan electrones de un metal (fenómeno fotoeléctrico) como si se tratara de corpúsculos en movimiento que chocan con los electrones en reposo.

Surge así nuevamente la pregunta: ¿es la luz una onda o son corpúsculos? **Actualmente se considera que la luz tiene una naturaleza dual, porque algunas veces se comporta como onda y en otras como partícula. En conclusión, la luz es una energía radiante transportada a través de fotones y transmitida por un campo ondulatorio,** por ello se requiere de la teoría corpuscular para analizar la interacción de la luz con la materia.

2 Óptica geométrica

La óptica geométrica se fundamenta en la teoría de los rayos de luz, la cual considera que cualquier objeto visible emite rayos rectos de luz en cada punto de él y en todas direcciones a su alrededor. Cuando estos rayos inciden sobre otros cuerpos pueden ser absorbidos, reflejados o desviados, pero si penetran en el ojo estimularán al sentido de la vista.

Propagación rectilínea de la luz

La luz se propaga en línea recta a una magnitud de velocidad aproximada de 300 mil km/s en el vacío. Una demostración experimental de este principio es el hecho de que los cuerpos produzcan sombras bien definidas. En la figura 16.2 se observa una cámara oscura que permite demostrar la propagación rectilínea de la luz.

Tipos de cuerpos: opaco, transparente y luminoso. Un cuerpo opaco es aquel que no permite el paso de la luz a través de él, por tanto, si recibe rayos luminosos proyectará una sombra definida. Un cuerpo transparente permite el paso de los rayos luminosos, por lo que se ve con claridad cualquier objeto colocado al otro lado de él. Un cuerpo translúcido deja pasar la luz, pero la difunde de tal manera que las cosas no pueden ser distinguidas claramente a través de él.

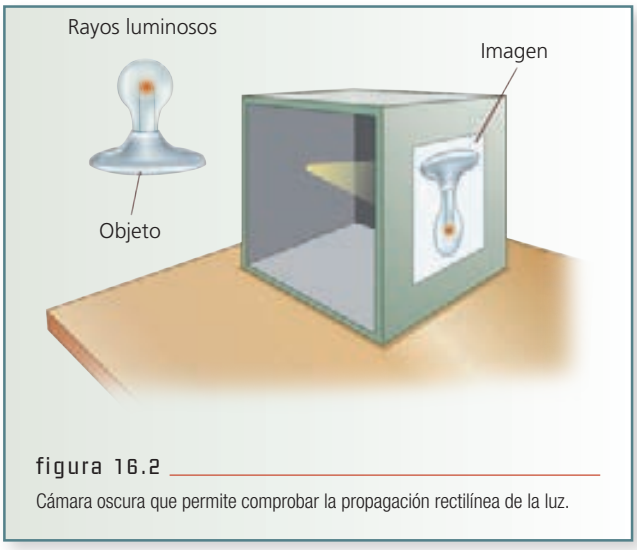


figura 16.2
Cámara oscura que permite comprobar la propagación rectilínea de la luz.

Métodos de Röemer y Michelson para determinar la rapidez o magnitud de la velocidad de la luz

El astrónomo danés Olaf Röemer (1647-1710) fue el primero en calcular la magnitud de la velocidad de la luz en forma muy aproximada. Su método consistió en observar al planeta Júpiter y a sus satélites. Encontró que uno de ellos se eclipsaba atrás de él cada 42.5 horas, pero cuando la Tierra estaba en su punto más alejado de Júpiter, el eclipse se retrasaba 22 minutos, es decir, 1 320 segundos. Röemer concluyó que el retraso se debía al tiempo en el cual la luz atravesaba la órbita terrestre que es de 3×10^8 km/s (figura 16.3). Al dividir el diámetro de la órbita terrestre entre el tiempo de retraso, encontró una magnitud de la velocidad de la luz muy aproximada, equivalente a 227 272 km/s. Sin embargo, en esa época no le dieron crédito a su determinación, pues otros científicos consideraban desproporcionada esta magnitud.

En 1907, el físico estadounidense de origen polaco Alberto Michelson (1852-1931) obtuvo el Premio Nóbel de Física por haber calculado con mucha exactitud la magnitud de la velocidad de la luz. Su método consistió

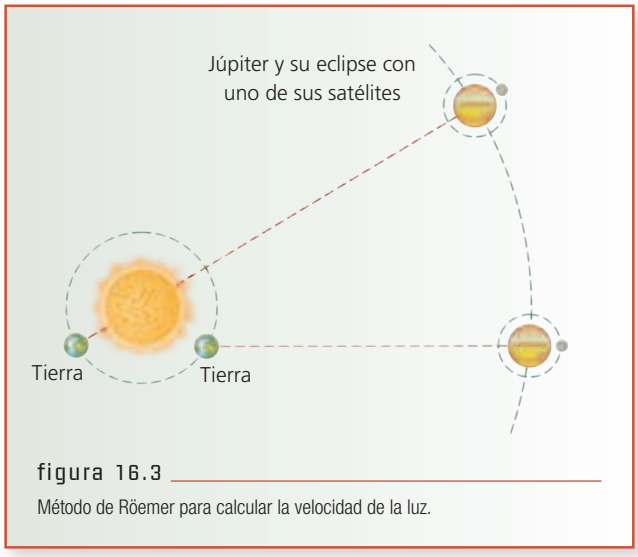


figura 16.3
Método de Röemer para calcular la velocidad de la luz.



figura 16.4

Método de Michelson para determinar la magnitud de la velocidad de la luz.

en disponer ocho espejos planos para formar un prisma octagonal regular, el cual reflejaba la luz y giraba a velocidades angulares muy grandes, previamente determinadas (figura 16.4).

En la figura 16.4 vemos que un rayo luminoso muy intenso incide en el espejo plano número 1, se refleja y llega al espejo esférico B hallado a una distancia aproximada de 35.4 km; nuevamente es reflejado, ahora por el espejo esférico y regresa para ser reflejado por el espejo plano número 3. Finalmente, el rayo es observado mediante un anteojo. Para determinar la magnitud de la velocidad de la luz, los espejos planos deben girar 1/8 de vuelta mientras el rayo luminoso se mueve de A a B y regresa a C.

Conociendo la distancia que hay entre el punto A y B multiplicada por dos, dividimos esa distancia en 1/8 del tiempo que tarda el prisma octagonal en dar una vuelta completa, con la cual se podrá determinar la magnitud de la velocidad de la luz. Michelson la calculó en 299705.5 km/s, cantidad aproximada a 300 mil km/s. Para tener una idea del significado de la cifra anterior, que es la magnitud de la velocidad máxima o magnitud de velocidad límite en el Universo, basta considerar que un rayo luminoso es capaz de darle siete vueltas y media a la Tierra en un segundo.

Intensidad luminosa y flujo luminoso

La fotometría es la parte de la óptica cuyo objetivo es determinar las intensidades de las fuentes luminosas y las iluminaciones de las superficies.



figura 16.5

Una candela equivale a 1/60 de la intensidad luminosa que emite 1 cm^2 de un cuerpo negro a la temperatura de fusión del platino.

Al observar todas las cosas de nuestro alrededor, encontraremos que algunas de ellas emiten luz y otras la reflejan. A los cuerpos productores de luz, como el Sol, un foco, una hoguera o una vela, se les nombra cuerpos luminosos o fuentes de luz. A los cuerpos que reciben rayos luminosos, como es el caso de un árbol, una mesa, una piedra, una pelota, tú mismo, etc., se les denomina cuerpos iluminados. La intensidad luminosa es la cantidad de luz producida o emitida por un cuerpo luminoso. Para cuantificar la intensidad luminosa de una fuente de luz, se utiliza en el SI la candela (cd) y en el CGS la bujía decimal (bd).

Una candela equivale a 1/60 de la intensidad luminosa que emite 1 cm^2 de un cuerpo negro (figura 16.5), a la temperatura del punto de fusión del platino (1 773°C).

Una bujía decimal equivale a la intensidad luminosa producida por una vela de 2 cm de diámetro, cuya llama es de 5 cm de altura. Una intensidad luminosa de una candela, equivale a una intensidad luminosa de una bujía decimal: 1 cd = 1 bd.

El flujo luminoso es la cantidad de energía luminosa que atraviesa en la unidad de tiempo una superficie normal (perpendicular) a los rayos de luz. La unidad del flujo luminoso en el SI es el lumen (lu). Un lumen es el flujo luminoso recibido durante un segundo por una superficie de 1 m^2, limitada dentro de una esfera de 1 m de radio y en cuyo centro se encuentra una fuente con una intensidad luminosa de una candela (figura 16.6).

Iluminación y ley de la iluminación

Una superficie está iluminada cuando recibe una cierta cantidad de luz. Es muy importante para nuestra salud, contar con una iluminación adecuada según la actividad que vayamos a realizar. Por ejemplo, hacer ejercicio a plena luz solar por un espacio de tiempo no muy

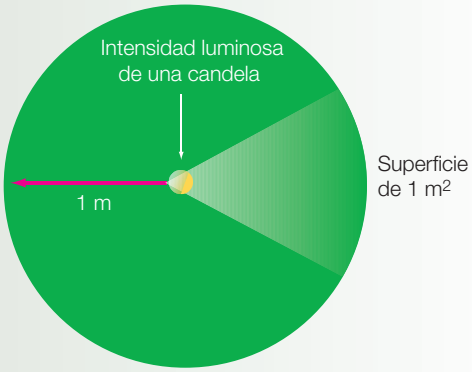


figura 16.6

Flujo luminoso equivalente a un lumen.

grande resulta benéfico para el organismo; sin embargo, leer con los rayos luminosos emitidos directamente por el Sol es nocivo para la salud.

La iluminación es la cantidad de luz que reciben las superficies de los cuerpos, su unidad de medida es el lux (lx). Un lux es la iluminación producida por una candela o una bujía decimal sobre una superficie de 1 m^2 que se encuentra a 1 m de distancia.

$$1 \text{ lux} = \frac{1 \text{ candela}}{m^2} = \frac{1 \text{ bujía decimal}}{m^2}$$

Como sabemos, los focos incandescentes con filamento de wolframio utilizados en los hogares, producen una iluminación que depende de su potencia medida en watts. La equivalencia entre una potencia de un watt en un foco y la intensidad luminosa producida es aproximadamente igual a:

1 watt = 1.1 candelas = 1.1 bujía decimal

Por tanto, un foco de 40 watts equivale a 44 candelas o bujías decimales; uno de 60 watts, a 66 cd o 66 bd.

La ley de la iluminación o ley inversa del cuadrado es una consecuencia de la propagación en línea recta de la luz. Por ejemplo: al colocar un foco de 40 watts a una distancia de 1 m de la superficie de una mesa, se produce una cierta iluminación sobre ella. Si después elevamos el foco a una distancia de 2 m, observaremos que la iluminación de la superficie de la mesa se ha reducido a la cuarta parte de la anterior. Finalmente, si triplicamos la distancia colocando el foco a 3 m de la mesa, la iluminación que recibe equivale a la novena parte de la inicial. Por tanto, podemos enunciar dicha ley en los siguientes términos: la iluminación E que recibe una superficie es directamente proporcional a la intensidad de la fuente luminosa I, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia d que existe entre la fuente y la superficie (figura 16.7). Matemáticamente se expresa como:

$$E = \frac{I}{d^2}$$

donde:

E = iluminación expresada en lux (lx)

I = intensidad de la fuente luminosa calculada en candelas (cd)

d = distancia entre la fuente luminosa y la superficie medida en metros (m)

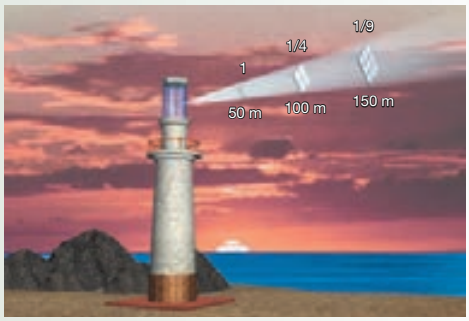


figura 16.7

Ley de la iluminación o ley inversa del cuadrado. Al duplicarse la distancia, la iluminación se reduce 1/4 y al triplicarse, la iluminación se reduce 1/9.

Resolución de problemas de la ley de la iluminación

1 Calcular la iluminación que produce una lámpara eléctrica de 300 candelas a una distancia de 2.5 metros.

Solución:

Datos

E = ?

I = 300 cd

d = 2.5 m

Fórmula

$$E = \frac{I}{d^2}$$

Sustitución y resultado

$$E = \frac{300 \text{ cd}}{(2.5 \text{ m})^2} = 48 \text{ lux}$$

2 ¿Cuál es la iluminación medida en lux que produce un foco de 60 watts sobre una mesa hallada a 2 m de distancia?

Solución:

Datos

$E = ?$

$P = 60$ W

$d = 2$ m

Fórmula

$$E = \frac{I}{d^2}$$

Transformación de unidades

$$60\ W \times \frac{1.1\ \text{cd}}{1\ \text{W}} = 66\ \text{cd}$$

Sustitución y resultado

$$E = \frac{66\ \text{cd}}{(2\ \text{m})^2} = 16.5\ \text{lx}$$

3 La iluminación que produce una lámpara de alumbrado público es de 3.8 lx a una distancia de 12 m. ¿Cuál es la intensidad luminosa de la lámpara?

Solución:

Datos

$E = 3.8$ lx

$d = 12$ m

$I = ?$

Fórmula

$$E = \frac{I}{d^2} \quad \therefore \quad I = Ed^2$$

Sustitución y resultado

$$I = 3.8\frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \times (12\text{m})^2 = 547.2\ \text{cd}$$

4 Calcular la distancia a la que debe colocarse una lámpara eléctrica de 200 cd para que produzca sobre una mesa una iluminación de 50 lx.

Solución:

Datos

$d = ?$

$I = 200$ cd

$E = 50$ lx

Fórmula

$$E = \frac{I}{d^2} \quad \therefore \quad d = \sqrt{\frac{I}{E}}$$

Sustitución y resultado

$$d = \sqrt{\frac{200\ \text{cd}}{50\ \text{cd/m}^2}} = 2\ \text{m}$$

Ejercicios propuestos

1. Determine la iluminación producida por una lámpara eléctrica de 550 cd a una distancia de 5 m.
2. ¿Qué iluminación en lx produce un foco de 100 W sobre una pared que se encuentra a 3 m de distancia?
3. Calcular en watts la intensidad luminosa de un foco que produce una iluminación de 36.6 lx a una distancia de 1.5 m.
4. ¿A qué distancia debe colocarse una lámpara eléctrica de 1000 W para que produzca sobre una superficie una iluminación de 100 lx?

Leyes de la reflexión de la luz

Cuando la luz llega a la superficie de un cuerpo, ésta se refleja total o parcialmente en todas direcciones. Si la superficie es lisa como en un espejo, los rayos son reflejados o rechazados en una sola dirección y sentido.

Toda superficie que refleja los rayos de luz recibe el nombre de espejo. Ejemplos son el agua de una alberca o un lago, o los espejos de cristal que pueden ser planos o esféricos. Un espejo común como los utilizados en casa o en los automóviles, consta de una pieza de cristal a la cual se le deposita una capa delgada de plata en una de sus caras y para proteger dicha capa se recubre con pintura. Al rayo de luz que llega al espejo se le nombra incidente y al rayo rechazado por él se le llama reflejado.

Existen dos leyes de la reflexión propuestas por Descartes y son:

1. El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado se encuentran en un mismo plano.
2. El ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia.

En la figura 16.8 se representan dichas leyes; A — B representa la superficie del espejo; N — N′ es una línea imaginaria perpendicular a la superficie reflectora en el punto donde incide el rayo de luz y recibe el nombre de **normal**; *I* es el rayo incidente; *R* es el rayo reflejado; *i* es el ángulo de incidencia; *r* es el ángulo de reflexión, y *O* es el punto donde incide el rayo *I*.

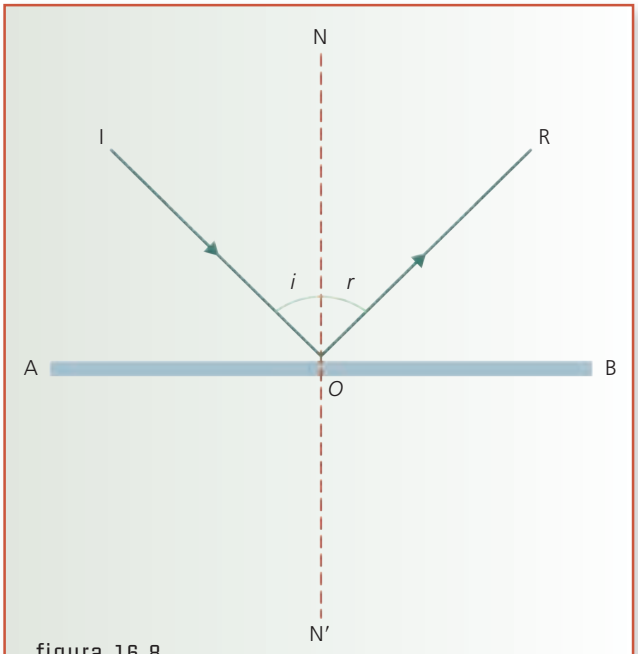


figura 16.8

Representación gráfica de las dos leyes de la reflexión.

Cuando estamos frente a un espejo plano nuestra imagen es derecha porque conserva la misma posición; es virtual porque se ve como si estuviera dentro del espejo (la imagen real es la que se recibe en una pantalla), y es simétrica porque aparentemente está a la misma distancia de la del espejo. También si movemos el brazo derecho, en nuestra imagen parece que movimos el izquierdo; ello se debe a la propiedad que tienen todos los espejos planos y cuyo nombre es inversión lateral.

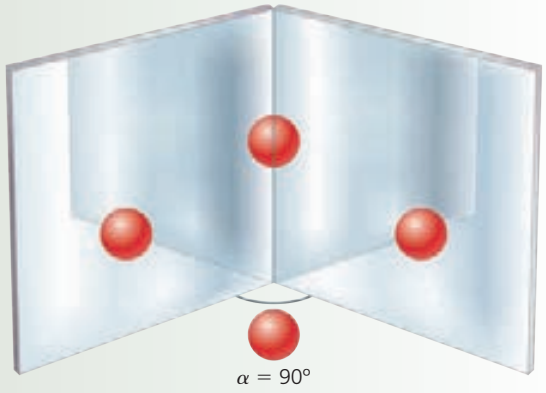


figura 16.9

Imágenes formadas de un objeto en dos espejos planos que forman un ángulo de 90°.

Se forman espejos planos angulares cuando se unen dos espejos planos por uno de sus lados formando un cierto ángulo. Al colocar un objeto en medio de ellos se observará un número N de imágenes, éste dependerá de la medida del ángulo. Para calcular el número de imágenes que se producirán en dos espejos planos angulares como los de la figura 16.9 se usa la expresión:

$$N = \frac{360°}{\alpha} - 1$$

donde:

N = número de imágenes que se forman

α = ángulo que forman entre sí los espejos planos

Resolución de un problema de reflexión de la luz

¿Cuántas imágenes se observarán de un objeto al ser colocado en medio de dos espejos planos que forman un ángulo de 60°?

Solución:

Datos

$N = ?$

Fórmula

$$N = \frac{360°}{\alpha} - 1$$

$\alpha = 60°$

Sustitución y resultado

$$N = \frac{360°}{60°} - 1 = 5 \text{ imágenes}$$

Espejos esféricos

Los espejos esféricos son casquetes de una esfera hueca, los cuales reflejan los rayos luminosos que inciden en ellos. Son cóncavos si la superficie reflectora es la interior, y convexos si la superficie reflectora es la exterior (figura 16.10).

Los elementos principales de un espejo esférico se muestran en la figura 16.11.

En la figura 16.11, C representa el centro de curvatura, es decir, el centro de la esfera; V es el vértice o punto donde el eje principal hace contacto con el espejo; el eje principal es la recta que pasa por V y C; el eje secundario es cualquier recta que pasa por C; F es el foco o punto del eje principal en que coinciden los rayos reflejados

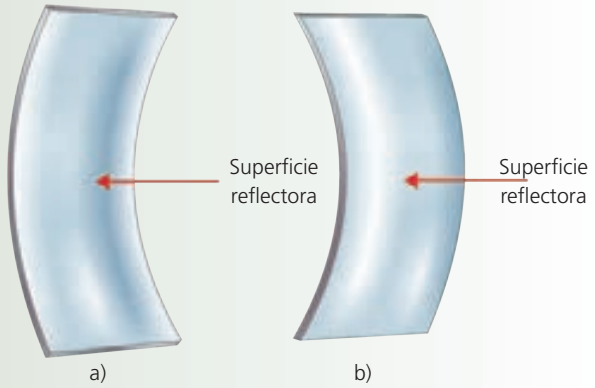


figura 16.10

En la figura a) se representa un espejo cóncavo; en la b), uno convexo.

y se encuentra a la mitad del radio; VF es la distancia focal y representa la distancia existente entre el vértice y el foco o entre el foco y el centro de curvatura.

Para construir gráficamente la imagen de un objeto colocado frente a un espejo esférico, utilizaremos las propiedades de los rayos fundamentales descritas en las figuras 16.12, 16.13 y 16.14, y haremos que se corten cuando menos dos de ellos, de tal manera que en el punto de intersección de los dos rayos, encontremos dónde se formará la imagen del objeto (figura 16.15).

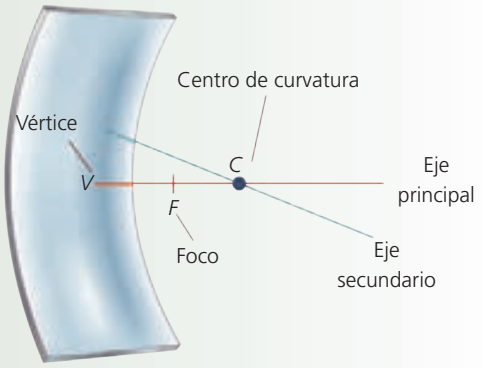


figura 16.11

Elementos principales de un espejo esférico.

Con base en los rayos fundamentales encontraremos las características de la imagen de un objeto al colocarse después del centro de curvatura en un espejo cóncavo (figura 16.15).

De acuerdo con la figura 16.15, las características de la imagen son: real, porque se recoge en una pantalla y es invertida; de menor tamaño que el objeto; se forma entre el foco y el centro de curvatura.

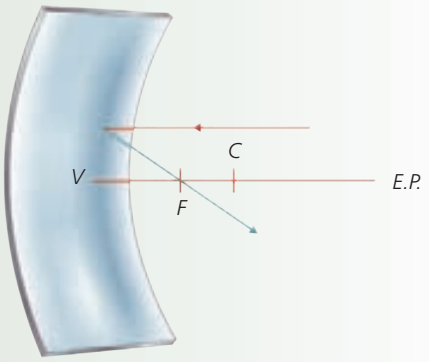


figura 16.12

Rayo fundamental: un rayo paralelo al eje principal al reflejarse pasa por el foco.

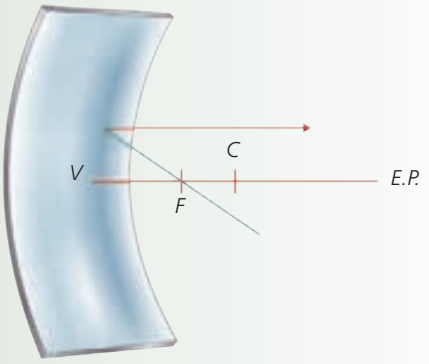


figura 16.13

Rayo fundamental; un rayo que pasa por el foco al reflejarse lo hace paralelamente al eje principal.

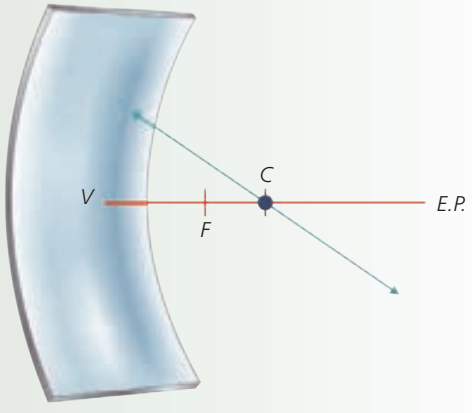


figura 16.14

Rayo fundamental: un rayo que pasa por el centro de curvatura se refleja en su misma dirección.

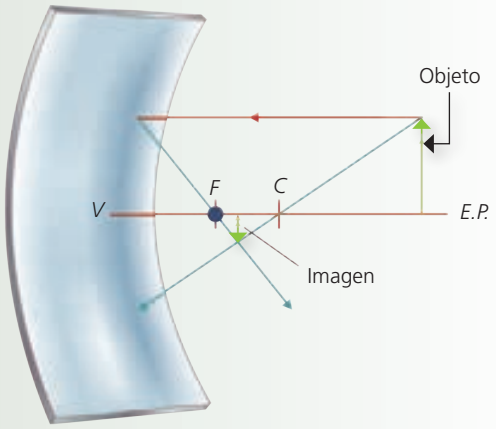


figura 16.15

Imagen formada de un objeto colocado después del centro de curvatura en un espejo esférico cóncavo.

Cuando un objeto se coloca frente a un espejo esférico cóncavo entre el foco y el centro de la curvatura, la imagen que se obtiene de él será: real y, por tanto, invertida; de mayor tamaño que el objeto y se formará después del centro de curvatura. Si el cuerpo se coloca entre el foco y el vértice, la imagen obtenida de él será virtual, porque se ve aparentemente dentro del espejo; derecha y de mayor tamaño que el objeto. Finalmente, si se le ubica con exactitud en el foco del espejo, no se obtendrá ninguna imagen.

En la figura 16.16 se observan las características de la imagen de un objeto al colocarse frente a un espejo convexo en cualquier punto de él. Dichas características de la imagen son: virtual, pues se ve aparentemente dentro del espejo; derecha y de menor tamaño que el cuerpo.

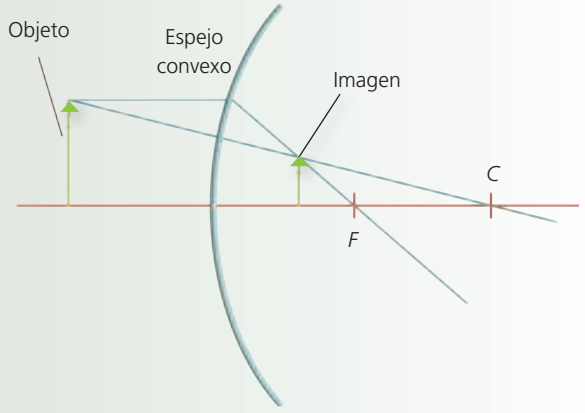


figura 16.16

Imagen formada de un objeto que se coloca frente a un espejo esférico convexo.

Debido a las características de la imagen que se forma de un espejo esférico convexo, se utilizan en los espejos retrovisores de los autobuses y en las entradas y salidas de un estacionamiento, avenidas y viaductos muy transitados.

Refracción de la luz

La refracción de la luz consiste en la desviación que sufren los rayos luminosos cuando llegan a la superficie de separación entre dos sustancias o medios de diferente densidad. Si éstos inciden perpendicularmente a la superficie de separación de las sustancias, no se refractan. La causa que origina la refracción de la luz es el cambio en la magnitud de la velocidad de los rayos luminosos al penetrar a un medio de diferente densidad. Los rayos oblicuos que llegan a la superficie de separación entre dos medios se llaman incidentes y los que se desvían al pasar por ésta se les nombra refractados.

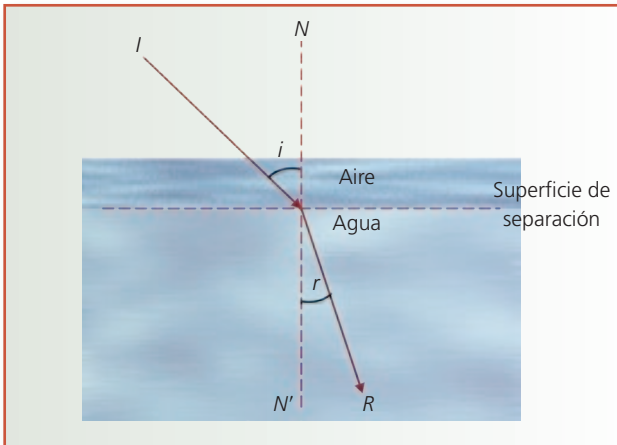


figura 16.17

Cuando un rayo luminoso pasa de un medio menos denso (aire) a otro más denso (agua) se acerca a la normal.

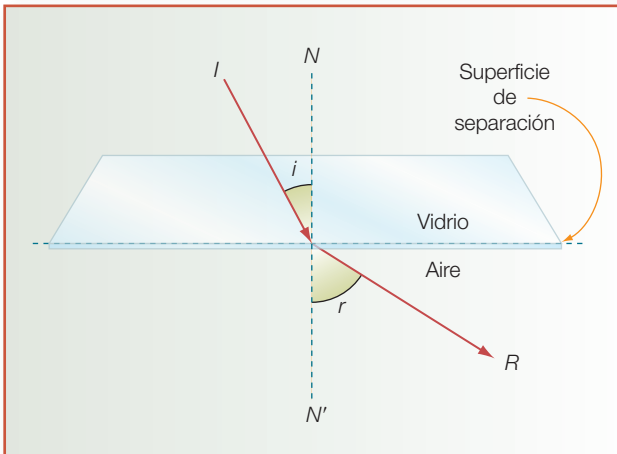


figura 16.18

Cuando un rayo luminoso pasa de un medio más denso (vidrio) a otro menos denso (aire) se aleja de la normal.

La desviación sufrida por un rayo luminoso dependerá del medio al cual pasa. A mayor densidad, el rayo se acerca a la normal y si el medio tiene una menor densidad, se aleja de ella (figuras 16.17 y 16.18).

Leyes de la refracción

Primera ley: el rayo incidente, la normal y el rayo refractado se encuentran siempre en el mismo plano (figuras 16.17 y 16.18).

Segunda ley: para cada par de sustancias transparentes, la relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción, tiene un valor constante que recibe el nombre de índice de refracción *n*. Matemáticamente esta ley se expresa:

$$n = \frac{\operatorname{sen} i}{\operatorname{sen} r}$$

La segunda ley se conoce también como ley de Snell, por ser el astrónomo y matemático holandés **Willebrord Snell** (1591-1626), quien la descubrió. El índice de refracción también puede calcularse con el cociente de las magnitudes de las velocidades del primero y segundo medios, por lo que:

$$n = \frac{\operatorname{sen} i}{\operatorname{sen} r} = \frac{v_1}{v_2}$$

donde: n = índice de refracción (adimensional)
i = ángulo de incidencia
r = ángulo de refracción
v_1 = magnitud de la velocidad de la luz en el primer medio en km/s
v_2 = magnitud de la velocidad de la luz en el segundo medio en km/s

La magnitud velocidad de la luz en el vacío es de 300 mil km/s, mientras que en el aire es de 299 030 km/s y en el agua es de 225 mil km/s. La relación entre las magnitudes de las velocidades de la luz en el vacío y en un medio, recibe el nombre de índice de refracción del medio. En el cuadro 16.1 se dan algunos valores de dicho índice.

cuadro 16.1 Índices de refracción

Sustancia	Índice de refracción *n*
Aire	1.003
Agua	1.33
Alcohol	1.36
Vidrio	1.5
Diamante	2.42

Como se observa en el cuadro 16.1 el índice de refracción para el aire casi es igual a 1; por ello, se considera que las magnitudes de las velocidades de la luz en el aire y en el vacío son prácticamente iguales.

Resolución de un problema de refracción

Un rayo luminoso llega a la superficie de separación entre el aire y el vidrio, con un ángulo de incidencia de 60°.

Calcular:

El ángulo de refracción.

Solución:

Datos

$\sphericalangle i = 60°$

$\sphericalangle r = ?$

$n_{\text{vidrio}} = 1.5$

Fórmula

$$n = \frac{\operatorname{sen} i}{\operatorname{sen} r} \quad \therefore \quad \operatorname{sen} r = \frac{\operatorname{sen} i}{n}$$

Sustitución y resultado

$$\operatorname{sen} r = \frac{\operatorname{sen} 60°}{1.5}$$

$$\operatorname{sen} r = \frac{0.8660}{1.5} = 0.5773$$

r = ángulo cuyo seno es 0.5773

$r = 35°$

Nota: El ángulo de refracción al ser menor que el de incidencia, significa que el rayo refractado se acerca a la normal, pues pasó a un medio de mayor densidad.

Las lentes y sus características

Las lentes son cuerpos transparentes limitados por dos superficies esféricas o por una esférica y una plana. Las lentes se emplean a fin de desviar los rayos luminosos con base en las leyes de la refracción, para su estudio se dividen en convergentes y divergentes.

Las lentes convergentes son aquellas cuyo espesor va disminuyendo del centro hacia los bordes, razón por la cual su centro es más grueso que sus orillas. Tienen

la propiedad de desviar los rayos hacia el eje y hacerlos converger en un punto llamado foco (figura 16.19).

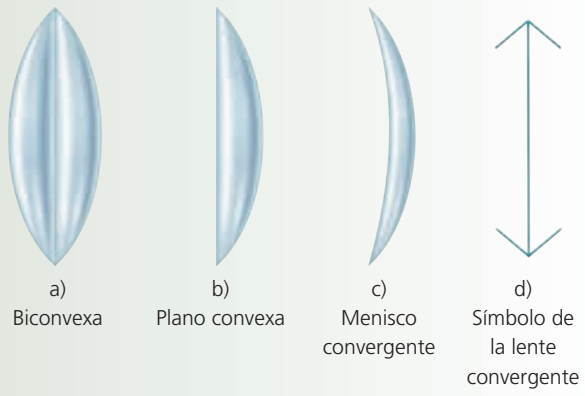


figura 16.19

Tipos de lentes convergentes o lentes positivas y su símbolo.

En las lentes divergentes el espesor disminuye de los bordes hacia el centro, por lo que los extremos son más gruesos y desvían los rayos hacia el exterior, alejándolos del eje óptico de la lente (figura 16.20).

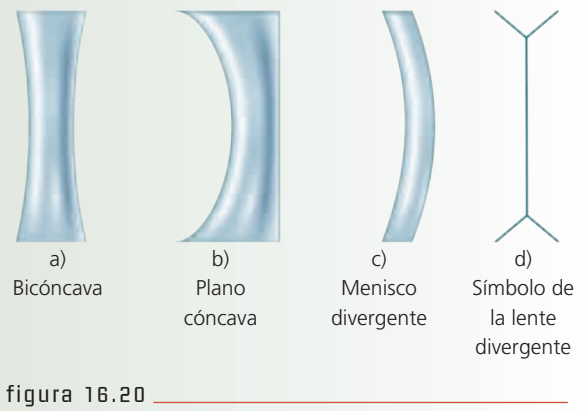


figura 16.20

Tipos de lentes divergentes o lentes negativas y su símbolo.

Las lentes convergentes se utilizan para obtener imágenes reales de los objetos, tal es el caso de las cámaras fotográficas o proyectores de cine; como parte de los sistemas amplificadores de imágenes ópticas en los microscopios; o bien, para corregir defectos visuales de las personas hipermétropes en cuyo caso el ojo se caracteriza porque los rayos paralelos al eje forman su foco detrás de la retina. Las lentes divergentes se utilizan para corregir la miopía.

En la figura 16.21 vemos las principales partes de una lente: E. P. eje principal, recta que pasa por el centro óptico

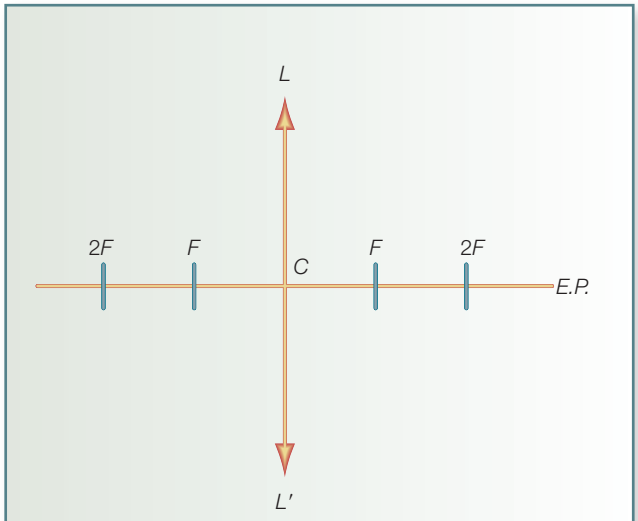


figura 16.21

Partes principales de una lente.

y por los focos; L—L' plano central de la lente que es perpendicular al eje principal $E.P.$; C centro óptico de la lente, cuando un rayo luminoso pasa por él no sufre ninguna desviación; F foco principal, puntos donde se cruzan los rayos que llegan a la lente en forma paralela al eje principal, equivale a la distancia focal, y es aquella distancia entre el centro óptico y el foco; $2F$ es la doble distancia focal.

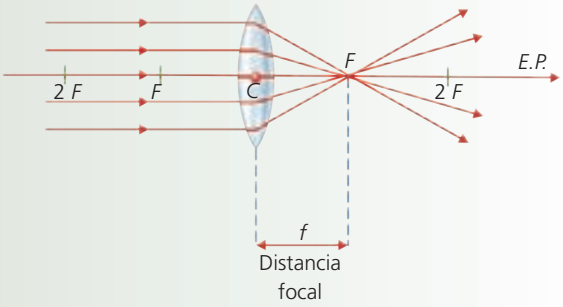


figura 16.22

En una lente convergente, todo rayo que pase paralelamente al eje principal, al retractarse se junta en el foco de la lente.

En las lentes convergentes, cualquier rayo luminoso que pase en forma paralela a su eje principal, al refractarse pasará por el foco principal (figura 16.22). En las lentes divergentes, el rayo que pase en forma paralela a su eje principal, al refractarse se separará como si procediera de un foco (figura 16.23).

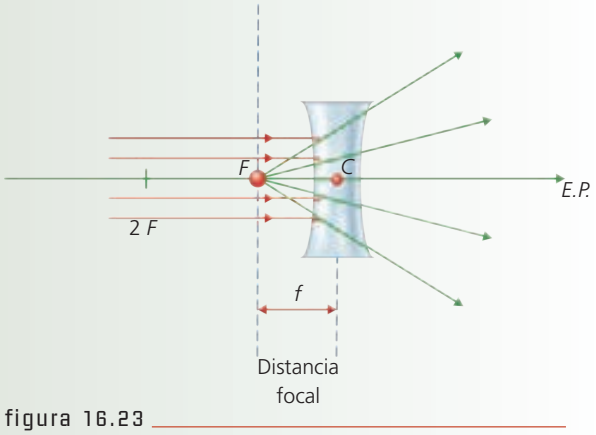


figura 16.23

En una lente divergente, todo rayo paralelo al eje principal, al refractarse se separa como si procediera de un foco.

La imagen formada de un objeto en una lente se encuentra gráficamente, utilizando los mismo rayos fundamentales de los espejos esféricos, debemos recordar que en éstos los rayos se reflejan, mientras en las lentes se refractan. En la figura 16.24 observamos la imagen de un objeto colocado hacia afuera del foco de una lente convergente.

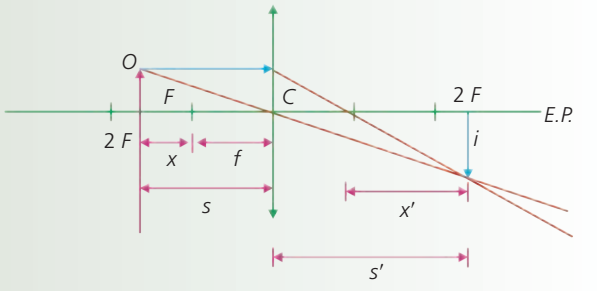


figura 16.24

Imagen *i* formada de un objeto *O* en una lente convergente.

En la figura 16.24 se coloca un objeto *O* hacia fuera del foco principal de una lente y se obtiene una imagen i real, invertida y de mayor tamaño que el objeto; x representa la distancia que hay del objeto al foco del mismo lado; x′ es la distancia de la imagen al foco del lado opuesto al cuerpo; *s* es la distancia de la lente al objeto; *s′* es la distancia de la lente a la imagen; *O* es el tamaño del cuerpo; *i* es el tamaño de la imagen; *f* es la distancia focal.

Las características de la imagen formada de un objeto en una lente, se calculan matemáticamente mediante el uso de ecuaciones que pueden ser de dos formas: la newtoniana y la gaussiana.

Forma newtoniana:

$$\frac{x}{f} = \frac{f}{x'}$$

Al eliminar los denominadores y reordenar los términos, se tiene:

$$xx' = f^2$$

donde: x = distancia del objeto al foco del mismo lado de la lente medida en metros (m) o centímetros (cm)

x' = distancia de la imagen al foco del lado opuesto al objeto calculada en metros (m) o centímetros (cm)

f = distancia focal expresada en metros (m) o centímetros (cm)

Para calcular el tamaño de la imagen utilizamos la expresión:

$$\frac{O}{i} = \frac{x}{f}$$

donde: O = tamaño del objeto expresado en metros (m) o centímetros (cm)

i = tamaño de la imagen medido en metros (m) o centímetros (cm)

x = distancia del objeto al foco calculada en metros (m) o centímetros (cm)

f = distancia focal determinada en metros (m) o centímetros (cm)

La ecuación de las lentes en su forma gaussiana es:

$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$ Si el objeto se coloca hacia afuera del foco principal.

$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} - \frac{1}{s'}$ Si el objeto se coloca entre la lente y el foco.

$-\frac{1}{f} = \frac{1}{s} - \frac{1}{s'}$ Para las lentes divergentes

donde: f = distancia focal expresada en metros (m) o centímetros (cm)

s = distancia que hay de la lente al objeto determinada en metros (m) o centímetros (cm)

s' = distancia de la lente a la imagen medida en metros (m) o centímetros (cm)

Al aplicar la ecuación de las lentes en sus formas **newtoniana o gaussiana**, debe considerarse lo siguiente:

a) Para las lentes convergentes la distancia focal *f* siempre es positiva y para las lentes divergentes *f* es negativa.

b) El valor de x, es decir, la distancia del objeto al foco que está del mismo lado de la lente es positivo si el objeto se encuentra del foco hacia fuera (figura 16.24), y será negativo si el objeto está entre el foco y la lente.

c) Cuando el valor de i, o sea, el tamaño de la imagen, es positivo, significa que la imagen es real, por ello, se recoge en una pantalla; si i es negativo, la imagen es virtual y se verá aparentemente dentro de la lente.

Potencia de una lente

La potencia de una lente se mide en dioptrías y es igual a la inversa de la distancia focal en metros:

$$p = \frac{1}{f}$$

Como puede apreciarse, la potencia de una lente será mayor si su distancia focal es menor y viceversa.

Resolución de problemas de las características de las imágenes formadas en las lentes

1 Una lente convergente tiene una distancia focal de 10 cm y se coloca frente a ella un objeto de 3 cm a una distancia de 12 cm de la lente. Determinar:

a) ¿A qué distancia de la lente se forma la imagen?

b) ¿Cuál es su tamaño?

Solución:

Datos

$f = 10$ cm

$O = 3$ cm

$x = 12$ cm $- 10$ cm $= 2$ cm

a) $s' = ?$

b) $i = ?$

Fórmulas

a) $s' = f + x'$

$xx' = f^2 \quad \therefore \quad x' = \dfrac{f^2}{x}$

b) $\dfrac{O}{i} = \dfrac{x}{f} \quad \therefore \quad i = \dfrac{Of}{x}$

Sustitución y resultados

a) $x' = \dfrac{f^2}{x} = \dfrac{(10\text{ cm})^2}{2\text{ cm}} = 50\text{ cm}$

Como x' representa la distancia entre la imagen y el foco, la distancia de la lente a la que se forma la imagen, es decir, s' será:

$s' = f + x' = 10\text{ cm} + 50\text{ cm} = 60\text{ cm}$

b) $i = \dfrac{Of}{x} = \dfrac{3\text{ cm} \times 10\text{ cm}}{2\text{ cm}} = 15\text{ cm}$

La imagen será mayor, real y se formará a 60 cm de la lente.

2 Un objeto de 4 cm se coloca a 20 cm de una lente convergente que tiene una distancia focal de 12 cm.

Calcular:

a) ¿A qué distancia de la lente se forma la imagen?

b) ¿Cuál es su tamaño?

Solución:

Datos

$O = 4$ cm

$s = 20$ cm

$f = 12$ cm

$x = 20$ cm $- 12$ cm $= 8$ cm

a) $s' = ?$

b) $i = ?$

Fórmulas

a) $\dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{s} + \dfrac{1}{s'} \quad \therefore \quad \dfrac{1}{s'} = \dfrac{1}{f} - \dfrac{1}{s}$

b) $\dfrac{O}{i} = \dfrac{x}{f} \quad \therefore \quad i = \dfrac{Of}{x}$

Sustitución y resultados

a) $\dfrac{1}{s'} = \dfrac{1}{12\text{ cm}} - \dfrac{1}{20\text{ cm}} = 0.083 - 0.05 = 0.033$

$s' = \dfrac{1}{0.033} = 30.3\text{ cm}$

b) $i = \dfrac{4\text{ cm} \times 12\text{ cm}}{8\text{ cm}} = 6\text{ cm}$

3 Un objeto se coloca a una distancia de 8 cm de una lente convergente cuya distancia focal es de 14 cm. Determinar a qué distancia de la lente se forma la imagen.

Solución:

Datos

$s = 8$ cm

$f = 14$ cm

$s' = ?$

Fórmula

$\dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{s} - \dfrac{1}{s'} \quad \therefore \quad \dfrac{1}{s'} = \dfrac{1}{s} - \dfrac{1}{f}$

Sustitución y resultado

$\dfrac{1}{s'} = \dfrac{1}{8\text{ cm}} - \dfrac{1}{14\text{ cm}} = 0.125 - 0.071 = 0.054$

$s' = \dfrac{1}{0.054} = 18.5\text{ cm}$

4 Un objeto se coloca a 5 cm de una lente divergente que tiene una distancia focal de 8 cm. ¿A qué distancia se forma la imagen de la lente?

Solución:

Datos

$s = 5$ cm

$f = 8$ cm

$s' = ?$

Fórmula

$$-\frac{1}{f}=\frac{1}{s}-\frac{1}{s'} \quad \therefore \quad \frac{1}{s'}=\frac{1}{f}+\frac{1}{s}$$

Sustitución y resultado

$$\frac{1}{s'}=\frac{1}{8\text{ cm}}+\frac{1}{5\text{ cm}}=0.125+0.2=0.325$$

$$s'=\frac{1}{0.325}=3.1\text{ cm}$$

5 Un objeto de 3 cm se coloca a una distancia de 4 cm de una lente convergente que tiene una distancia focal de 10 cm.

Calcular:

a) ¿A qué distancia de la lente se forma la imagen?

b) ¿Cuál es su tamaño?

c) ¿Cuáles son sus características?

Solución:

Datos

$O = 3$ cm

$s = 4$ cm

$f = 10$ cm

$x = -6$ cm (el signo menos es porque el objeto se encuentra entre el foco y la lente)

Fórmulas

a) $$\frac{1}{f}=\frac{1}{s}-\frac{1}{s'} \quad \therefore \quad \frac{1}{s'}=\frac{1}{s}-\frac{1}{f}$$

b) $$\frac{O}{i}=\frac{x}{f} \quad \therefore \quad i=\frac{Of}{x}$$

a) $s' = ?$

b) $i = ?$

Sustitución y resultados

a) $$\frac{1}{s'}=\frac{1}{4\text{ cm}}-\frac{1}{10\text{ cm}}=0.25-0.1=0.15$$

$$s'=\frac{1}{0.15}=6.66\text{ cm}$$

b) $$i=\frac{3\text{ cm}\times 10\text{ cm}}{-6\text{ cm}}=-5\text{ cm}$$

c) Las características de la imagen son: es mayor que el objeto, se forma a 6.66 cm de la lente y como el signo de la imagen es negativo significa que es virtual, por ello se ve aparentemente dentro de la lente.

6 ¿Cuál es la potencia de una lente que tiene una distancia focal de 25 cm?

Solución:

Datos

$P = ?$

$f = 25$ cm $= 0.25$ m

Fórmula

$$P=\frac{1}{f}$$

Sustitución y resultado

$$p=\frac{1}{0.25\text{ m}}=4\text{ dioptrías}$$

Ejercicios propuestos

1 Un objeto de 4 cm se coloca a una distancia de 13 cm de una lente convergente cuya distancia focal es de 8 cm.

Calcular:

a) ¿A qué distancia de la lente se forma la imagen?

b) ¿Cuál es su tamaño?

2 Un objeto de 2 cm se coloca a 16 cm de una lente convergente que tiene una distancia focal de 11 cm.

Calcular:

a) ¿A qué distancia de la lente se forma la imagen?

b) ¿Cuál es su tamaño?

3 Un objeto de 3 cm se coloca a una distancia de 7 cm de una lente convergente cuya distancia focal es de 13 cm.

Calcular:

a) ¿A qué distancia de la lente se forma la imagen?

b) ¿Cuál es su tamaño?

4 Un objeto de 5 cm se coloca a 6 cm de una lente divergente que tiene una distancia focal de 9 cm.

Calcular:

a) ¿A qué distancia se forma la imagen de la lente?

b) ¿Qué tamaño tiene?

5 Determinar la potencia de una lente que tiene una distancia focal de 15 cm.

6 ¿Cuál es la distancia focal de una lente cuya potencia es de 10 dioptrías?

El telescopio y el microscopio

Telescopio

A principios del siglo XVII el holandés **Hans Lippershey** construyó el primer telescopio que permitió observar cuerpos lejanos. Más tarde, **Galileo Galilei** elaboró su propio telescopio y demostró que las estrellas están a distancias astronómicas, razón por la cual la mayor parte de ellas resultan invisibles al ojo humano. El nombre de telescopio se da a aquellos instrumentos que sirven para observar a los astros. Existen dos tipos de telescopios: los refractores y los reflectores.

El telescopio refractor es un gran anteojo constituido por un objetivo y un ocular localizados en los extremos de un tubo (figura 16.25). El objetivo consta de una lente convergente que recoge la luz y proyecta una imagen real al otro extremo; dicha imagen es enfocada y ampliada por el ocular, parte formada por un sistema de lentes convergentes que hacen posible apreciar de cerca los astros lejanos. Uno de los mayores telescopios refractores del mundo se construyó en 1897 y tiene una abertura de 1.02 m.



figura 16.25

Partes principales de un telescopio refractor.

En un telescopio reflector (figura 16.26) el objetivo en lugar de ser una lente convergente es un espejo cóncavo, generalmente parabólico, que refleja los rayos luminosos y los concentra en un foco; cerca de él, un espejo pequeño los desvía para que la imagen real se forme fuera del tubo en un punto fácil de observar desde el exterior. Existen grandes telescopios reflectores como el del Monte Palomar en EUA que tiene un espejo de 5.08 m de diámetro o como el del Monte Pastukhov en Rusia, cuyo espejo mide 5.9 m. Con estos instrumentos ha sido posible descubrir estrellas demasiado distantes, galaxias muy lejanas y nebulosas, así como realizar observaciones más precisas sobre las superficies lunar y solar. Los modernos telescopios se instalan siempre en las cimas de las montañas en donde exista una atmósfera seca y con escasa nubosidad, tal es el caso de los observatorios localizados en algunos estados de la República Mexicana como son: Baja California, Sonora y Puebla.



figura 16.26

Telescopio reflector de uso común para observar a los astros.

Microscopio

El microscopio es otro de los instrumentos ópticos que han posibilitado un gran desarrollo científico, pues con él se pueden ver objetos muy pequeños que el ojo humano no logra observar ni aun auxiliándose con una lupa.

Un microscopio como el de la figura 16.27, consta de un ocular formado por dos lentes convergentes y funciona como una lupa, dando una imagen virtual y aumentada de la figura real proyectada por el objetivo. Generalmente se dispone de varios oculares, cada uno de ellos lleva impreso el aumento que produce: ×10, ×100, ×1 000, etc. El objetivo y el ocular se hallan montados en un tubo con una ranura en la cual embona la rampa

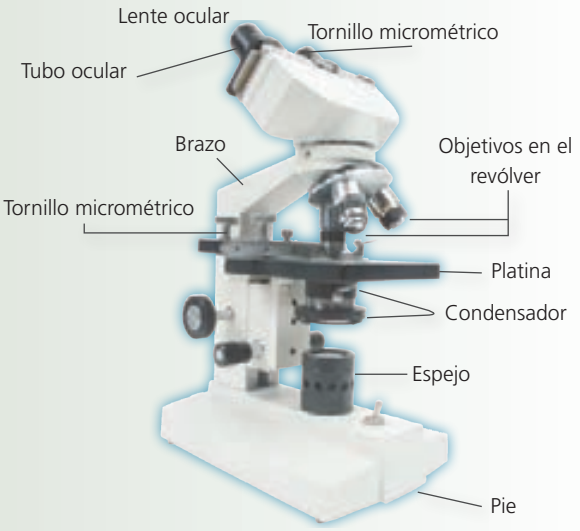


figura 16.27
Microscopio.

del bastidor, de tal modo que el ocular pueda deslizarse a lo largo del tubo para acercarse o alejarse del objeto a observar. El objetivo origina una imagen ampliada, misma que vuelve a ser ampliada por el ocular. La multiplicación de esta combinación es de aproximadamente 2 mil veces el tamaño del objeto en observación.

En la actualidad, existe un **ultramicroscopio** cuyo aumento es de 10 mil veces el tamaño del objeto observado. También se construyó el **microscopio electrónico** que es más potente en comparación con el microscopio óptico, pues su ampliación llega a los 100 mil diámetros. En dicho aparato los haces luminosos son sustituidos por haces de electrones.

El ojo y la visión

El ojo humano se asemeja a una cámara fotográfica. Tiene una lente y una córnea curva, forma una figura real, disminuida e invertida. La imagen se forma en la retina, la cual está constituida por células fotosensibles, reacciona ante las distintas intensidades y colores de la luz que inciden sobre ella y envía una proyección invertida de las cosas al cerebro, que se encarga de compensar esta inversión (figura 16.28). Gracias al ojo podemos observar las cosas de nuestro alrededor, así como sus colores.

El estudio del funcionamiento del ojo ha permitido comprobar que los rayos luminosos penetran en él a través del cristalino, éste los recoge y los enfoca para formar la figura en la retina. Ésta se constituye de finísimas células nerviosas fotosensibles que transmiten las señales al cerebro, el cual las interpreta en forma de imagen. Las células nerviosas reciben el nombre de bastones y conos. Los bastones son más sensibles a la luz que los conos, pues dejan de actuar al disminuir la iluminación; los conos, por su parte, continúan funcionando si perciben rayos luminosos aunque sean débiles. Debido a ello, podemos distinguir algunas cosas en medios casi oscuros, pero sin diferenciar sus colores. Como dato curioso, cabe señalar que un gato tiene mayor sensibilidad a los rayos luminosos en comparación con el ojo humano. Sin embargo, esto no quiere decir que pueda ver las cosas en un cuarto totalmente oscuro, pues si no hay aunque sea una leve iluminación su visión es nula.

Si comparamos el ojo humano con el sistema óptico de una cámara fotográfica, tenemos las siguientes analogías:

a) La **retina** es como una pantalla localizada en la parte posterior del ojo; cuando recibe una imagen, la transmite por medio del nervio óptico al cerebro.

b) El **cristalino** actúa como una lente, gracias a su elasticidad, puede variar su curvatura para enfocar los objetos.

c) La **pupila** se comporta como un diafragma que se contrae o dilata para regular la intensidad luminosa.

Algunas personas padecen anomalías en su visión; revisemos cuáles son y cómo se corrigen.

a) Miopía. El ojo miope no ve claramente los objetos lejanos ni los pequeños situados a distancias "visibles" para un ojo sano. Las personas que padecen miopía tienen problemas para ver las letras con claridad y por ello tienen que acercar considerablemente la página a sus ojos. Se corrige al usar cristales de bordes gruesos, es decir, lentes bicóncavas (figura 16.29).

b) Hipermetropía. El ojo hipermétrope no ve claramente los objetos cercanos, porque la distancia mínima de visión es mayor que la del ojo normal, por lo que se

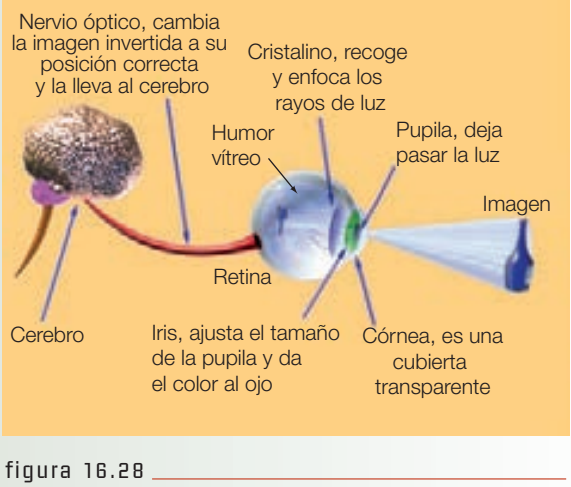


figura 16.28
Partes principales del ojo.

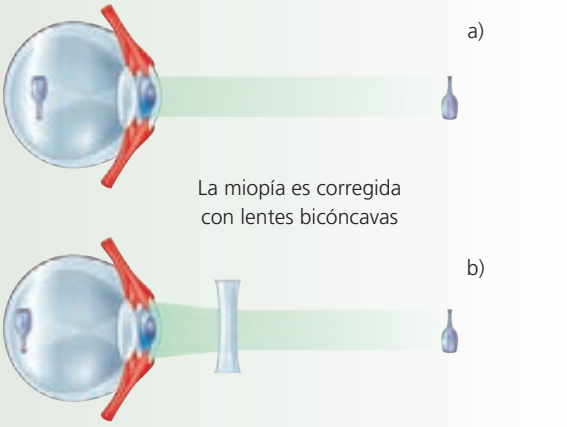


figura 16.29

En a) se observa cómo es la visión de un ojo miope. En b) se aprecia cómo se corrige con las lentes bicóncavas.

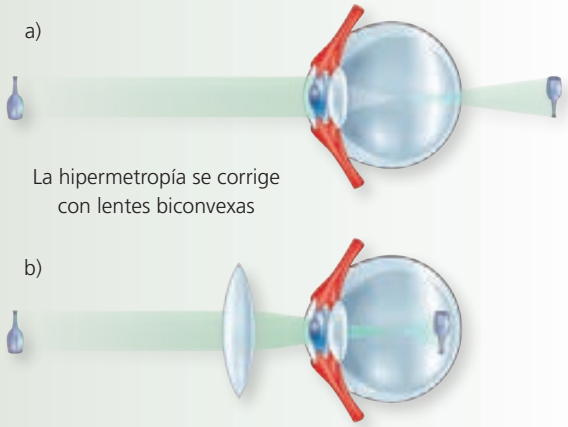


figura 16.30

En a) se observa cómo es la visión de un ojo hipermétrope. En b) cómo se corrige con lentes convergentes biconvexas.

aleja el libro para leer. Sin embargo, los objetos lejanos se ven claramente. Se corrige con cristales de bordes delgados, o sea, con lentes biconvexas (figura 16.30).

c) Presbicia. Hacia los 45 o 50 años, el ojo humano se vuele présbita: suele ser un ojo "cansado" debido a que la facultad de acomodación del cristalino ha disminuido. El ojo présbita suele necesitar unas lentes para mirar de lejos y otros de cerca, o bien, como es muy común, usar unas lentes bifocales.

Es importante señalar que tanto el consumo de alcohol como el de drogas producen una visión borrosa o doble y pueden dañar irreversiblemente los nervios ópticos.

En la actualidad, tienen mucho auge las lentes de contacto de material plástico, aplicadas directamente sobre el ojo; se recomiendan cuando las de cristal no producen una imagen grata para la persona que las usa u ocasionan molestias o cuando es necesario realizar algún deporte o actividad física intensa.

3 Óptica física

La óptica física estudia los fenómenos ópticos con base en la teoría del carácter ondulatorio de la luz.

En virtud de la naturaleza dual de la luz, que en ocasiones manifiesta un comportamiento de partícula y en otras de onda, como los fenómenos de interferencia, difracción y polarización de la luz, que no pueden ser explicados mediante la teoría corpuscular, es necesario analizarlos con mayor detalle en esta sección.

Como ya señalamos, fue **Huygens** el primero en proponer: la luz es un fenómeno ondulatorio y su propagación es de la misma naturaleza que el de un frente de onda, por tanto, cada uno de sus puntos debe considerarse como una nueva fuente puntual de ondas.

Interferencia y anillos de Newton

La interferencia se produce cuando se superponen en forma simultánea dos o más trenes de onda. Este fenómeno es una prueba contundente para comprobar si un movimiento es ondulatorio o no.

Newton observó el fenómeno de interferencia de la luz mediante los anillos que llevan su nombre. Los **anillos de Newton** se forman al reflejarse la luz en una lente de superficie curva y en una plana, como el de una placa de vidrio (figura 16.31). Cuando se hace reflejar la luz de una pared blanca en la lente y la placa de vidrio, en el punto donde éstos hacen contacto, se forma un punto oscuro y alrededor de él se verá en la lente curva una serie de anillos oscuros y brillantes.

La formación de anillos se puede explicar considerando que la luz se propaga como una onda. Al pasar un rayo de luz a través de la lente, parte de él se refleja en ella y otra parte lo refleja la superficie de la placa de vidrio. Originalmente las ondas de ambos rayos están en fase, pero una recorre más distancia que la otra y cuando se combinan o interfieren pueden no estar en la misma fase. Si se encuentran en fase, la reflexión es brillante y si están desfasadas, la reflexión se anula y el resultado es un anillo oscuro.

Newton al observar los anillos que se producían pudo haber propuesto una teoría ondulatoria para explicarlos; sin

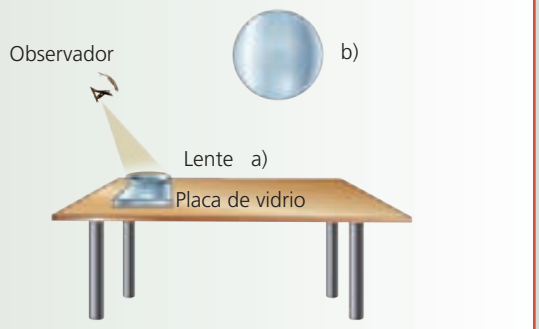


figura 16.31

En a) vemos a la lente colocada sobre la placa de vidrio. En b) se muestran los anillos de Newton vistos por un observador. Se forman por la interferencia de la luz, al ser reflejada.

embargo, como no observó ninguna evidencia del fenómeno de difracción siguió considerando que la luz era de naturaleza corpuscular.

Difracción de la luz

Newton consideraba que si la luz estuviera realmente formada por ondas, la sombra proyectada por un cuerpo debería ser muy pequeña, o bien, ni siquiera existiría en algunos casos. Él pensaba que la difracción en las orillas de los cuerpos debería ser mucho mayor de lo que se podía ver. Sin embargo, nunca se imaginó que la longitud de las ondas luminosas es demasiado pequeña y, por tanto, debió utilizar aberturas mínimas para observarla.

Como se sabe, la difracción es otro fenómeno que comprueba que la propagación de la luz es por medio de ondas, la cual se produce si una onda encuentra un obstáculo en su camino, lo rodea o lo contornea. La primera observación sobre la difracción de la luz fue hecha en 1801 por el físico y médico inglés **Thomas Young**.

Cuando un haz luminoso es interceptado por una pantalla opaca que tiene una pequeñísima abertura, el rayo luminoso que la atraviesa se convierte en un haz de forma cónica y la ranura actúa como una fuente de ondas secundarias. En conclusión, debido a su comportamiento ondulatorio, la luz se difracta y se convierte en un foco emisor secundario cuando incide en las orillas de un obstáculo opaco o cuando atraviesa aberturas pequeñísimas cuyo tamaño es similar a su longitud de onda. La manifestación de la difracción generalmente tiene como consecuencia el fenómeno de interferencia.

Polarización de la luz

Otro fenómeno que comprueba la naturaleza ondulatoria de la luz es el de la polarización. Recordemos que, cuando un movimiento ondulatorio es longitudinal, las partículas vibran en la misma dirección de propagación de la onda; tal es el caso del sonido. Pero si el movimiento ondulatorio es transversal, las partículas vibran perpendicularmente en cualquiera de las direcciones de propagación de la onda. Si se logra que todas las partículas vibren en una misma dirección, se dice que el movimiento ondulatorio transversal está polarizado.

Científicamente se explica la polarización de la luz considerando que las vibraciones de una onda luminosa son transversales y todas sus direcciones posibles son perpendiculares a la dirección en la cual se propaga. En forma experimental se puede tratar de reproducir este tipo de vibración, atando una cuerda por uno de sus extremos (figura 16.32) y moviendo el otro primero de arriba hacia abajo y luego de izquierda a derecha en una rápida sucesión de movimientos. Al colocar una reja de madera como la marcada con el número uno, las rejillas verticales sólo permitirán el paso de las vibraciones que van de arriba hacia abajo, es decir, la onda se ha convertido en polarizada plana, pues todas sus vibraciones están en un solo plano y en nuestro caso, es el vertical. Cuando la vibración pasa a la reja número dos de rejillas horizontales, el movimiento deja de ser ondulatorio.

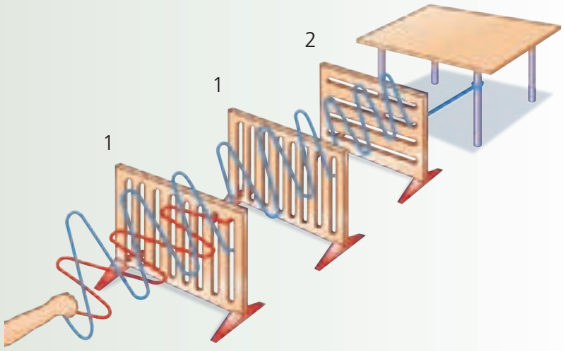


figura 16.32

Polarización mecánica de las ondas transversales producidas en una cuerda que se mueve de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

En la actualidad es muy común encontrar en el comercio lentes polarizados que impiden el deslumbramiento reflejado en las carreteras o el pavimento. La luz se puede polarizar por reflexión, doble refracción y absorción selectiva. La más común es por reflexión. Ejemplo: la luz reflejada por la arena de una playa se encuentra parcialmente polarizada en el plano horizontal, debido a ello, los filtros polarizadores de las lentes se disponen de tal manera que puedan suprimir los rayos que están polarizados horizontalmente. Dichas lentes se fabrican con cristales de yodo y sulfato de quinina, los cuales se fijan al colocarlos entre dos capas delgadas de plástico.

Grupo Editorial Patria

Los cristales son de forma muy alargada y se orientan en una misma dirección al aplicárseles un campo eléctrico intenso, esto permite que las lentes polarizadas sólo dejen pasar los rayos luminosos hallados en el mismo plano en que están orientados los cristales.

Naturaleza del color

El color se debe a la propiedad que tienen todos los cuerpos de absorber y reflejar ciertas radiaciones electromagnéticas. La mayoría de los colores que observamos de manera cotidiana, son mezclas de longitudes de onda que provienen de la absorción parcial de la luz blanca. Casi todos los objetos deben su color a los filtros, pigmentos o pinturas, que absorben ciertas longitudes de onda de la luz blanca y reflejan las demás; estas longitudes de onda reflejadas son las que producen la sensación de color. El mecanismo por el que las sustancias absorben la luz, depende de la estructura molecular de cada sustancia (figura 16.33).



figura 16.33

El color de los cuerpos iluminados se debe a la propiedad que tienen de absorber y reflejar ciertas radiaciones electromagnéticas.

La luz blanca del Sol es una mezcla de luces monocromáticas de longitudes de onda diferentes. Cuando una superficie recibe la luz solar y refleja todas las radiaciones de ésta, origina en la retina la sensación de color blanco. Pero si la superficie absorbe todas las radiaciones y no refleja ninguna, la retina no se excita y se percibe la sensación de negro. Entre estos dos casos, hay una amplia gama de superficies capaces de reflejar un reducido grupo de radiaciones afines por su longitud de onda; esta reflexión selectiva de las superficies determina el color de las cosas. Así tenemos que cuando una superficie absorbe todas las radiaciones, menos las azules, tienen un color azul; cuando sólo refleja las amarillas es de color amarillo; pero si se reflejan las radiaciones azules y amarillas, su color es verde, etcétera (figura 16.34).



figura 16.34

Un cuerpo se ve de color amarillo debido a que refleja las radiaciones amarillas y absorbe todas las demás.

Como se puede apreciar, el color de los cuerpos depende del modo como una sustancia responde a las diversas radiaciones de la luz. Por ello, le recomendamos que busque la ropa del color que quiera cuando tenga la posibilidad de observarla en luz natural y no de fuentes luminosas artificiales, pues le puede desilusionar al ver que el color que compró no era el deseado; veamos por qué: si un cuerpo se ve de color rojo al iluminarlo la luz solar, es que absorbe todos los colores y sólo refleja a la retina la luz roja; pero si ese cuerpo recibe luz de una fuente luminosa de color azul, se verá negro, pues no recibe la luz roja que refleja porque absorbe los demás colores. Recuerde: el negro no es en sí un color, pues representa la absorción de toda radiación que recibe.

Descomposición o dispersión de la luz blanca

Cuando se hace pasar un haz de rayos provenientes del Sol por un prisma de cristal, la luz se descompone en siete colores y forma una banda que recibe el nombre de espectro de la luz visible. Estos colores son, en orden de menor a mayor desviación respecto a la dirección del haz de rayos provenientes del Sol: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, índigo y violeta (figura 16.35).

La descomposición de la luz blanca que se produce en el prisma de cristal se debe a que cada uno de los colores tiene diferente índice de refracción: el más refractado o desviado es el violeta y el menos refractado es el rojo.

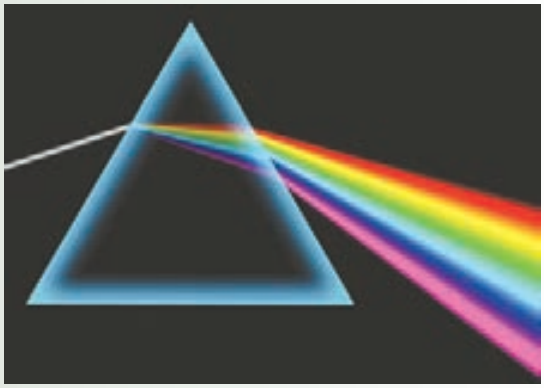


figura 16.35

Descomposición o dispersión de la luz blanca por un prisma de cristal. Se obtienen los siete colores del espectro de la luz visible, también llamados del arco iris.

Éste se desvía menos por tener una mayor magnitud de velocidad al atravesar el prisma y el violeta se desvía más al adquirir una menor magnitud de velocidad de propagación.

Colores primarios o fundamentales

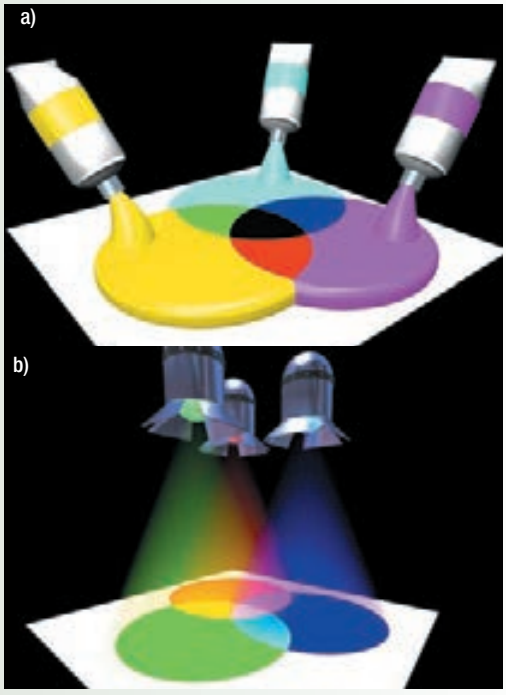


figura 16.36

La mezcla de colores produce resultados diferentes, según se utilicen pigmentos a) o luces b).

De los siete colores del espectro de la luz visible, tres son primarios o fundamentales, porque al mezclarlos se obtienen los demás colores; los fundamentales son: el amarillo, el rojo y el azul (figura 16.36).

Colores binarios y características de algunos colores

La mezcla de dos colores primarios constituyen un color binario. Por ejemplo, al combinar el azul con el amarillo se obtiene el color verde.

Al elegir el color para pintar algún lugar, deben considerarse no sólo los aspectos estéticos sino también los psicológicos, pues existen colores fríos como el azul y el verde que tranquilizan a las personas. Por otra parte, hay colores cálidos como el rojo o el amarillo que producen reacciones excitantes.

En las instalaciones industriales se emplea el color rojo para identificar extinguidores y materiales contra incendios, el verde para dispositivos de seguridad en las máquinas y el amarillo para indicar peligro.

Daltonismo

El daltonismo es una anomalía de la visión en la que hay dificultad para distinguir los colores y se debe a un defecto en la retina o en otras partes nerviosas del ojo. Hay personas, sobre todo del sexo masculino, que sufren ceguera completa para los colores y en la que todos los matices de color se perciben como variantes de gris. Esta enfermedad es **congénita**, es decir, se presenta desde el nacimiento por factores genéticos. Otros sufren de ceguera parcial para los colores, ya que hay incapacidad para diferenciar o para percibir el rojo y el verde. Esta anomalía la padece 7% de los hombres y 1% de las mujeres.

Propiedades electromagnéticas de la luz y espectro electromagnético

Cuando **un electrón se encuentra en movimiento**, produce efectos que son en parte eléctricos y en parte magnéticos. La fuente vibrante que produce una onda de radio en una antena transmisora está constituida por electrones que oscilan de un lado a otro en un tiempo muy breve. Como éstas se producen por fluctuaciones en los campos eléctricos y magnéticos que provocan los electrones oscilantes, reciben el nombre de ondas electromagnéticas.

Los científicos han determinado que la luz visible, los rayos infrarrojos y los ultravioleta, también están constituidos por ondas electromagnéticas. Fue el físico escocés James Clerk Maxwell (1831-1879) el primero en

proponer la naturaleza electromagnética de la luz, él consideró lo siguiente: así como un campo magnético variable genera un campo eléctrico, también es posible que un campo eléctrico variable produzca uno magnético. De tal manera que una sucesión repetida de ellos produzca una perturbación electromagnética siendo uno generador del otro.

Maxwell calculó la magnitud de la velocidad de la propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío, mediante la ecuación:

$$v = \sqrt{\frac{K}{K_m}}$$

donde: v = magnitud de la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en m/s

K = constante de la ley de Coulomb, cuyo valor es 9×10^9 Nm^2/C^2

K_m = constante magnética de Biot-Savart, y cuyo valor es 1×10^{-7} N/A^2

Al sustituir estos datos en su ecuación, Maxwell encontró una magnitud de 300 mil km/s para la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas. Que es igual a la magnitud de la velocidad de propagación de la luz. Esto le permitió proponer que la luz está formada por ondas electromagnéticas, las cuales se pueden propagar aun en el vacío sin necesidad de un medio material. Con ello se descartaba por completo la existencia de esa sustancia misteriosa a la que los físicos llamaron éter y que suponían existía en todo espacio, así como en el vacío.

La diferencia básica entre los diferentes tipos de radiación que constituyen el llamado espectro electromagnético se debe a su frecuencia y a su longitud de onda; la de radio es de unos 400 m, mientras que la longitud de una onda luminosa puede ser de 6×10^{-7} m. No obstante, su magnitud de velocidad de propagación en el vacío es la misma: 300 mil km/s.

En el cuadro 16.2 se dan los valores de la longitud de onda y la frecuencia de las distintas radiaciones que forman el espectro electromagnético.

cuadro 16.2 Espectro electromagnético

Tipo de radiación	Frecuencia en ciclo/s	Longitud de onda en el vacío en m/ciclo
Rayos gamma	mayor que 1×10^{18}	menor que 1×10^{-10}
Rayos X	mayor que 3×10^{16}	menor que 1×10^{-8}
Rayos ultravioleta	de 8×10^{14} a 3×10^{16}	de 1×10^{-8} a 3.8×10^{-7}
Rayos de luz visible	de 4×10^{14} a 8×10^{14}	de 3.8×10^{-7} a 7.5×10^{-7}
Rayos infrarrojos	de 3×10^{11} a 4×10^{14}	de 7.5×10^{-7} a 1×10^{-3}
Ondas de radio y microondas	menor de 1×10^{13}	varía de algunos milímetros hasta miles de metros por ciclo

Ondas de radio

Las ondas de radio se crean por electrones que oscilan en una antena y se utilizan para transmitir señales a grandes distancias. Son las de **menor frecuencia** y se producen por electrones acelerados en la antena transmisora. La frecuencia de las ondas de radio varía considerablemente de una estación emisora a otra. Según los diferentes tipos de telecomunicaciones, se ha establecido internacionalmente un espectro radioeléctrico dividido en bandas de frecuencia reservadas. Las principales bandas suelen designarse de acuerdo con sus siglas en el idioma inglés y son entre otras: VLF (*Very Low Frecuencies*) o frecuencias muy bajas, LF (*Low Frecuencies*) o bajas frecuencias, MF (*Medium Frecuencies*) o frecuencias medias, HF (*High Frecuencies*) o altas frecuencias, VHF (*Very High Frecuencies*) o muy altas frecuencias y UHF (*Ultra High Frecuencies*) o ultrafrecuencias (figura 16.37).

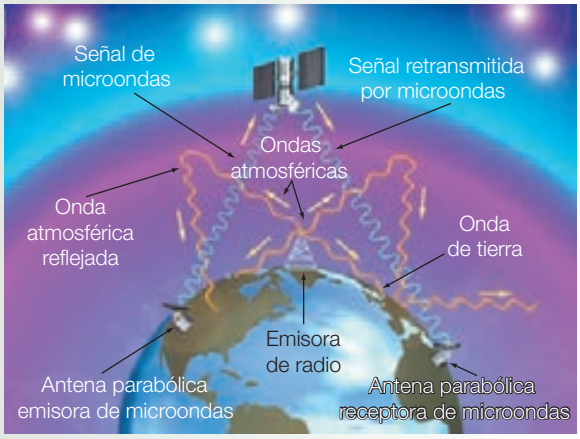


figura 16.37
Ondas de radio producidas por electrones que oscilan en una antena y se utilizan para transmitir señales a grandes distancias.

Microondas

Se emplean para transmisiones telefónicas o de televisión vía satélite. También se utilizan en los hornos de microondas para calentar rápidamente los alimentos sin que éstos pierdan su sabor y consistencia, pues las microondas emitidas por el horno hacen vibrar por resonancia las moléculas de agua que contienen los alimentos; estas moléculas absorben la energía de las ondas y elevan su temperatura (figura 16.38).

Recuerde que la resonancia se produce cuando la vibración de un cuerpo hace vibrar a otro con la misma frecuencia. Cabe señalar que no aumenta la temperatura de los recipientes donde se calientan los alimentos dentro del horno, pues sus moléculas no son puestas a vibrar mediante resonancia por las microondas y, cuan-



figura 16.38

Las microondas emitidas por el horno hacen vibrar por resonancia las moléculas de agua que contienen los alimentos; estas moléculas al absorber la energía de las ondas, elevan su temperatura, es decir, se calientan.

do se llegan a calentar, es por la conducción del calor de los alimentos al recipiente.

Rayos infrarrojos

Los rayos infrarrojos son llamados también rayos térmicos, pues cualquier cuerpo que esté a una cierta temperatura mayor a 0 K los emite. Tal es el caso de los rayos infrarrojos emitidos por el Sol o cualquier fuente de energía calorífica.

Luz visible

La luz visible es sólo una porción de los distintos rayos que conforman el espectro electromagnético, y son los únicos que puede percibir el ojo humano.

Las radiaciones de la luz visible suministran la energía necesaria para que las plantas verdes realicen la fotosíntesis. Es decir, éstas por la acción de la luz transforman sustancias simples, como el agua, bióxido de carbono y nitrato, en compuestos complejos, como lípidos, glúcidos y prótidos, sustancias alimenticias necesarias para su desarrollo.

Luz ultravioleta

La luz ultravioleta recibe también el nombre de luz negra porque no la advierte el ojo humano. Sólo algunos insectos son capaces de distinguirla. Dichas radiaciones emitidas por el Sol, pueden causar quemaduras en la piel sin necesidad de calentarla. Ello explica por qué la piel se quema, en un día frío. Las lociones bronceadoras protegen la piel al eliminar aquellas radiaciones que producen quemaduras.

Rayos X

Los rayos X se generan cuando un haz de electrones que viaja a gran velocidad al alto vacío, es frenado bruscamente al chocar con un obstáculo (figura 16.39). La pérdida energética de éstos se convierten en la energía de los rayos X. Estos rayos por ser penetrantes se utilizan para las radiografías de huesos y órganos internos. También se emplean para destruir células cancerosas, pero una exposición continua y no controlada de ellos puede dañar las partes de las células reproductoras que controlan la herencia. Si esto llega a suceder, los niños de personas expuestas a los rayos X pueden nacer con defectos orgánicos.

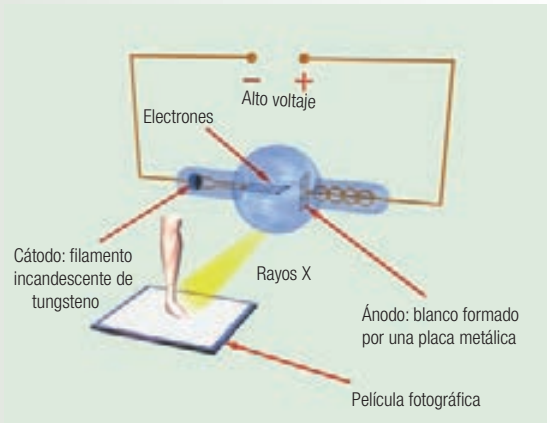


figura 16.39

Producción de rayos X, utilizados para tomar la radiografía de un pie.

Rayos gamma

Los rayos gamma se producen durante las transformaciones nucleares. Son más penetrantes que los rayos X y se usan para el tratamiento de algunas células cancerosas. Su manejo debe ser muy cuidadoso y con equipo especial.

Actividad experimental 24

Espejos planos y cóncavos

Objetivos

Determinar experimentalmente las características de la imagen de un objeto en un espejo plano.

Encontrar la expresión matemática para calcular el número de imágenes que se producirán en dos espejos planos angulares. Hallar la distancia focal de un espejo esférico cóncavo.

Consideraciones teóricas

Cuando la luz llega a la superficie de un cuerpo, ésta se **refleja** total o parcialmente en todas direcciones. Si la superficie es lisa, como en un espejo, los rayos son reflejados en una sola dirección y sentido. Toda superficie que refleje los rayos de luz recibe el nombre de **espejo**. Al estar frente a un espejo plano vemos nuestra imagen en él, dicha imagen es derecha porque tiene nuestra misma posición; es virtual porque se ve como si estuviera dentro del espejo; y es simétrica porque queda aparentemente a la misma distancia que la observada en el espejo. En el laboratorio se observará la trayectoria de un rayo de luz, este rayo antes de reflejarse recibe el nombre de rayo incidente, y después de la reflexión se llama reflejado.

Se forman **espejos planos angulares** al unir dos espejos planos por uno de sus lados y con un cierto ángulo. Al colocar un objeto en medio de ellos, se observará un número *N* de imágenes que dependerá de la medida de dicho ángulo.

Los **espejos esféricos** son casquetes de una esfera hueca, los cuales reflejan los rayos luminosos que inciden en ellos. Son **cóncavos** si la superficie reflectora es la interior y **convexos** si es la exterior. El foco o **distancia focal** de un espejo esférico es el punto del eje principal en que coinciden los rayos reflejados y se encuentra a la mitad del radio.

Material empleado

Papel blanco, dos espejos planos, un bloque de madera, cuatro alfileres, tres reglas graduadas, un transportador, una moneda, un espejo cóncavo, una vela, una pantalla, unos cerillos y un cuarto oscuro.

Desarrollo de la actividad experimental

PRIMERA PARTE

1. Coloque sobre la mesa una hoja de papel blanco y sobre ella sostenga un espejo plano en posición vertical para lo cual puede unirlo a un bloque de madera como se ve en la figura 16.40. Trace una recta AA′ en la hoja de papel que señale la superficie reflectora del espejo.
2. Clave dos alfileres en dos lugares del papel y dibuje entre ellos una línea que llegue hasta la superficie del espejo, como se ve en la figura 16.40.
3. Incline su cuerpo, de tal manera que uno de sus ojos quede sobre la superficie de la mesa, en una posición que le permita ver las imágenes reflejadas de los alfileres alineados con su ojo. Señale con otros dos alfileres clavados en la hoja, la línea que señalará el rayo reflejado.
4. La línea que dibujó con los dos alfileres en el punto 2 representa el rayo de luz incidente. Con los dos alfileres clavados, después trace una línea representativa del rayo reflejado que llegue hasta la superficie del espejo. Si se ha realizado correctamente la actividad experimental, las dos líneas deben coincidir en la superficie reflectora del espejo, en caso contrario, repita el proceso en otra hoja de papel.
5. Como el ángulo de incidencia es el ángulo existente entre el rayo incidente y la perpendicular o normal a la superficie reflectora considerada en el punto de reflexión del rayo, y el ángulo de reflexión es el ángulo entre el rayo reflejado y la normal dibuje la normal en la hoja de papel y después mida el valor del ángulo de incidencia y de reflexión. Anótelos en su cuaderno.

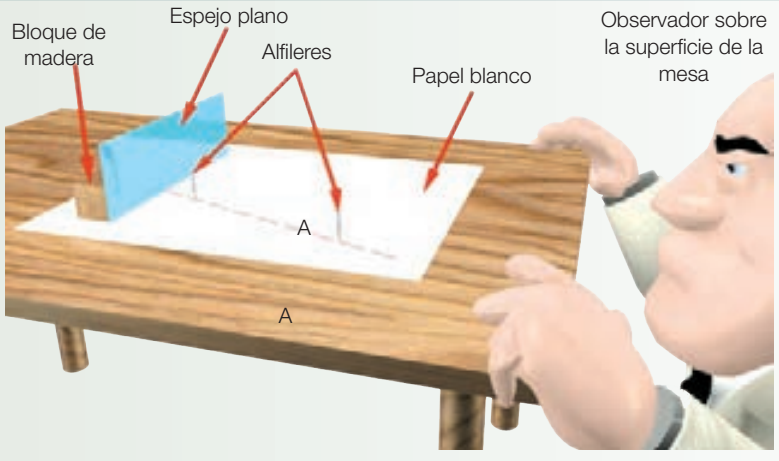


figura 16.40

Reflexión de la imagen en un espejo plano.

Cuestionario

1. ¿Cómo es la imagen en un espejo plano, real o virtual? Explique.
2. ¿Cuáles son las características de la imagen de un objeto en un espejo plano?
3. ¿Cuál es la relación entre el ángulo de incidencia y el de reflexión en un espejo plano?

SEGUNDA PARTE

1. Coloque dos espejos planos formando un ángulo de 90° como se ve en la figura 16.41, ponga una moneda o un objeto frente a ellos y cuente el número de imágenes que se observan en los dos espejos.

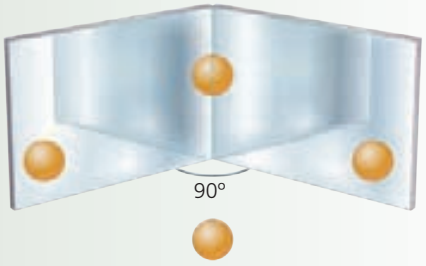


figura 16.41

Imágenes formadas de un objeto en dos espejos planos con un ángulo de 90°.

2. Con ayuda de un transportador varíe el ángulo entre los espejos angulares en intervalos de 15° y cuente el número de imágenes que se ven en cada caso, llene el cuadro 16.3 con los resultados obtenidos. En la tercera columna divida 360° entre cada valor del ángulo α que forman los espejos angulares.

cuadro 16.3	Número de imágenes obtenidas al variar el ángulo (datos experimentales)	
Ángulo (α)	No. de imágenes	$\frac{360°}{\alpha}$
90°		
75°		
60°		
45°		
30°		

Cuestionario

1. ¿Qué sucede con el número de imágenes formadas a medida que el ángulo entre los espejos planos disminuye?
2. ¿Qué observa al comparar los resultados de la segunda columna con los de la tercera del cuadro 16.3?
3. Proponga una fórmula que permita calcular el número de imágenes observables de un objeto colocado frente a unos espejos angulares.

TERCERA PARTE

1. Monte un dispositivo como el mostrado en la figura 16.42, en un cuarto que tenga cortinas para oscurecerlo.

2. Coloque la vela encendida a unos 0.5 m del espejo cóncavo. Acerque la pantalla al espejo y retírela lentamente hasta ver una imagen nítida de la flama en la pantalla. Mida y registre la distancia que hay del centro del espejo a la pantalla, misma que representará la distancia focal del espejo y que se encuentra a la mitad del radio de curvatura.

3. Mueva la vela a una distancia del espejo igual a tres veces la distancia focal del mismo ($3f$). Acerque la pantalla al espejo y retírela en forma lenta hasta obtener una imagen bien definida de la flama. Mida y registre el tamaño y la distancia de la imagen y contrástela con el tamaño y la distancia de la imagen a una distancia $2\,f$, $1.5\,f$, $1\,f$ y $\frac{1}{2}\,f$ del espejo. Llene con los datos obtenidos el cuadro 16.4.

cuadro 16.4	Distancias y tamaños de las imágenes (datos experimentales)		
Distancia de la vela al espejo	Distancia de la imagen en la pantalla al espejo	Tamaño de la imagen	Tamaño de la vela
0.5 m			
$3f$			
$2f$			
$1.5f$			
$1f$			
$\frac{1}{2}f$			

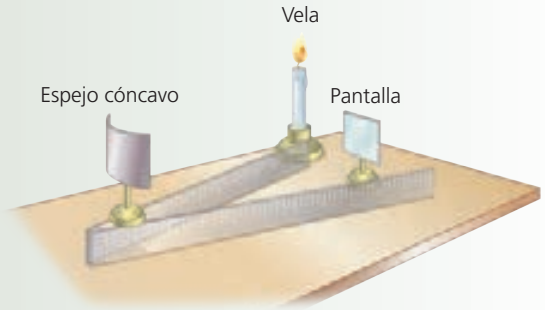


figura 16.42
Dispositivo para medir la distancia focal de un espejo esférico.

Cuestionario

1. ¿Cómo se define el foco de un espejo esférico?
2. ¿Qué es un espejo esférico, cóncavo y uno convexo?
3. Mediante un dibujo represente los elementos principales de un espejo esférico.
4. Dibuje cada uno de los tres rayos fundamentales que permiten encontrar las características de la imagen que se forma de un objeto colocado frente a un espejo esférico.
5. Con base en los datos obtenidos en el cuadro 16.4 describa cómo fue la distancia de la imagen al espejo y su tamaño, al colocarse a una distancia del espejo de $3f$, $2f$, $1.5f$, $1f$ y $\frac{1}{2}f$.

Resumen

1. La *óptica* es la parte de la Física encargada del estudio de la luz y de los fenómenos que produce. Desde tiempos muy remotos al hombre le ha inquietado saber qué es la luz y cuál es la causa por la que vemos las cosas. A fines del siglo XVII existían dos teorías que trataban de explicar la naturaleza de la luz; la corpuscular, propuesta por Newton, quien señalaba: la luz está constituida por numerosos corpúsculos o partículas emitidas por cualquier cuerpo luminoso, dichas partículas al chocar con nuestra retina nos permiten ver los objetos. La otra teoría era la ondulatoria, propuesta por Huygens, quien opinaba: la luz es un fenómeno ondulatorio semejante al sonido, por tanto, su propagación es de la misma naturaleza que la de una onda.

2. Las dos teorías anteriores explican satisfactoriamente las tres características de la luz descubiertas hasta entonces, éstas eran: **a)** *Propagación rectilínea.* **b)** *Reflexión.* **c)** *Refracción.* Posteriormente se descubrió que la luz también presenta los fenómenos de interferencia y difracción, los cuales son determinantes para comprobar que se trata de una onda y no de una partícula. Ello inclinó la balanza hacia la Teoría Ondulatoria de Huygens, y los físicos supusieron la existencia de un medio material llamado éter en todo el espacio y aun en el vacío, por eso la luz se transmitía en este último.

3. En 1865 Maxwell propone que la luz está formada por ondas electromagnéticas que se propagan también en el vacío a una rapidez o magnitud de velocidad de 300 mil km/s. Esto posibilitó que más adelante se descartara la supuesta existencia de la sustancia llamada éter. Sin embargo, a fines del siglo XIX se descubre el efecto fotoeléctrico y más adelante el efecto Compton, los cuales sólo se pueden explicar si se considera que la luz está formada por partículas.

4. Estamos en pleno siglo XXI y no sabemos con exactitud qué es la luz. Los científicos consideran que ésta tiene una naturaleza dual, pues algunas veces se comporta como ondas y en otras como partículas. En conclusión puede decirse que se trata de una energía radiante transportada por fotones y transmitida por un campo ondulatorio.

5. La óptica para su estudio se divide de la siguiente manera: **a)** *Óptica geométrica*, estudia aquellos fenómenos y elementos ópticos mediante el empleo de líneas rectas y geometría plana. **b)** *Óptica física*, estudia los fenómenos ópticos al utilizar la Teoría del Carácter Ondulatorio de la Luz. **c)** *Óptica electrónica*, trata de los aspectos cuánticos de la luz.

6. La luz se propaga en línea recta a una magnitud de velocidad aproximada de 300 mil km/s en el vacío. El astrónomo Olaf Röemer fue el primero en determinar la magnitud de velocidad de ésta en forma aproximada. Michelson obtuvo en 1907 el Premio Nóbel de Física por haber calculado con mucha exactitud la magnitud de la velocidad de la luz.

7. La *fotometría* es la parte de la óptica cuyo objetivo es medir las intensidades de las fuentes luminosas y las iluminaciones de las superficies. A los cuerpos que producen luz, como es el caso del Sol, un foco, una hoguera o una vela, se les llama luminosos y a los que la reciben, iluminados. La intensidad luminosa es la cantidad de luz producida o emitida por un cuerpo radiante. Para medirla se usa en el SI la candela y en el CGS la bujía decimal.

8. El *flujo luminoso* es la cantidad de energía luminosa que atraviesa en la unidad de tiempo una superficie normal a los rayos de luz. Su unidad de medida en el SI es el lumen.

9. La *iluminación* es la cantidad de luz que reciben las superficies de los cuerpos; su unidad es el lux. La ley de la iluminación o ley inversa del cuadrado dice: la iluminación E que recibe una superficie es directamente proporcional a la intensidad de la fuente luminosa I, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia d que existe entre la fuente y la superficie. En forma matemática se expresa:

$$E = \frac{I}{d^2}$$

10. Cuando la luz llega a la superficie de un cuerpo, ésta se refleja y difunde total o parcialmente en todas direcciones. Existen dos leyes de la reflexión: **a)** El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado se encuentran en un mismo plano. **b)** El ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia.

11. Se forman *espejos planos angulares* al unir dos espejos planos por uno de sus lados con un cierto ángulo. El número de imágenes se calcula con la expresión:

$$N = \frac{360°}{\alpha} - 1$$

12. Los *espejos esféricos* son casquetes de una esfera hueca, los cuales reflejan los rayos luminosos que inciden en ellos. Son cóncavos si la superficie reflectora es la interior y convexos si

es la exterior. Se puede construir gráficamente la imagen de un objeto colocado frente a un espejo esférico al cruzar cuando menos dos rayos fundamentales.

13. La *refracción de la luz* consiste en la desviación que sufren los rayos luminosos al llegar a la superficie de separación entre dos sustancias o medios de diferente densidad excepto cuando los rayos inciden perpendicularmente a la superficie de separación. Las leyes de la refracción son: Primera: el rayo incidente, la normal y el rayo refractado se encuentran siempre en el mismo plano; Segunda: para cada par de sustancias transparentes, la relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción, tiene un valor constante denominado índice de refracción.

14. Las *lentes* son cuerpos transparentes limitados por dos superficies esféricas o por una esférica y una plana. Se emplean para desviar los rayos luminosos con base en las leyes de refracción. Se dividen en convergentes y divergentes. Las primeras son aquellas cuyo espesor disminuye del centro hacia los bordes, por ello su centro es más grueso que sus orillas. Tienen la propiedad de desviar los rayos hacia el eje y hacerlos converger en un punto llamado foco. En las lentes divergentes su grosor es menor de los bordes hacia el centro, razón por la cual los extremos son más gruesos. Tienen la propiedad de desviar los rayos hacia el exterior, alejándolos del eje óptico de la lente.

15. La imagen formada de un objeto en una lente se encuentra gráficamente al utilizar los mismos rayos fundamentales de los espejos esféricos. Mientras en éstos los rayos se reflejan, en las lentes se refractan.

16. El nombre de *telescopio* se le da a aquellos instrumentos que sirven para observar a los astros. Existen dos tipos de telescopios: los refractores y los reflectores. El telescopio refractor es un gran anteojo constituido por un objetivo y un ocular. En un telescopio reflector, el objetivo en lugar de ser una lente convergente es un espejo cóncavo, generalmente parabólico, que refleja los rayos luminosos y los concentra en un foco.

17. El *microscopio* es otro instrumento óptico, el cual permite ver objetos muy pequeños. El microscopio electrónico es más potente que el óptico.

18. El *ojo humano* se parece a una cámara fotográfica. La retina es como una pantalla que se encuentra en la parte posterior del ojo, cuando ésta recibe una imagen la transmite por medio del nervio óptico al cerebro; el cristalino actúa como una lente que al variar su curvatura enfoca los objetos; la pupila se comporta como un diafragma que se contrae o dilata regulando la intensidad luminosa. Las personas que padecen miopía acercan considerablemente la página de un libro a sus ojos; requieren usar lentes bicóncavas. El ojo hipermétrope requiere alejar la página de los ojos; el defecto se corrige con lentes biconvexas. La presbicia o vista cansada se corrige con lentes bifocales, es decir, lentes para ver de cerca y de lejos.

19. La *óptica física* estudia los fenómenos ópticos con base en la teoría del carácter ondulatorio de la luz. Huygens fue el primero en proponer que la luz era un fenómeno ondulatorio y los fenómenos de interferencia, difracción y polarización reforzaban su teoría. La interferencia se produce al superponer en forma simultánea dos o más trenes de ondas. Este fenómeno es una prueba contundente para comprobar si un movimiento es ondulatorio o no. Newton observó el fenómeno de interferencia mediante los anillos que llevan su nombre, pero al no observar ningún fenómeno de difracción siguió considerando a la luz como partículas.

20. La *difracción* es otro fenómeno que comprueba que la propagación de la luz es por medio de ondas. Se produce cuando una onda encuentra un obstáculo en su camino, lo rodea o lo contornea. El fenómeno de la polarización de la luz también comprueba su naturaleza ondulatoria. Científicamente se explica la polarización de la luz, considerando que las vibraciones de una onda luminosa son transversales. La luz se puede polarizar por reflexión, doble refracción y absorción selectiva. La más común es por reflexión.

21. El color se debe a la propiedad que tienen todos los cuerpos de absorber y reflejar ciertas radiaciones electromagnéticas.

22. La luz blanca del Sol es una mezcla de luces monocromáticas de longitudes de onda diferentes. Cuando una superficie recibe la luz solar y refleja todas las radiaciones de ésta, origina en la retina la sensación de color blanco. Pero si la superficie absorbe todas las radiaciones y no refleja ninguna, la retina no se excita y se percibe la sensación de negro.

23. De los siete colores del espectro de la luz visible, tres son primarios o fundamentales, porque al mezclarlos se obtienen los demás colores; los fundamentales son: el amarillo, el rojo y el azul.

24. El daltonismo es una anomalía de la visión en la que hay dificultad para distinguir los colores. Hay personas, sobre todo del sexo masculino, que sufren ceguera completa para los colores, y otros ceguera parcial al no diferenciar entre el rojo y el verde.

25. Cuando un electrón se encuentra en movimiento produce efectos, éstos son en parte eléctricos y en parte magnéticos. Como las *ondas de radio* se producen por fluctuaciones en los campos eléctrico y magnético que provocan los electrones oscilantes, reciben el nombre de ondas electromagnéticas. La *luz visible*, los rayos infrarrojos y los rayos ultravioletas, también están constituidos por ondas electromagnéticas; Maxwell fue el primero en proponer y comprobar que todas las ondas electromagnéticas se propagan en el vacío a una rapidez o magnitud de velocidad de aproximadamente 300 mil km/s. La diferencia básica entre los distintos tipos de radiación que constituyen el llamado espectro electromagnético, se debe a su frecuencia y a su longitud de onda. Las *ondas de radio* se crean por electrones que oscilan en una antena transmisora; los *rayos infrarrojos* son llamados también rayos térmicos y son emitidos por el Sol o por cualquier fuente de energía calorífica. La *luz visible* es sólo una porción de los distintos rayos del espectro electromagnético, y son los únicos que puede percibir el ojo humano. La *luz ultravioleta* recibe el nombre de luz negra porque no es visible para el ojo humano. Los rayos X se producen cuando un haz de electrones que viaja a gran magnitud de velocidad, es frenado bruscamente al chocar con un blanco. La energía que pierden los electrones se convierte en la energía de los *rayos X*. Los *rayos gamma* se producen durante las transformaciones nucleares, son más penetrantes que los rayos X y se usan, como éstos, en el tratamiento de algunas células cancerosas. Su manejo debe ser muy cuidadoso y con equipo especial.

Autoevaluación

Escriba en su cuaderno las respuestas a las siguientes preguntas. Si se le presentan dudas al responder vuelva a leer la sección correspondiente del libro, la cual viene señalada al final de cada pregunta para su fácil localización.

1. Defina qué es óptica y describa en forma breve dos antecedentes históricos que para usted sean relevantes. *(Introducción de la unidad 16)*
2. Escriba las teorías propuestas por Newton y Huygens, respectivamente, sobre la naturaleza de la luz. *(Introducción de la unidad 16)*
3. Diga cuáles son los tres fenómenos que pueden ser explicados por cualquiera de las dos teorías sobre la naturaleza de la luz, es decir la ondulatoria y la corpuscular. *(Introducción de la unidad 16)*
4. ¿Cuáles son los fenómenos que no se pueden explicar con la teoría corpuscular de la luz? *(Introducción de la unidad 16)*
5. Explique qué concepto tenían antiguamente los físicos sobre la sustancia o medio material llamado éter. *(Introducción de la unidad 16)*
6. Según Maxwell cómo está formada la luz y cuáles son sus características. *(Introducción de la unidad 16)*
7. ¿Qué descubrimientos hubo a fines del siglo XIX que hicieron renacer la teoría corpuscular de la luz? *(Introducción de la unidad 16)*
8. Explique cuál es el concepto que en la actualidad se tiene sobre la naturaleza de la luz. *(Introducción de la unidad 16)*
9. ¿Cómo se divide a la óptica para su estudio? *(Introducción de la unidad 16)*
10. Explique cuál es el fundamento principal de la óptica geométrica. *(Sección 1)*
11. Mediante un dibujo explique la propagación rectilínea de la luz. *(Sección 1)*
12. Describa brevemente, utilizando dibujos, los métodos de Röemer y Michelson para determinar la magnitud de la velocidad de la luz. *(Sección 1)*
13. Diga qué estudia la fotometría. *(Sección 1)*
14. ¿Qué se entiende por cuerpo luminoso y por cuerpo iluminado? Cite ejemplos de cada uno de ellos. *(Sección 1)*
15. Defina qué se entiende por: intensidad luminosa, candela, bujía decimal y flujo luminoso. *(Sección 1)*
16. ¿Cuándo se dice que una superficie está iluminada? ¿Qué se entiende por iluminación de un *lux*? *(Sección 1)*
17. Explique la ley de la iluminación y escriba su expresión matemática. *(Sección 1)*
18. Por medio de un dibujo, explique la reflexión de la luz y escriba sus dos leyes. *(Sección 1)*
19. Mencione qué se entiende por imagen real y por imagen virtual. *(Sección 1)*
20. ¿A qué se les llama espejos angulares? Diga también cómo se calcula el número de imágenes en ellos. *(Sección 1)*
21. Describa por medio de un dibujo, las características de un espejo esférico, y diga cuándo son cóncavos y cuándo convexos. *(Sección 1)*
22. Dibuje los elementos principales de un espejo esférico. *(Sección 1)*
23. Mediante dibujos explique cada uno de los tres rayos fundamentales de los espejos esféricos. *(Sección 1)*
24. Encuentre gráficamente las características de la imagen que se forma de un objeto al colocarse entre el foco y el vértice de un espejo esférico. *(Sección 1)*
25. ¿Cuándo se produce la refracción de la luz? ¿Cómo es la desviación que sufre un rayo luminoso al pasar a un medio más denso y a uno menos denso? *(Sección 1)*
26. Escriba el enunciado de las dos leyes de la refracción. *(Sección 1)*
27. Explique cómo puede calcularse el índice de refracción para cada par de sustancias en función de la magnitud de la velocidad de los rayos luminosos. *(Sección 1)*
28. Explique qué es una lente y cuál es su división. *(Sección 1)*
29. ¿Qué características tiene una lente convergente y cuáles una lente divergente? *(Sección 1)*
30. Mencione el uso de las lentes convergentes y las divergentes. *(Sección 1)*
31. ¿Cuándo son recomendables las lentes de contacto de material plástico? *(Sección 1)*
32. Mediante un dibujo, señale las partes principales de una lente. *(Sección 1)*
33. Diga qué sucede cuando un rayo pasa paralelamente al eje principal de una lente: **a)** convergente; **b)** divergente. *(Sección 1)*

34. Explique cómo se obtiene gráficamente la imagen formada de un objeto en una lente convergente y en una divergente. *(Sección 1)*
35. Escriba la expresión matemática de las ecuaciones de las lentes en su forma newtoniana y gaussiana, para encontrar las características de la imagen formada de un objeto en una lente. *(Sección 1)*
36. ¿Qué consideraciones deben hacerse al aplicar las ecuaciones de las lentes? *(Sección 1)*
37. ¿Qué es un telescopio y cuántos tipos de ellos hay? Descríbalos brevemente. *(Sección 1)*
38. ¿Para qué se utiliza un miscropio y qué beneficios ha traído su uso? *(Sección 1)*
39. Mencione las principales partes del ojo humano y diga por qué se le compara con una cámara fotográfica. *(Sección 1)*
40. Describa las anomalías más comunes en la visión y cómo se corrigen. *(Sección 1)*
41. ¿Qué estudia la óptica física? *(Sección 2)*
42. Explique en qué consiste el fenómeno de interferencia y diga a qué se le llama anillos de Newton. *(Sección 2)*
43. Describa el fenómeno de difracción de la luz. *(Sección 2)*
44. Explique en qué consiste la polarización de la luz y el funcionamiento de las lentes polarizadas. *(Sección 2)*
45. Explique cómo se explica el color de los cuerpos y cómo se puede descomponer la luz blanca. *(Sección 2)*
46. ¿Cuáles son los colores primarios y por qué se les denomina de esa manera? *(Sección 2)*
47. ¿En qué consiste el daltonismo? *(Sección 2)*
48. Explique a qué se le llaman ondas electromagnéticas. *(Sección 2)*
49. ¿Cómo llegó Maxwell a la conclusión de que la luz estaba formada por ondas electromagnéticas? *(Sección 2)*
50. ¿Cuál es la diferencia básica entre los distintos tipos de radiación que constituyen el llamado espectro electromagnético? *(Sección 2)*
51. Explique brevemente lo siguiente: **a)** ¿Qué son las ondas de radio?; **b)** ¿Qué son las microondas?; **c)** ¿Qué son los rayos infrarrojos?; **d)** ¿A qué se le llama luz visible?; **e)** ¿Qué es la luz ultravioleta?; **f)** ¿Qué son los rayos X y para qué se usan?; **g)** ¿Qué son los rayos gamma y qué cuidados se deben tener con ellos? *(Sección 2)*

Coevaluación

Instrucciones: Consolide su aprendizaje, para ello lea y después conteste en una hoja las siguientes preguntas. Luego, intercambie con un(a) compañero(a) sus respuestas. Coméntenlas, pónganse de acuerdo y den respuestas comunes. Discútanlas con las demás parejas y enriquezcan sus conocimientos con las aportaciones de todos.

1. ¿De qué manera les demostraría a sus compañeros que la luz se propaga en línea recta?
2. ¿Por qué debe usar lentes oscuros para leer un libro si éste recibe directamente los rayos luminosos emitidos por el Sol?
3. ¿Cómo explica con ejemplos de su entorno la diferencia entre reflexión y refracción de la luz?
4. ¿Cuál es la diferencia entre una imagen real y una virtual?
5. ¿Cómo lograría una mayor difracción de un haz luminoso, haciéndolo incidir en una abertura pequeña o en una abertura grande?
6. ¿El fenómeno de polarización se presenta únicamente en las ondas luminosas o se presenta en todo tipo de ondas?
7. ¿Qué ventaja obtiene si utiliza lentes polarizados en lugar de anteojos oscuros comunes?
8. Patricia se pone un suéter y lo ve de color azul al estar iluminado con la luz proveniente del Sol. ¿De qué color lo verá si lo ilumina con una fuente luminosa de color rojo y por qué?
9. ¿Por qué la piel se quema aunque el día esté frío?

Glosario

Color

Se debe a la propiedad que tienen todos los cuerpos de absorber y reflejar ciertas radiaciones electromagnéticas.

Daltonismo

Es una anomalía de la visión en la que hay dificultad para distinguir los colores. Esta enfermedad es congénita, es decir, se presenta desde el nacimiento debido a factores genéticos.

Difracción de la luz

Se produce si una onda encuentra un obstáculo en su camino, lo rodea o lo contornea.

Espejo esférico

Es un casquete de una esfera hueca, que refleja los rayos luminosos que inciden en él. Es cóncavo si la superficie reflectora es la interior y convexo si la superficie reflectora es la exterior.

Fibra óptica

Cilindro de vidrio cuyo grosor es el de un cabello.

Fotometría

Parte de la óptica cuyo objetivo es determinar las intensidades de las fuentes luminosas y las iluminaciones de las superficies.

Hipermetropía

El ojo hipermétrope no ve claramente los objetos cercanos, por lo que se aleja el libro para leer.

Iluminación

Es la cantidad de luz que reciben las superficies de los cuerpos. Se mide en lux.

Interferencia de ondas

Se produce cuando se superponen en forma simultánea dos o más trenes de onda.

Lente

Es un cuerpo transparente limitado por dos superficies esféricas o por una esférica y una plana. Se dividen en convergentes y divergentes.

Ley de la iluminación

La iluminación que recibe una superficie es directamente proporcional a la intensidad de la fuente luminosa, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que existe entre la fuente y la superficie.

Luz

Es una energía radiante transportada a través de fotones y transmitida por un campo ondulatorio.

Luz ultravioleta

Recibe también el nombre de luz negra porque no la advierte el ojo humano.

Luz visible

Es sólo una porción de los distintos rayos que conforman el espectro electromagnético, y son los únicos que puede percibir el ojo humano.

Miopía

El ojo miope no ve claramente los objetos lejanos ni los pequeños situados a distancias "visibles" para un ojo sano.

Óptica

Rama de la Física que estudia la luz y los fenómenos que produce.

Óptica electrónica

Trata los aspectos cuánticos de la luz.

Óptica física

Estudia los fenómenos ópticos con base en la teoría del carácter ondulatorio de la luz.

Óptica geométrica

Estudia fenómenos y elementos ópticos mediante el empleo de líneas rectas y geometría plana.

Presbicia

Disminución del poder de acomodación del cristalino, que impide ver los objetos cercanos.

Rayos infrarrojos

Reciben también el nombre de rayos térmicos, los emite cualquier cuerpo que esté a una temperatura mayor a cero grados Kelvin.

Reflexión de la luz

Cuando la luz llega a la superficie de un cuerpo, ésta se refleja total o parcialmente en todas direcciones. Si la superficie es lisa, como en un espejo, los rayos son reflejados o rechazados en una sola dirección y sentido.

Refracción de la luz

Consiste en la desviación que sufren los rayos luminosos cuando llegan a la superficie de separación entre dos sustancias o medios de diferente densidad.

UNIDAD 17

CONTENIDO

- Teoría especial de la relatividad
- Teoría general de la relatividad
- Radiación, emisión y absorción
- Átomo cuántico
- Teoría cuántica de Planck
- Partícula-onda (mecánica ondulatoria)
- Partículas elementales, antipartículas y antimateria
- Radiactividad
- Rayo láser
- Fusión nuclear
- Fisión nuclear
- Actividad experimental 25: *Cámara de niebla*
- Resumen
- Autoevaluación
- Coevaluación
- Glosario

¿Qué diferencia hay entre la Física clásica y la Física moderna? La Física clásica se encarga de estudiar todos los fenómenos en los que intervienen **cuerpos macroscópicos**, los cuales adquieren magnitudes de velocidades muy pequeñas comparadas con la magnitud de velocidad de la luz. La Física moderna, por su parte, estudia los fenómenos producidos por partículas microscópicas, como son: los átomos, las moléculas, los núcleos atómicos y las **partículas atómicas**, en los que además las magnitudes de sus velocidades pueden ser tan grandes que tienen magnitudes iguales o cercanas a la de la luz.

Así pues, cuando analizamos fenómenos cotidianos cuyas magnitudes de velocidades son relativamente pequeñas y los cuerpos son macromoleculares, los principios y leyes de la Física clásica son totalmente válidos. Pero al incursionar en el misterioso y fascinante mundo microscópico, donde las magnitudes de las velocidades son muy grandes, es necesario sustituir las leyes de la Física clásica por otras teorías más revolucionarias, como son: la **teoría cuántica** y **la teoría de la relatividad**.

Desde fines del siglo XIX el estudio de la Física ha tenido un notable desarrollo, mismo que ha sido posible gracias al empleo de aparatos y técnicas experimentales cada vez más perfeccionados. Además, se han hecho grandes descubrimientos acerca del átomo, de su núcleo y de las radiaciones producidas por partículas atómicas.

Albert Einstein (1879-1955), al igual que **Isaac Newton** (1642-1727), es reconocido como uno de los científicos que más aportaciones ha dado al desarrollo de la ciencia. Einstein nació en Alemania y en 1940 se nacionalizó como ciudadano estadounidense. En 1905 publicó varios trabajos, entre ellos estaba uno referente al **efecto fotoeléctrico**; éste consiste en la transformación de energía luminosa a energía eléctrica cuando un rayo de luz de determinada frecuencia incide sobre una placa metálica arrancándole electrones, por tanto, se genera una **corriente eléctrica**. Einstein explicó dicho fenómeno aplicando la **teoría cuántica propuesta por Planck**, pues por medio de la Física clásica no es posible darle una justificación. En 1907 publicó su trabajo referente a la **teoría especial de la relatividad**, misma que por su trascendencia y aplicaciones constituye uno de los fundamentos más importantes de la Física moderna. Dicha teoría hace una descripción de las leyes físicas en **sistemas de referencia inerciales**, que son aquellos en los cuales no hay aceleración, es decir, estos sistemas se encuentran en reposo o se mueven a una velocidad constante.



Física moderna

1 Teoría especial de la relatividad

La teoría especial de la relatividad se fundamenta en dos postulados:

1. La velocidad de la luz en el vacío siempre tiene la misma magnitud en cualquier sistema de referencia en el que no exista aceleración, es decir, en sistemas inerciales.
2. Todas las leyes físicas son invariantes para todos los sistemas que se mueven de manera uniforme.

De la teoría especial de la relatividad se infiere lo siguiente:

a) La magnitud de velocidad de la luz en el vacío (300 mil km/s), es una velocidad límite en el Universo que no puede ser rebasada por ningún tipo de partícula o radiación. Esta afirmación hace inexacto el principio de la mecánica clásica sobre la adición de las magnitudes de las velocidades. De acuerdo con este principio, si una nave espacial que vuela a una magnitud de velocidad de 600 m/s dispara hacia adelante un proyectil con una magnitud de velocidad de 1 200 m/s, la magnitud de velocidad resultante del proyectil para un observador situado en un punto del suelo sería de 1 800 m/s. Al calcular esta magnitud de velocidad con la fórmula relativista tendremos:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 \times v_2}{C^2}}$$

Sustituyendo magnitudes:

$$v = \frac{600 \text{ m/s} + 1\,200 \text{ m/s}}{1 + \frac{600 \text{ m/s} \times 1\,200 \text{ m/s}}{(300\,000\,000 \text{ m/s})^2}}$$

$$= 1799.98 \text{ m/s}$$

El resultado anterior señala una diferencia mínima entre la magnitud de velocidad determinada en la forma clásica y en la relativista, pues las magnitudes de las velocidades son pequeñas comparadas con la de la luz. Sin embargo, si suponemos que la magnitud de velocidad de la nave es de 100 mil km/s y la del proyectil de 200 mil km/s, el observador situado en un punto del suelo registrará una magnitud de velocidad de 300 mil km/s, pero al sustituir los valores en la fórmula relativista de la magnitud de velocidad tendremos:

$$v = \frac{1 \times 10^5 \text{ km/s} + 2 \times 10^5 \text{ km/s}}{1 + \frac{1 \times 10^5 \text{ km/s} \times 2 \times 10^5 \text{ km/s}}{(3 \times 10^5 \text{ km/s})}}$$

$$= 2.45 \times 10^5 \text{ km/s}$$

Como se observa, hay una diferencia notable entre las dos magnitudes, ya que la adición clásica de las magnitudes de las velocidades nos da un resultado erróneo igual a 300 mil km/s cuando la magnitud de velocidad real del proyectil es de 245 mil km/s.

b) Cuando un cuerpo se mueve su masa no permanece constante, sino que aumenta según se incremente la magnitud de su velocidad y toda vez que el movimiento es una forma de energía, la masa incrementada del cuerpo móvil debe provenir de su energía incrementada. Por tanto, la materia puede convertirse en energía y viceversa. La fórmula relativista que relaciona a la masa con la energía es:

$$E = mc^2$$

donde:

E = energía contenida en un cuerpo en joules (J)
m = masa del cuerpo en kilogramos (kg)
c = magnitud de la velocidad de la luz en el vacío (300 mil km/s)

Nota: La letra c representa un valor constante para la magnitud de la velocidad de la luz en el vacío.

Esto significa que la energía liberada al desintegrarse completamente un kilogramo de uranio será:

$$E = mc^2$$

$$E = 1 \text{ kg } (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2$$

$$= 9 \times 10^{16} \text{ kg m}^2/\text{s}^2 = 9 \times 10^{16} \text{ J}$$

Es decir, 90 mil billones de joules, que transformados a kW-h serán:

$$9 \times 10^{16} \text{ J} \times \frac{1 \text{ kW-h}}{3.6 \times 10^6 \text{ J}} = 2.5 \times 10^{10} \text{ kW-h}$$

o sea: 25 mil millones de kW-h

Mediante el empleo de aceleradores de partículas se ha podido comprobar que al aumentar la magnitud de la velocidad de éstas también se incrementa su masa. La ecuación relativista que relaciona el incremento de la masa en función del aumento de la magnitud de velocidad es:

$$m = \frac{(m_0)}{\sqrt{1 - (v^2 / c^2)}}$$

donde:

m = masa del cuerpo a la velocidad v en kilogramos (kg)
m_0 = masa del cuerpo en reposo en kilogramos (kg)
c = magnitud de la velocidad de propagación de la luz en el vacío en m/s
v = magnitud de la velocidad del cuerpo con masa m en m/s

Grupo Editorial Patria

De acuerdo con la ecuación anterior, si un cuerpo se moviera con una magnitud de velocidad igual a la de la luz, tendríamos:

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 \quad \therefore \quad m = \frac{m_0}{O} = \infty$$

Esto significa que la masa del cuerpo sería infinita.

c) El tiempo también es relativo, es decir, no es algo intrínseco que exista y transcurra en todo el Universo a la vez, por tanto, no puede servir de referencia para afirmar que dos fenómenos ocurridos en diferentes sistemas son simultáneos. Por ejemplo: cuando por medio de un telescopio observamos en un determinado momento a la estrella **Sirio** (una de las más cercanas a la Tierra, pues se encuentra a unos 8.6 años luz de nosotros), lo que en realidad vemos es una imagen de la estrella Sirio formada por los rayos de luz que se alejaron de ella hace 8.6 años. Por lo cual, si en este momento desapareciera dicha estrella tardaríamos 8.6 años en percatarnos de ello. De acuerdo con lo anterior, existen tantos tiempos como sistemas considerados. Por eso la duración de un fenómeno apreciada y medida por varios observadores en movimiento es una cantidad propia de cada uno de ellos que dependerá de la magnitud de su velocidad y de su posición. Vale la pena recordar que en el caso de magnitudes de velocidades comunes, incluso las de los vehículos más rápidos, puede considerarse que el tiempo transcurre igualmente para todos. No sucederá lo mismo si las magnitudes de velocidades de los móviles son próximas a las de la luz.

La relatividad del tiempo ha dado lugar a la llamada paradoja de los gemelos. Ésta consiste en suponer que dos hermanos gemelos sincronizan sus relojes con un mismo tiempo, pero uno de ellos aborda una nave espacial y realiza un viaje de dos años medidos con su reloj y a una magnitud de velocidad de 285 mil km/s. Al regresar a la Tierra se percatará de que han transcurrido 200 años, y que su hermano y descendientes ya no existen. Dicha paradoja se explica al considerar que al viajar a una magnitud de velocidad cercana a la de la luz, el gemelo retrasó todos sus procesos fisiológicos, el latido de su corazón y el ritmo de la marcha de su reloj. Esta suposición es imposible de comprobarse debido a las muchas dificultades técnicas que se presentarían para construir una nave con la suficiente energía para lograr un viaje en esas condiciones. Además, el cuerpo humano no resiste variaciones tan altas de aceleración y de velocidad.

La contracción del tiempo se ha comprobado al observar que los mesones (partículas con una masa media entre los protones y los electrones y que se producen en la alta atmósfera), tardan más tiempo en desintegrarse cuando la magnitud de su velocidad es mayor.

d) La contracción de los cuerpos en movimiento es una consecuencia de la relatividad del tiempo. Por tanto, si un objeto adquiere una velocidad con una magnitud cercana a la de la luz, sería visto por un observador inmóvil con una longitud menor en la dirección de su movimiento, longitud que disminuiría según se incremente la magnitud de su velocidad. La contracción que sufren los cuerpos recibe el nombre de contracción de Lorentz, y fue él mismo quien propuso la siguiente ecuación para calcular la longitud que tendrá un cuerpo en la dirección de su movimiento:

$$L = L_0\sqrt{1 - v^2/c^2}$$

donde:

L = longitud del objeto en la dirección de su movimiento en metros (m)
L_0 = longitud del objeto en reposo en metros (m)
v = magnitud de la velocidad que adquiere el objeto en m/s
c = magnitud de la velocidad de la luz en m/s

Si la magnitud de la velocidad del objeto fuera igual a la magnitud de la velocidad de la luz, tendríamos:

$$v^2/c^2 = 1 \therefore L = 0$$

En otras palabras, si un objeto alcanzara la misma magnitud de velocidad de la luz, su contracción sería tal que su longitud resultaría nula. Esto nos confirma una vez más que la magnitud de velocidad máxima que puede existir en el Universo es la de la luz.

2 Teoría general de la relatividad

En 1915 Einstein amplió la descripción de las leyes de la naturaleza para marcos o sistemas de referencia no inerciales, es decir, para sistemas acelerados. Con este fin publicó su teoría general de la relatividad en la cual señala: la gravedad no es una fuerza, sino una consecuencia de la curvatura del espacio creada por la presencia de las masas. Por tanto, la presencia de un astro curva el espacio a su alrededor y en razón de esta curvatura los astros próximos son atraídos porque tienden a caer sobre él. Einstein decía que su teoría podía comprobarse al medir la desviación de la luz de alguna estrella al pasar cerca del Sol. Actualmente, los científicos observan la desviación de la luz de las estrellas en los eclipses de Sol. Otra consecuencia de esta teoría que considera al espacio curvo, es que la geometría euclidiana deja de ser aplicable, pues no es posible concebir la existencia de líneas rectas en el espacio. Además, puesto que el Universo es curvo

y se halla ocupado por una cantidad infinita de astros, si un móvil parte de la Tierra y sigue en forma indefinida su misma dirección, acabará por regresar a su punto de partida. Finalmente, Einstein señaló que el Universo no se encuentra en estado de equilibrio, sino que toda su materia proveniente de un núcleo central se halla en permanente expansión.

3 Radiación, emisión y absorción

La radiación es el fenómeno que consiste en la emisión de ondas electromagnéticas, de partículas atómicas o de rayos de cualquier tipo. Las radiaciones cuya naturaleza es electromagnética son producidas por la propagación simultánea de los campos magnético y eléctrico a una magnitud de velocidad de 300 mil km/s. Se diferencian entre sí por su frecuencia y su longitud de onda, estos valores determinan los efectos que dichas radiaciones ejercen sobre la materia. Por ejemplo: las radiaciones de mayor frecuencia y menor longitud de onda tienen un elevado poder de penetración y de ionización; tal es el caso de los rayos gamma, X y ultravioleta. Otras de menor frecuencia y mayor longitud de onda presentan efectos caloríficos y se les llama radiaciones infrarrojas (figura 17.1). En un punto intermedio se encuentran las radiaciones que excitan la retina y originan fenómenos de visión. Otro tipo de radiaciones son las llamadas corpusculares, las cuales se dan por los movimientos rápidos de las partículas a magnitudes de velocidades que en ocasiones son muy próximas a la de la luz, pero nunca superiores. Tal es el caso de electrones, protones, neutrones, mesones, muones, así como los rayos cósmicos emitidos por el Sol y las estrellas del Universo que llegan a la Tierra en todas las direcciones. Éstos por lo general son partículas cargadas, como los protones; partículas α, es decir, núcleos de helio cargados positivamente, y en menor cantidad núcleos pesados de nitrógeno, carbón y oxígeno.



figura 17.1

Los invernaderos captan energía del Sol. La tierra y las plantas absorben la radiación infrarroja, se calientan y reflejan las ondas, que no atraviesan el vidrio.

Mecánica ondulatoria

La mecánica ondulatoria sintetiza en una sola los dos tipos de radiaciones: electromagnética y corpuscular. Considera que onda y corpúsculo son dos aspectos complementarios de la misma realidad y, por tanto, toda partícula en movimiento tiene asociada una onda cuya longitud λ es igual a:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

donde:

- λ = longitud de onda de la partícula en movimiento en m/ciclo
- h = constante de Planck igual a 6.62×10^{-34} J s
- m = masa de la partícula en kilogramos (kg)
- v = magnitud de la velocidad de la partícula en m/s

En la actualidad la **mecánica ondulatoria** se encuentra en pleno desarrollo, pues su validez ha quedado plenamente comprobada mediante la observación de la difracción de los electrones, ésta sólo se explica por la existencia de un fenómeno ondulatorio asociado al movimiento de las partículas. Una aplicación práctica de la mecánica ondulatoria se tiene en la óptica electrónica cuyas bases se sustentan en los principios de la mecánica ondulatoria. La óptica electrónica sustituye a los fotones y rayos luminosos por electrones y rayos catódicos.

Espectros ópticos

El color de los cuerpos que nos rodean se debe a la impresión que produce la luz en nuestro sentido de la vista, así como a la propia naturaleza de los rayos luminosos y a la manera como son difundidos o reflejados por los cuerpos.

La luz blanca del Sol es en realidad una mezcla de luces monocromáticas con diferentes longitudes de onda. Esto fue demostrado por Newton al incidir un rayo luminoso proveniente del Sol sobre un prisma de cristal. Al refractarse la luz y recogerse en una pantalla blanca observó la formación de varios colores como los del arco iris: violeta, índigo, azul, verde, amarillo, anaranjado y rojo. Cuando rayos luminosos provenientes del Sol bañan una

superficie y ésta refleja todas las radiaciones que le llegan, producirá en la retina la sensación de color blanco; pero si las absorbe todas y no refleja ninguna, la retina no será excitada y el cuerpo se verá de color negro. De los siete colores que forman el arco iris (figura 17.2), tres son considerados primarios o fundamentales pues la mezcla de ellos permite obtener a los demás, ellos son: amarillo, rojo y azul (figura 17.2).



figura 17.2

El arco iris es un espectro que contiene todos los colores que forman la luz blanca.

Se le da el nombre de espectro óptico al conjunto de rayos de diferentes colores que se forman uno junto al otro, cuando un rayo luminoso se descompone al atravesar un prisma de cristal o una red de difracción. Esto se debe a que al pasar el rayo luminoso de un medio a otro de índice de refracción distinto, su trayectoria sufre una desviación mayor según disminuya su longitud de onda. El espectro obtenido a través de un prisma es poco preciso, por ello se utiliza un aparato llamado espectroscopio, mismo que proporciona un espectro claro y detallado.

Existen tres tipos de espectros.

Espectro de emisión

El espectro de emisión es el producido por cualquier tipo de manantial de luz, si se trata de un sólido incandescente produce un espectro continuo que contiene todas las longitudes de onda comprendidas entre sus dos límites. Cuando un gas es excitado eléctrica o térmicamente emite un espectro de líneas característico de él.

Así pues, la formación del espectro de líneas de cada elemento se debe a que los electrones emiten cantidades definidas de energía, por ello la luz es originada cuando los electrones, que se encontraban excitados y, por tanto, habían pasado de un nivel de energía menor a otro mayor, regresan a su nivel original y liberan su exceso de energía emitiéndola como radiación electromagnética, es decir, en forma de luz monocromática de longitud de onda perfectamente determinada por los niveles energéticos inicial y final en el seno (parte interna) del átomo. Los átomos de sodio gaseoso emiten una serie de líneas básicamente amarillas, las cuales son tan inconfundibles como la serie de líneas producidas por los átomos de otros elementos; tal como sucede con las huellas dactilares características de cada persona. **Kirchhoff** descubrió que todo elemento químico tiene un espectro de líneas de emisión característico, esto ha posibilitado a los físicos desarrollar la técnica del análisis espectral y catalogar con exactitud las líneas que constituyen el espectro de emisión de cada sustancia. Por tanto, si se desea conocer la naturaleza de una sustancia desconocida basta con observar su espectro de emisión, pues las distintas combinaciones químicas de un mismo elemento químico no alteran fundamentalmente su espectro. En conclusión, podemos afirmar que el origen del espectro de un elemento se encuentra en sus átomos.

Espectro de absorción

Cualquier sustancia de que se trate, absorbe el mismo tipo de luz que la que emite. Un espectro de absorción se presenta cuando a un cuerpo que emite un espectro continuo se le interpone un gas antes de llegar la luz al espectroscopio. Como el gas absorbe todas las longitudes de onda de igual índole de su espectro de emisión, al observar el espectro resultante en el aparato, se notarán unas líneas negras en los sitios correspondientes a las líneas características del espectro de emisión del gas absorbente. Los espectros de absorción permiten realizar análisis espectrográficos, por ejemplo: cuando se desea conocer la composición de la atmósfera de un astro carente de luz propia, pero que refleja la del Sol, se toma un espectrograma de su luz, se suprimen las líneas de absorción provocadas por la atmósfera terrestre y finalmente se comparan con un espectro solar a fin de determinar la composición de su atmósfera al descubrir a qué sustancias corresponden las otras líneas de absorción.

Espectro de rayos X

Otra manera de identificar sustancias se tiene al bombardear con rayos catódicos a la sustancia desconocida, dichos rayos al chocar con ella emiten rayos X cuya frecuencia dependerá de su número atómico. Al imprimir una placa fotográfica con los rayos X y comparar el espectro de líneas obtenido con espectros previamente determinados, se conocerá de qué sustancia se trata.

Espectro óptico del hidrógeno

Al observar el espectro de emisión del hidrógeno se nota una gran regularidad en las líneas, cada línea representa una radiación luminosa emitida por un electrón al pasar de un nivel de mayor energía a otro de menor energía. Rydberg encontró una ecuación empírica que

relaciona la longitud de onda de cada radiación con el nivel de energía de un electrón:

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\upsilon} = R\left(\frac{1}{n_1^{\,2}} - \frac{1}{n_2^{\,2}}\right)$$

donde:

λ = longitud de onda de la línea espectral en centímetros (cm)

$\bar{\upsilon} = \frac{1}{\lambda}$ = número de onda que representa el número de ondas por centímetro.

R = constante de Rydberg para el hidrógeno = 109 678 cm^{-1}

n_1 = número entero que puede ser 1, 2, 3, etc., según el nivel de energía menor al que pasa el electrón

n_2 = $(n_1 + 1)$, $(n_1 + 2)$, $(n_1 + 3)$,... etc., según el nivel mayor de energía del electrón

Para el espectro de emisión del hidrógeno se han observado distintas series espectrales que van desde el ultravioleta hasta el infrarrojo (figura 17.3). La única serie observable a simple vista es la de Balmer, las otras se determinan mediante espectrofotómetros.

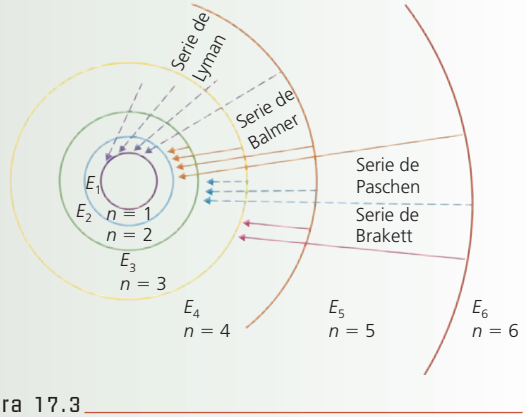


figura 17.3

En el espectro de emisión del hidrógeno se observan distintas series espectrales que van desde el ultravioleta hasta el infrarrojo.

La explicación de estas series se tiene al considerar el fenómeno llamado excitación atómica: cuando el único electrón del átomo de hidrógeno está en la órbita más cercana al núcleo ($n = 1$), se dice que el átomo se encuentra en su estado normal; pero si el electrón recibe energía y es forzado a pasar a otra órbita más alejada del núcleo, se dice que el átomo ha sido excitado. Una vez excitado, el átomo no durará mucho tiempo en ese estado, porque el electrón saltará a una órbita más cercana al núcleo debido a la atracción que éste ejerce sobre él. Al saltar a una órbita más cercana, el electrón pierde toda o parte de la energía que había ganado, ya que éste no regresa necesariamente hasta la órbita más interior en un solo salto, sino que puede hacerlo en varios saltos sucesivos emitiendo varias ondas electromagnéticas o **cuantos de energía** diferentes. Como resultado de la colisión de los electrones cada tipo de átomo tiene su propia serie de niveles de energía.

En la serie espectral visible de Balmer para el hidrógeno se tiene el paso de electrones desde niveles de energía 3, 4, 5, etc., a un nivel de energía 2 (figura 17.4).

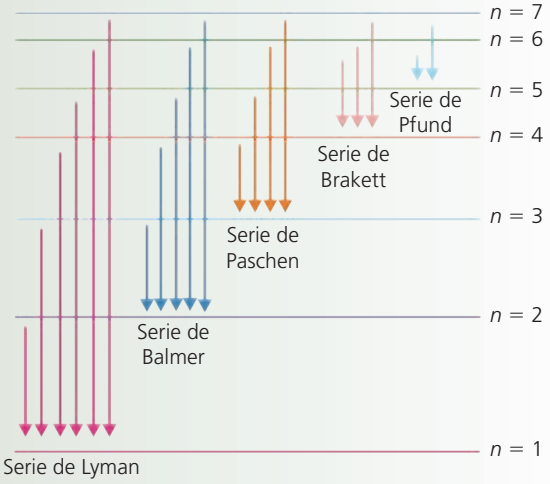


figura 17.4

Transiciones de los electrones entre los diversos niveles de energía del átomo de hidrógeno que dan origen a las diferentes series del espectro de dicho átomo.

Resolución de un problema con la ecuación de Rydberg

Si se desea calcular, con base en la ecuación empírica de Rydberg, la longitud de onda de la línea espectral que emitirá un electrón al saltar del nivel de energía 3 al 2 tenemos:

Datos

$\lambda = ?$

Fórmula

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_1^{\,2}} - \frac{1}{n_2^{\,2}}\right)$$

$R = 109\,678\ cm^{-1}$

$n_1 = 2$

$n_2 = 3$

Sustitución y resultado

$$\frac{1}{\lambda} = 109\,678\ cm^{-1}\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) = 109\,678\ cm^{-1}\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9}\right)$$

$$= 15\,355/cm$$

Este resultado representa el número de onda y nos señala que hay 15 355 ondas por cada centímetro. Para calcular la longitud de onda de la línea espectral emitida tenemos:

$$\lambda = \frac{1}{15355} = 6.5 \times 10^{-5} \text{ cm}$$

Como las longitudes de onda de los rayos luminosos son muy pequeñas, se expresan en una unidad práctica de longitud llamada Angstrom, en honor al científico sueco de ese nombre, y cuyo símbolo es Å. La equivalencia entre centímetros y angstroms es:

$$1 \text{ cm} = 10^8 \text{ Å}$$
$$1 \text{ Å} = 1 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

Al transformar el resultado del problema anterior a angstroms tenemos:

$$6.5 \times 10^{-5} \text{cm} \times \frac{10^8 \text{ Å}}{1 \text{ cm}} = 6.5 \times 10^3 \text{ Å}$$

Esta longitud de onda tiene un valor dentro del rango del color rojo (según la figura 17.5 del espectro visible del hidrógeno), por eso la radiación emitida a través del electrón se verá de ese mismo color. Cuando un electrón pasa de un nivel energético 4 al 2 emite una radiación de color verde, de nivel 5 al 2 es azul y del 6 al 2 es violeta (figura 17.5).

cuadro 17.1 Series espectrales

Series	n_1	n_2	Región espectral
Lyman	1	2, 3, 4, ...	ultravioleta
Balmer	2	3, 4, 5, ...	visible
Paschen	3	4, 5, 6, ...	infrarrojo
Brackett	4	5, 6, 7, ...	infrarrojo
Pfund	5	6, 7, 8, ...	infrarrojo

Es importante aclarar lo siguiente: al provocar una descarga eléctrica de alto voltaje en un tubo que contiene hidrógeno gaseoso, miles de átomos tienen a su único electrón saltando de un nivel de energía 3 al 2, al igual que miles de otros átomos saltan desde otros niveles de energía al 2. Ello permite observar la serie espectral completa de Balmer. Caso igual sucede para la serie de Lyman, pero en este caso, los electrones saltan de niveles de energía 2, 3, 4, etc., al nivel de energía 1.

Radiación del cuerpo negro, ley de Kirchhoff y ley de Stefan-Boltzman

Un cuerpo negro es aquel que absorbe toda la energía radiante incidente sobre él ya sea calorífica, luminosa o de cualquier otra índole; puede ser una superficie metálica ennegrecida o el carbón negro. No obstante, un cuerpo negro ideal sería una esfera hueca cuya superficie interna estuviera ennegrecida y provista de un pequeño agujero. Al entrar cualquier radiación por el agujero se reflejaría en las paredes de la esfera hasta quedar totalmente absorbida. Pero cuando un cuerpo negro está en equilibrio con sus alrededores radiará la misma cantidad de energía que absorbe. Por tal razón un cuerpo negro aparte de ser un buen absorbedor de energía es un buen radiador de ella.

En general, la cantidad de calor que absorbe o radia un cuerpo depende no sólo de su temperatura absoluta, sino también de la naturaleza de las superficies expuestas. La ley de Kirchhoff de la radiación señala: un cuerpo que

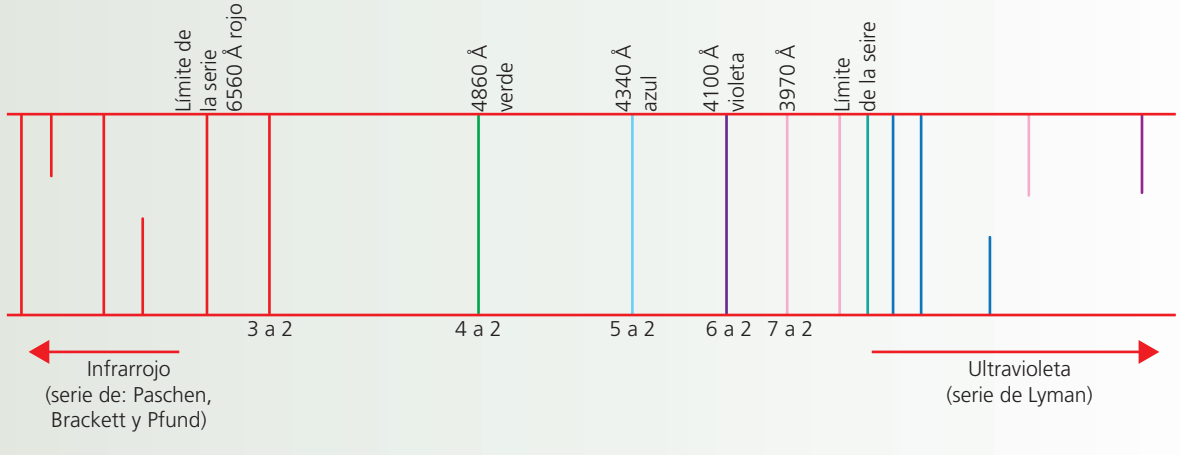


figura 17.5
Líneas características del espectro visible del hidrógeno (serie de Balmer).

es buen absorbedor de energía, también es buen emisor de ella. Cuanto más caliente esté un cuerpo, más energía radiante emite. La relación entre la energía calorífica radiada por un cuerpo negro y su temperatura, está dada por la ley de Stefan-Boltzman, la cual dice: la energía radiante emitida por un cuerpo negro en la unidad de tiempo y en cada unidad de área de superficie, es directamente proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta.

$$E = kT^4$$

donde:

E = energía radiada en J/s m^2

k = constante de proporcionalidad de Stefan-Boltzman igual a 5.6×10^{-8} W/m^{2}K^4

T = temperatura absoluta del cuerpo en grados Kelvin (K)

Ley del desplazamiento de Wien

La ley del desplazamiento de Wien [Wilhem Wien, físico alemán (1864-1928)] señala que la energía máxima radiada por un cuerpo caliente se desplaza a ondas cuya longitud de onda (λ) se traslada a ondas cada vez más cortas, a medida que se incrementa su temperatura absoluta (expresada en grados Kelvin) (figura 17.6).

Esto quiere decir que cuando la temperatura de un cuerpo se duplica, la energía radiada tendrá una longitud de onda ($\lambda_{máx}$) cuyo valor se ha desplazado a la mitad. Cuando la temperatura del cuerpo triplica su valor, el máximo de energía radiada se desplaza a 1/3 de la longitud de onda. La expresión matemática de la ley del desplazamiento de Wien es la siguiente:

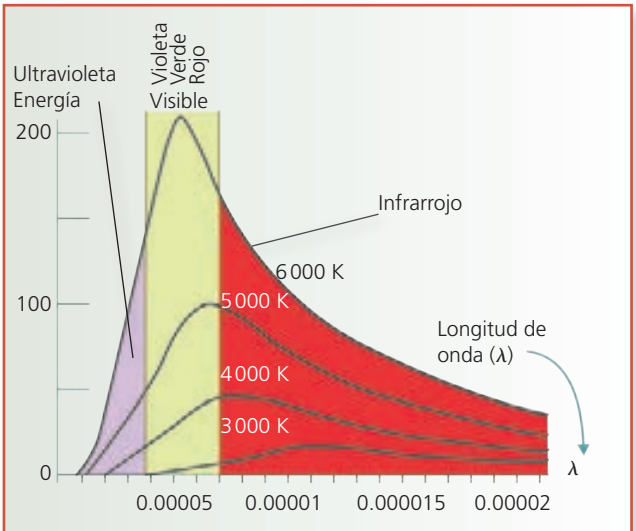


figura 17.6

A medida que se incrementa la temperatura absoluta de un cuerpo, la longitud de onda (λ) se desplaza a ondas cada vez más cortas.

$$\lambda_{máx}\, T = C$$

donde

$\lambda_{máx}$ = longitud de onda a la cual es radiada la máxima energía, se mide en cm

T = temperatura absoluta (K) del cuerpo

C = constante cuyo valor obtenido experimentalmente es igual a 0.2898 cm K

La longitud de onda máxima radiada por un cuerpo a cualquier temperatura se puede determinar al despejar $\lambda_{máx}$ y sustituir el valor de C en la ecuación anterior.

4 Átomo cuántico

Modelos atómicos de: Dalton, Thomson y Rutherford

Desde la antigüedad existe la idea de que la materia está constituida por átomos. Quinientos años antes de la era cristiana, Leucipo y Demócrito pensaban que todas las cosas de nuestro alrededor estaban constituidas por diminutas partículas a las cuales llamaron átomos porque creían que no podían dividirse.

Modelo atómico de Dalton

A principios del siglo XIX, John Dalton, físico y químico inglés, les asignó peso a los átomos y creó su teoría atómica bajo los siguientes postulados:

1. Toda la materia está formada por partículas muy diminutas llamadas átomos.
2. Todos los átomos de un mismo elemento tienen el mismo peso y son iguales entre sí.
3. Los átomos son indivisibles.
4. Los cambios químicos en la materia se producen debido a combinaciones entre los átomos.

Años más tarde, el físico y químico inglés **William Crookes** (1832-1919), descubrió los rayos catódicos (figura 17.7).

Los experimentos hechos por Crookes acerca del fenómeno producido cuando existe una fuerte diferencia de potencial entre dos electrodos o terminales metálicas localizadas en el interior de un tubo de vidrio al vacío, lo condujeron a observar lo siguiente: al aplicar una diferencia de potencial entre los electrodos, el terminal negativo o cátodo emitía rayos que se propagaban en línea recta hacia el terminal positivo o ánodo. Detectó también que los rayos producían fluorescencia de color

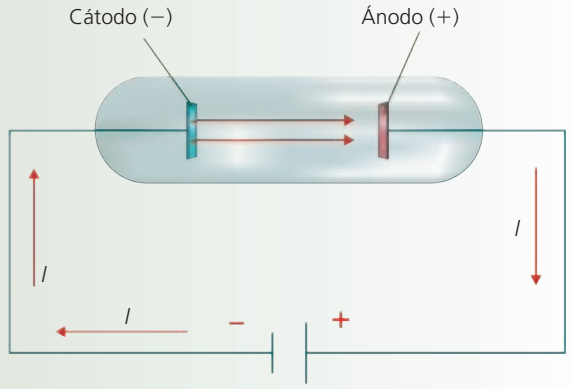


figura 17.7
Producción de rayos catódicos mediante una fuerte diferencia de potencial entre dos electrodos.

rojo en las paredes del tubo si el gas a baja presión era neón, o de color azul verdoso si era vapor de mercurio. Al interponer pequeños objetos en la trayectoria de los rayos, dichos objetos adquirían movimiento, lo cual demostraba el ímpetu y la energía de los rayos. Además descubrió que los rayos sufrían una deflexión (desvío) cuando se les sometía a la presencia de un campo magnético. Por último comprobó que los rayos presentaban las mismas características independientemente de que el metal del cual estaba hecho el cátodo fuera diferente. Como Crookes no pudo explicar cuál era la naturaleza de los rayos y sólo sabía que provenían del cátodo, los nombró rayos catódicos.

Modelo atómico de Thomson

Recuerde que la fluorescencia es la propiedad de algunos cuerpos que al ser expuestos a los rayos ultravioleta, rayos catódicos o rayos X, o a la radiación luminosa, transforman estas radiaciones y emiten otras con longitud de onda mayor, correspondientes al espectro visible. Los **rayos catódicos** provocan la fluorescencia de muchas sustancias, en especial de los sulfuros; por ello, las pantallas de televisión, de los osciloscopios y de aparatos de radiología, se cubren con esa sustancia. La **fluorescencia** permite en la oscuridad analizar y diferenciar dos sustancias aparentemente iguales, pues al bañarlas con una radiación invisible, cada una emite una radiación visible particular. También se emplea para descubrir falsificaciones de cuadros o pinturas famosas por medio de la identificación de los pigmentos de acuerdo con su fluorescencia característica.

La fosforescencia es la propiedad de algunos cuerpos que después de recibir radiaciones, visibles o no, resplandecen en la oscuridad durante un tiempo más o menos prolongado. Como podrá apreciar, la diferencia entre **fluorescencia y fosforescencia** está en que la luminiscencia del **cuerpo fluorescente** cesa en cuanto se suprimen las radiaciones que excitan sus átomos o moléculas, mientras que la **fosforescencia** de los cuerpos, especialmente los sulfuros alcalinos, puede prolongarse por varios días después de haber recibido una radiación intensa. Para obtener una fosforescencia permanente, se agrega a la sustancia fosforescente una sustancia radiactiva que la excitará permanentemente al emitir su radiación. Bajo este principio se fabrican los barnices luminiscentes de algunos relojes, de los instrumentos en la cabina de los aviones o de las miras de ciertas armas.

En 1897 el físico inglés Joseph Thomson demostró que los rayos catódicos eran pequeñísimas partículas cargadas negativamente, éstas eran emitidas por el metal que componía al cátodo y las nombró electrones. Al observar que las características de las partículas eran las mismas, Thomson consideró que los electrones estaban presentes en los átomos de un cuerpo cualquiera. Por tanto, propuso un modelo atómico integrado por electrones cuyo movimiento se daba en una esfera electrificada de manera positiva (figura 17.8), como si se tratara de un pastel de pasas, en el cual los electrones (las pasas) están incrustados en una masa uniforme con carga positiva (el pastel).

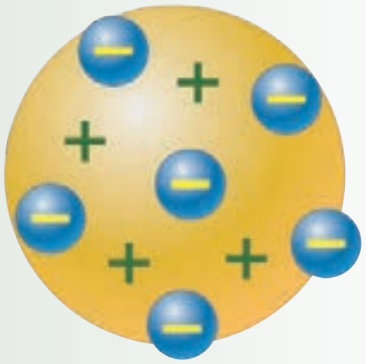


figura 17.8
Modelo atómico de Thomson o del pastel de pasas que descartó la idea de Dalton que consideraba al átomo como indivisible.

Modelo atómico de Rutherford

En 1913 el físico inglés **Ernest Rutherford** (1871-1937) concluyó su teoría del átomo nuclear después de realizar experimentos con el bombardeo de un haz de partículas alfa (núcleos de helio) a través de una lámina muy delgada de oro. Observó que la mayoría de las partículas pasaban a través de la lámina sin sufrir ninguna desviación por medio de la lámina, mientras otras eran rebotadas con una dirección casi opuesta a la de partida. Rutherford pensó que toda vez que las partículas alfa son positivas, la desviación sufrida por algunas

de ellas puede explicarse al considerar la existencia de una fuerte concentración de carga positiva en el interior de los átomos de oro bombardeados, la cual repele eléctricamente a las partículas alfa. Con estas observaciones Rutherford dedujo que el átomo tiene un núcleo central muy pequeño en el cual está concentrada toda la carga positiva de la mayor parte de la masa del átomo (más del 99%), núcleo que más adelante recibiría el nombre de núcleo atómico, y alrededor del mismo se encuentran distribuidos los electrones. Algo así como un sistema planetario en miniatura en el cual el núcleo haría el papel del Sol, y los electrones el de los planetas girando alrededor de éste (figura 17.9).

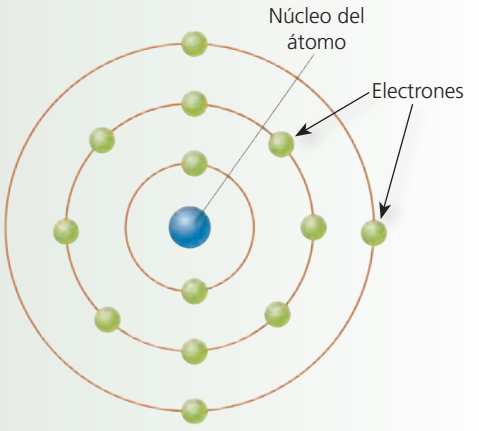


figura 17.9
Modelo atómico de Rutherford.

Teoría cuántica de Niels Bohr sobre la estructura del átomo

Niels Bohr, físico danés (1885-1962), Premio Nóbel en 1922, postuló que la Física clásica no puede explicar el comportamiento del átomo. Señaló que la descripción hecha por **Rutherford** de considerar un modelo atómico como si se tratara de un sistema planetario tenía sus objeciones, pues al girar los electrones en movimiento acelerado deberían radiar energía electromagnética a costa de una disminución en su energía cinética, esto provocaría que los electrones fueran cayendo por la atracción eléctrica del núcleo atómico y los cuerpos serían muy inestables en su constitución, lo cual no sucede en la realidad. Por otra parte, en caso de que la trayectoria de los electrones fuera en forma de espiral al acercarse al núcleo, habría un cambio constante en la frecuencia de la radiación electromagnética, por tanto, deberían producirse espectros continuos y no los espectros formados por líneas brillantes que se observan cuando un átomo está excitado. Con base en estas observaciones Bohr propuso su teoría cuántica de la estructura atómica con los siguientes postulados:

1. Los electrones al girar alrededor del núcleo lo hacen sólo en ciertas órbitas o niveles de energía definidos, denominados estados estacionarios del átomo.
2. Mientras los electrones giran en su nivel de energía correspondiente, no radian ningún tipo de energía electromagnética aunque su movimiento sea acelerado.
3. Cuando un electrón absorbe energía puede saltar a otro nivel de mayor energía, pero al descender a un nivel de menor energía emitirá la energía absorbida en cantidades definidas de ésta llamadas cuantos o fotones de radiación electromagnética.

Bohr encontró un apoyo a sus postulados acerca de la estructura del átomo, al explicar el porqué de las líneas del espectro del hidrógeno, pues señaló que cada línea del espectro se debía al salto de un electrón de un nivel de energía mayor a uno menor. De esta manera, Bohr dio una explicación lógica a las series espectrales encontradas por Lyman, Balmer, Pashen, Brackett y Pfund, fundamentando la ecuación empírica obtenida por Rydberg: $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_1^{\,2}} - \frac{1}{n_2^{\,2}}\right)$, que posibilita calcular las longitudes de onda de las radiaciones emitidas por los electrones.

Modificaciones de Sommerfeld a la teoría cuántica de Bohr sobre la estructura del átomo

Arnold Sommerfeld (1868-1951), físico alemán, modificó el modelo atómico de Bohr, basándose en la mecánica relativista y en la teoría cuántica, al proponer la existencia de órbitas elípticas y circulares a partir del segundo nivel de energía en el átomo. Consideró la subdivisión de los estados estacionarios del átomo en subniveles de energía y los designó con las letras *s*, *p*, *d*, *f*.

Números cuánticos y orbitales

Existen reglas y principios básicos que posibilitan establecer las estructuras electrónicas de los átomos, éstos son:

1. El número de electrones que pueden existir en un nivel de energía o capa está dado por la regla de saturación, dicha regla señala que el número máximo de electrones en un nivel de energía es igual a $2n^2$. Donde n es el número cuántico principal, es decir, la capa o nivel energético que puede ser 1, 2, 3,..., 7, además, también se les designa con letra: $K = 1$, $L = 2$, $M = 3$, etc. De acuerdo con esta regla de saturación tenemos:

   1er. nivel de energía K: $n = 1 \therefore 2(1^2) = 2$ electrones

   2o. nivel de energía L: $n = 2 \therefore 2(2^2) = 8$ electrones

3er. nivel de energía M: $n = 3 \therefore 2(3^2) = 18$ electrones

4o. nivel de energía N: $n = 4 \therefore 2(4^2) = 32$ electrones

Esta regla se cumple hasta el cuarto nivel, para los otros sólo se considera que en la última capa no puede haber más de 8 electrones.

2. El número de subniveles que hay dentro de cada nivel de energía es igual a su número cuántico principal. En el primer nivel de energía 1 o K sólo existe un subnivel u orbital llamado *s*. En el segundo nivel 2 o *L* hay dos subniveles: *s* y *p*. En el tercer nivel 3 o *M* son tres subniveles: *s*, *p* y *d*. En el cuarto nivel 4 o *N* existen cuatro subniveles: *s*, *p*, *d* y *f*.

3. La saturación de los subniveles *s*, *p*, *d* y *f*, es decir, el número máximo de electrones posible en cada subnivel es el siguiente:

Subnivel *s* tiene 2 electrones máximo.

Subnivel *p* tiene 6 electrones máximo.

Subnivel *d* tiene 10 electrones máximo.

Subnivel *f* tiene 14 electrones máximo.

Un electrón en un átomo puede encontrarse dentro de un espacio que rodea al núcleo. Si se fotografiara al electrón en las sucesivas posiciones que ocupa al girar alrededor del núcleo encontraríamos como resultado la imagen conocida como nube electrónica; la zona que ocupa la nube electrónica recibe el nombre de orbital.

Para describir las características de los diferentes tipos de orbitales atómicos, se usan los llamados números cuánticos: n, ℓ, m, s.

n es el número cuántico principal que se relaciona con la magnitud del volumen ocupado por el orbital dentro de la vecindad del núcleo y se refiere al nivel de energía o contenido energético por medio de valores enteros y positivos: $n = 1, 2, 3$, etc. Los electrones de igual valor n están en la misma capa o nivel energético.

ℓ es el número cuántico secundario que está relacionado con la forma del orbital donde es posible encontrar un electrón. Tiene diferentes formas y sus posibles valores están en función de n, por ello son números enteros que van desde cero hasta $n - 1$. Ejemplos: para $n = 1$, $\ell = 0$, pues $n - 1 = 1 - 1 = 0$, por tanto, en el nivel 1 sólo hay 1 subnivel u orbital *s* de forma esférica. Para $n = 2$, $\ell = 0$ y $\ell = 1$, ya que $n - 1 = 2 - 1 = 1$, por tanto, el nivel 2 tiene 2 subniveles u orbitales: 0 y 1. El cero en forma de esfera *s* y el uno en forma de hélice llamado *p* están en tres posiciones de acuerdo con los ejes cartesianos (figura 17.10).

Para $n = 3$, $\ell = 0$, $\ell = 1$ y $\ell = 2$ porque $n - 1 = 3 - 1 = 2$, de donde el nivel 3 tiene 3 subniveles u orbitales: 0, 1 y 2. El cero en forma de esfera *s* el uno en forma de hélice *p* y el dos en forma de pera doble *d* y tiene cinco posiciones: d_{xy}, d_{xz}, d_{yz}, $d_{x^2y^2}$, d_{z^2}. Para $n = 4$, $\ell = 0$, $\ell = 1$, $\ell = 2$, $\ell = 3$ ya que $n - 1 = 4 - 1 = 3$. Así, el nivel 4 tiene 4 subniveles: *s*, *p*, *d* y *f*. El subnivel *f* tiene una forma difícil de definir, tiene siete posiciones diferentes y 14 electrones como máximo. Por consiguiente, no es posible hablar de la posición exacta que tendrá un electrón alrededor de su núcleo atómico, sino únicamente de la probabilidad relativa de encontrarlo en un espacio determinado por su orbital.

m es el llamado número cuántico magnético. Como los electrones son cargas eléctricas en movimiento producen un campo magnético, mismo que influye en la posición u orientación de las nubes de electrones. El número cuántico m se refiere a la posición u orientación del subnivel, puede tener los valores enteros desde $-\ell$ hasta $+\ell$ pasando por cero, es decir, $2\ell + 1$ valores u orientaciones diferentes.

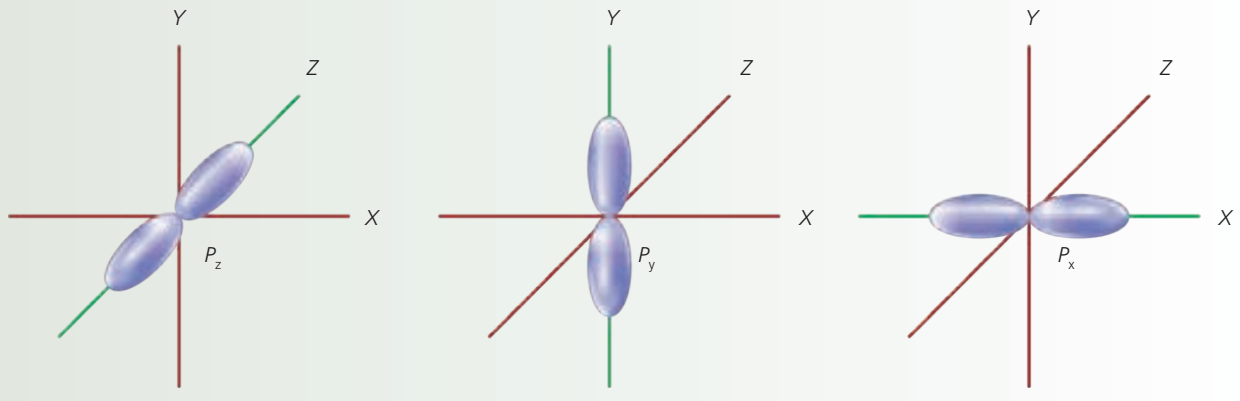


figura 17.10

Subniveles u orbitales *p* en forma de hélice.

s es el número cuántico llamado *spin* que significa girar. Un electrón se desplaza alrededor de su núcleo atómico girando sobre sí mismo en un movimiento de rotación como el de la Tierra llamado *spin* del electrón, en dos direcciones de izquierda a derecha, y de derecha a izquierda. Esto permite afirmar que el número máximo de electrones en un subnivel u orbital es únicamente de dos. El spin del electrón tiene dos valores: +1/2 y − 1/2, y se representan por flechas: +1/2 = ↑, −1/2 = ↓.

Finalmente, para establecer la estructura electrónica de un átomo debemos considerar los dos principios siguientes.

Principio de exclusión de Pauli

En un mismo átomo los cuatro números cuánticos de dos electrones no pueden ser iguales, cuando menos uno debe ser diferente, pues dos electrones no pueden estar en el mismo lugar al mismo tiempo.

Principio de máxima multiplicidad

Los electrones van llenando los orbitales disponibles del mismo valor de energía, ocupándolos de uno en uno antes de formar pareja o apareamiento.

Para registrar la estructura electrónica de un átomo se señala el número de electrones que tiene en cada subnivel u orbital con un número como exponente en la letra que lo representa: $1s^2$, $2s^1$, esto quiere decir que en el nivel 1 de energía subnivel *s* hay 2 electrones, en el nivel 2 de energía subnivel *s* existe 1 electrón, por tanto, en total hay 3 electrones en ese átomo. A esta forma de representar la estructura del átomo se le llama modelo diagramático.

A continuación representaremos en forma diagramática la estructura de los átomos de hidrógeno, helio, sodio y aluminio.

Hidrógeno: número atómico 1

$$_1\text{H:}\ \frac{1s^1}{\uparrow}$$

Helio: número atómico 2

$$_2\text{He:}\ \frac{1s^2}{\uparrow\downarrow}$$

Sodio: número atómico 11

$$_{11}\text{Na:}\ \frac{1s^2}{\uparrow\downarrow}\ \frac{2s^2}{\uparrow\downarrow}\ \frac{2p_x^{\,2}}{\uparrow\downarrow}\ \frac{2p_y^{\,2}}{\uparrow\downarrow}\ \frac{2p_z^{\,2}}{\uparrow\downarrow}\ \frac{3s^1}{\uparrow}$$

Aluminio: número atómico 13

$$_{13}\text{Al:}\ \frac{1s^2}{\uparrow\downarrow}\ \frac{2s^2}{\uparrow\downarrow}\ \frac{2p_x^{\,2}}{\uparrow\downarrow}\ \frac{2p_y^{\,2}}{\uparrow\downarrow}\ \frac{2p_z^{\,2}}{\uparrow\downarrow}\ \frac{3s^2}{\uparrow\downarrow}\ \frac{3p_x^{\,1}}{\uparrow}$$

Principio de indeterminación de Heisenberg

Resulta comprensible que si deseamos conocer la posición y la velocidad de un cuerpo macroscópico, como lo es una pelota de básquetbol, bastará con tomar una serie de fotografías espaciadas durante su movimiento. Sin embargo, para una partícula microscópica lo anterior no es posible, pues para verla se necesita iluminarla. Por ejemplo: si se tratara de un electrón los fotones de la luz al chocar con él lo perturbarían. En otras palabras, no es posible conocer la posición y la velocidad de una partícula al mismo tiempo, toda vez que cuando la medición de su posición se hace más precisa la determinación de su velocidad se vuelve más imprecisa y viceversa. Sobre la incertidumbre de la medición de estas variables se dice que el producto de la incertidumbre de una de ellas por el de la otra siempre es superior a la constante de Planck. Heisenberg explica este fenómeno mediante su principio de indeterminación o incertidumbre, el cual dice: es imposible conocer con exactitud a la vez la posición y la velocidad de una partícula microscópica en movimiento.

5 Teoría cuántica de Planck

Como ya se mencionó, las ondas mecánicas son resultado de una perturbación y para su propagación en forma de oscilaciones periódicas es necesaria la existencia de un medio material. Tal es el caso de las ondas producidas en un resorte, una cuerda, en el agua o las producidas en algún medio por el sonido. Dado que estas ondas mecánicas provienen de fuentes de vibración, se puede considerar que las radiaciones electromagnéticas también son emitidas por un oscilador a una determinada longitud de onda y frecuencia. Sin embargo, hay grandes diferencias en su comportamiento, por ejemplo: si a un diapasón se le aplica un pequeño golpe, debido a su vibración emitirá un sonido con una consecuente pérdida en su energía. Si ahora le damos otro golpe suministrándole una cantidad de energía representada por *E*, pero inmediatamente tratamos de detener su vibración a fin de que la energía transformada en sonido sea sólo de 1/3 *E* o de 1/2 *E*; de acuerdo con la mecánica clásica esto es perfectamente válido, pues se acepta que un oscilador puede ganar o perder cualquier cantidad de energía. No obstante, para un oscilador de frecuencia natural, el físico alemán Max Planck (1858-1947) consideró: para el caso de osciladores que emiten

radiaciones electromagnéticas no es posible aceptar la ganancia, o la pérdida, de cualquier cantidad fraccionaria de energía, sino sólo es posible hacerlo en cantidades discretas o en paquetes de energía radiante, formulando las siguientes teorías:

1. Un oscilador no puede tener cualquier cantidad de energía, sino cantidades discretas de ella constituidas en paquetes; **el paquete básico de energía para todo oscilador recibe el nombre de cuanto.**
2. La energía de un cuanto es igual a la frecuencia del oscilador f multiplicada por una constante h llamada constante de Planck: $\boldsymbol{E = hf}$.
3. Un oscilador sólo puede absorber o radiar energía en paquetes o cuantos que siempre son múltiplos enteros de hf y no partes fraccionarias de ellos.

Así pues, un cuanto es una porción de energía que posee, emite o absorbe una fuente de ondas electromagnéticas, es decir, un oscilador de frecuencia natural (figura 17.11).

Es importante señalar que Planck propuso que los cuantos emitidos por un oscilador se fusionan para formar ondas continuas.

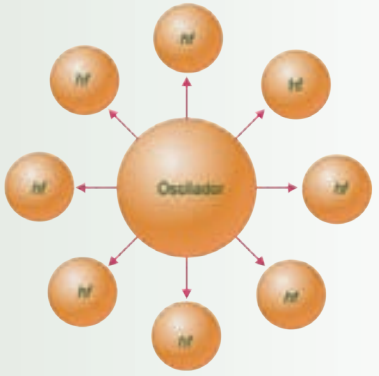


figura 17.11

Oscilador de frecuencia natural radiando energía en paquetes discretos o cuantos cuya energía es igual a hf.

Constante de Planck

La constante de Planck se utiliza para calcular la energía emitida por un cuanto de radiación electromagnética, se representa con la letra h y su valor en el Sistema Internacional de Unidades es igual a:

$$h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ joules segundo}$$

Resolución de un problema de teoría cuántica

Calcular la energía de un cuanto de luz producida por una radiación electromagnética cuya longitud de onda es de 6×10^{-7} m.

Solución:

Datos

$E = ?$

$\lambda = 6 \times 10^{-7}$ m

$h = 6.62 \times 10^{-34}$ J s

$f = ?$

$v = 300\,000$ km/s

$= 3 \times 10^{8}$ m/s

Fórmulas

$v = \lambda f \quad \therefore \quad f = \dfrac{v}{\lambda}$

$E = hf$

Sustitución y resultados

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{3 \times 10^{8}\,\text{m/s}}{6 \times 10^{-7}\,\text{m}} = 0.5 \times 10^{15}\,\text{s}^{-1}$$

$$E = hf = 6.62 \times 10^{-34}\,\text{J s} \times 0.5 \times 10^{15}\,\text{s}^{-1}$$

$$= 3.31 \times 10^{-19}\,\text{J}$$

La energía que tiene un cuanto es mayor a medida que aumenta su frecuencia.

Nota: Para cuantificar la energía, nos resulta muy familiar usar el joule (J); sin embargo, en la física atómica se usa el electrón-volt (eV) para referirse a la energía de las partículas. La equivalencia entre el electrón-volt y el joule es la siguiente:

$$1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\,\text{J}$$

Como se puede apreciar, el electrón-volt es una unidad muy pequeña de energía y se define como **la energía cinética que adquiere un electrón al ser acelerado por una diferencia de potencial de un volt.**

Efecto fotoeléctrico y su explicación por Einstein de acuerdo con la teoría cuántica

El efecto fotoeléctrico es el proceso mediante el cual la radiación luminosa desprende electrones de las superficies metálicas. Por tanto, este efecto consiste en la transformación de energía luminosa a energía eléctrica, cuando un rayo de luz de determinada frecuencia incide sobre una placa metálica arrancándole un haz de electrones, **por lo cual se genera una corriente eléctrica** (figura 17.12).

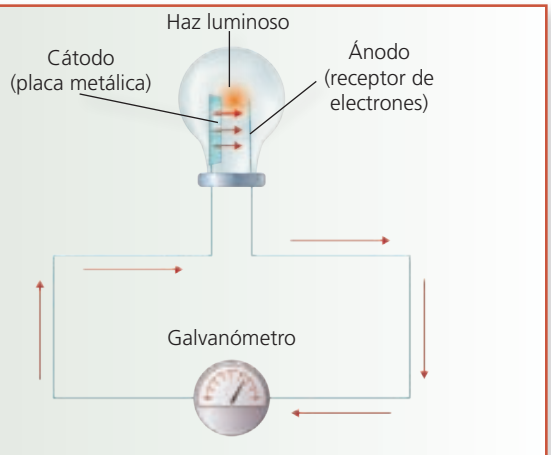


figura 17.12

Efecto fotoeléctrico producido al incidir un haz luminoso sobre una placa metálica.

Las conclusiones que se obtienen al realizar experimentos sobre el efecto fotoeléctrico son:

1. La cantidad de electrones desprendida de la placa metálica es mayor a medida que recibe más iluminación, es decir, más cuantos.

   Nota: En el caso de radiaciones luminosas el cuanto recibe el nombre particular de **fotón**.

2. La magnitud de la velocidad que adquieren los electrones al ser desprendidos de la placa metálica depende únicamente de la frecuencia de las ondas luminosas, por lo cual es independiente de la mayor o menor iluminación que recibe la superficie.

3. La emisión de electrones de la placa metálica se realiza inmediatamente después que ha incidido sobre ella el haz luminoso.

En 1905 **Albert Einstein** publicó cinco trabajos como producto de importantes investigaciones, uno de ellos se refería al efecto fotoeléctrico. Este trabajo y otros sobre Física teórica le permitieron obtener el Premio Nóbel de Física en 1921. Einstein afirmó que un cuanto de luz, es decir, un fotón de determinada energía, es absorbido por un átomo de un sólido y es capaz de arrancarle un electrón. Por tanto, si sobre una placa metálica se hace llegar un haz luminoso más intenso, o sea, con un mayor número de fotones, cada fotón arrancará un electrón generándose una mayor corriente eléctrica. Señaló también que si el haz luminoso tiene una longitud de onda larga y debido a ello una frecuencia menor, los fotones tendrán poca energía y no serán capaces de arrancar ningún electrón.

Einstein aplicó la **teoría cuántica de Planck** y consideró que si la energía de un fotón es igual a hf, la energía cinética de un electrón al ser arrancado será igual a:

$$\frac{1}{2}mv^2 = hf$$

Sin embargo, como el electrón pierde energía al ser arrancado y escapar de la superficie del metal, su energía cinética máxima será:

$$\frac{1}{2}mv^2_{\text{máx}} = hf - W_0$$

W_0 recibe el nombre de función trabajo y representa la energía perdida por el electrón al escapar del metal. Por tanto, un electrón sólo podrá ser arrancado del metal si la energía del fotón es mayor que la función trabajo. Como la intensidad de una emisión luminosa depende del número de fotones que contiene, mientras que su energía depende de la frecuencia de los fotones, se observará que sobre una placa metálica puede estar llegando una gran cantidad de luz de baja frecuencia sin desprender electrones, mientras un haz luminoso poco intenso, pero de alta frecuencia, como es el caso de la luz violeta arrancará electrones de la placa en forma inmediata.

El efecto fotoeléctrico tiene varias aplicaciones prácticas, tal es el caso de las celdas fotoeléctricas llamadas también ojos eléctricos (figura 17.13) y que se utilizan para mantener abiertas las puertas de los elevadores, en alarmas contra robos, para el encendido automático del alumbrado público al oscurecerse el día, para la reproducción del sonido en las cintas fílmicas, entre otras.

El efecto fotoeléctrico y sus características muy particulares como son: que el número de electrones que se desprenden es proporcional al número de fotones incidentes en la placa metálica, y la magnitud de la velocidad adquirida por los electrones al ser desprendidos depende sólo de la frecuencia del haz luminoso y no de su intensidad luminosa, hace pensar que la luz está formada por partículas o corpúsculos y no por ondas. Pero entonces, ¿es la luz una onda o son corpúsculos? Actualmente se considera que la luz tiene una naturaleza dual, pues algunas veces se comporta como onda y en otras como partícula. Por tanto, la luz es una energía radiante transportada a través de

fotones y transmitida por un campo ondulatorio, debido a ello la teoría corpuscular es requerida para el análisis de la interacción de la luz con la materia.



figura 17.13
Ojo eléctrico.

Efecto Compton

El físico estadounidense **Arthur Holly Compton** (1892-1962) obtuvo el Premio Nóbel de Física en 1927 por sus trabajos sobre los rayos X y la teoría corpuscular de la luz. El efecto Compton se presenta cuando un rayo X sufre una colisión con un electrón. Compton descubrió este efecto al experimentar con rayos X, los cuales fueron dirigidos contra una de las caras de un bloque de carbón (figura 17.14). Al chocar los rayos X con el bloque se difundieron en varias direcciones; a medida que el ángulo θ de los rayos difundidos aumentaba también se incrementaba su longitud de onda.

Con base en la **teoría cuántica**, Compton afirmó que el efecto se debía a que el cuanto de rayos X actúa como una partícula material al chocar contra el electrón, por lo cual la energía cinética ($1/2\ mv^2$) que el cuanto le comunica al electrón le representa una pérdida en su energía original hf. Por tanto, el cuanto al ser difundido tendrá una menor energía (hf'), pues ha aumentado su longitud de onda y ha disminuido su frecuencia. Es evidente que la energía original del cuanto de rayos X antes del impacto equivale a:

$$hf = hf' + \frac{1}{2}\,mv^2$$

Compton encontró que para calcular la longitud de onda de un cuanto después del impacto, se requiere conocer el ángulo θ descrito y aplicar la siguiente ecuación:

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_o C}\left(1 - \cos\theta\right)$$

donde:

λ' = longitud de onda del cuanto después del impacto con el electrón en metros (m)

λ = longitud de onda del cuanto antes del impacto en metros (m)

$\frac{h}{m_o C}$ = longitud de onda de Compton equivalente a 2.43×10^{-12} m

θ = ángulo del cuanto después del impacto

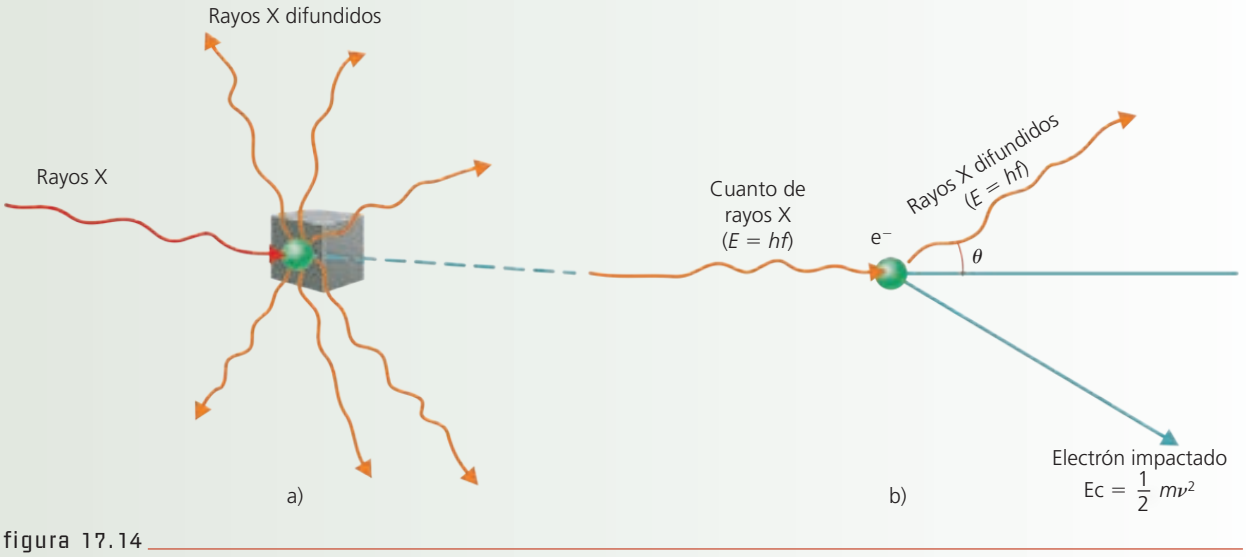


figura 17.14
Efecto Compton. En (*a*) vemos a los rayos *X* impactándose contra un bloque de carbón. En (*b*) se observa el impacto de un cuanto de rayos *X* sobre un electrón. La energía original del cuanto de rayos *X* es: $hf = hf' + 1/2\ mv^2$.

Rayos X

Los rayos X fueron descubiertos por el físico alemán **Guillermo Roentgen** (1845-1923). Dichos rayos son de pequeña longitud de onda cuyo orden de magnitud es de 1 Å, es decir, 1×10^{-10} m, esto implica que su frecuencia sea muy alta.

Un tubo de rayos X (figura 17.15) consta de un cátodo con filamento de tungsteno incandescente que emite electrones; un ánodo hecho también de tungsteno provisto de un sistema de refrigeración para evitar un sobrecalentamiento; y un tubo de cristal sometido a un alto vacío que contiene a ambos electrodos, tiene una abertura obturada por una chapa de aluminio a través de la cual sale el haz de rayos X.

Los rayos X se producen de la siguiente manera: el cátodo caliente emite una gran cantidad de electrones altamente acelerados, éstos al chocar en forma violenta contra el ánodo son frenados de manera brusca perdiendo parte de su energía cinética, la cual es convertida en **radiaciones electromagnéticas** de elevadísima frecuencia y pequeña longitud de onda denominadas rayos X. La producción de rayos X se explica mediante el efecto Compton, pues la energía cinética perdida por los electrones es convertida en radiación.

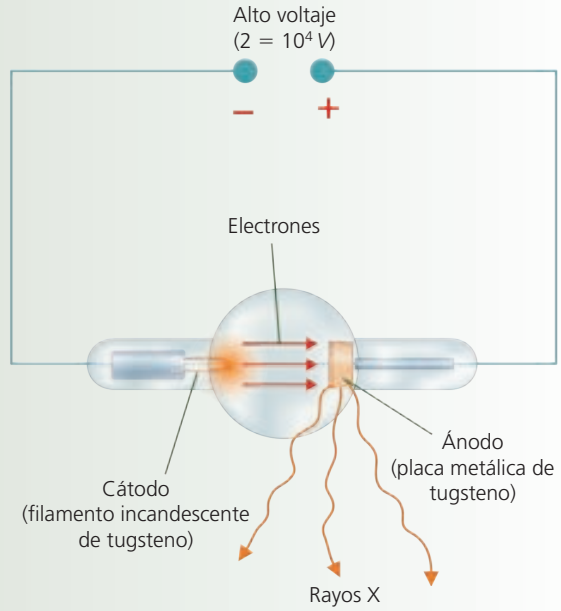


figura 17.15
Producción de rayos X.

6 Partícula–onda (mecánica ondulatoria)

Hemos aprendido que las leyes de la mecánica clásica sólo se aplican al estudio del movimiento de los **cuerpos macroscópicos**. Pero al estudiar el movimiento de las partículas, la Física atómica tuvo que considerar nuevas hipótesis. La **mecánica cuántica** aplicable a las partículas: átomo, electrón, núcleos atómicos, etc., nos señala lo siguiente: la energía solamente puede ser absorbida o emitida por cantidades discretas o paquetes llamados cuantos o quanta, y afirma que la luz también es emitida y absorbida en dichas cantidades discretas o paquetes. Además, la luz presenta contradicciones en su comportamiento, ya que al difractarse o sufrir fenómenos de interferencia se comporta como una onda en su propagación, pero al interaccionar con sustancias fotosensibles les arranca electrones y se comporta no como onda sino en forma de corpúsculos que hieren a la materia manifestándose como diminutos proyectiles. La **mecánica ondulatoria** termina con la contradicción y considera que **onda y corpúsculo son dos aspectos complementarios de la misma realidad**, por eso **toda partícula en movimiento se encuentra asociada a una onda**.

Luis de Broglie nació en 1892; fue el creador de la mecánica ondulatoria y obtuvo el Premio Nóbel de Física en 1929. Propuso la idea de que una partícula puede comportarse como una onda, por ello, una onda asociada a una partícula recibe el nombre de onda de Broglie. Este físico determinó que la longitud de onda de una partícula se encuentra con la ecuación:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

donde:

- λ = longitud de onda de la partícula
- h = constante de Planck
- m = masa de la partícula
- v = magnitud de la velocidad de la partícula

La hipótesis de Broglie fue comprobada más tarde al observarse el fenómeno de **difracción en los electrones y otras partículas**.

Grupo Editorial Patria

7 Partículas elementales, antipartículas y antimateria

Reciben el nombre de partículas elementales o fundamentales los corpúsculos materiales de dimensiones muy pequeñas que constituyen a los átomos o que son originados por la transformación de las partículas constitutivas de los mismos. El átomo de cualquier elemento está compuesto por un núcleo formado por protones y neutrones, alrededor del cual gravitan electrones; sin embargo, los físicos han descubierto muchas otras partículas cuya existencia es efímera. Incluso puede decirse que a excepción del protón, el electrón y sus antipartículas antiprotón y antielectrón, todas las demás partículas elementales son inestables y se desintegran en partículas más ligeras que ellas. Por ejemplo: el neutrón, al desintegrarse, emite un protón, un electrón y un neutrino, éste es difícil de detectar porque carece de carga eléctrica; el mesón pi (π) emite, al desintegrarse, un mesón mu (μ) y un neutrino.

En la actualidad se considera que cada partícula elemental tiene su antipartícula, caracterizada por tener distinta carga eléctrica o diferente momento magnético, sólo se exceptúan al mesón pi neutro y al fotón. En virtud de que la lista de partículas elementales es grande y aún sigue creciendo, se han clasificado en tres grupos principales:

a) Bariones, son las más pesadas pues su masa es igual o superior a la del protón y se subdividen en nucleones (protón y neutrón) y en hiperones (partículas lambda, omega, sigma).

b) Mesones, partículas de masa intermedia entre el electrón y el protón, que tienen alta energía y pertenecen a las radiaciones cósmicas u originadas artificialmente por potentes aceleradores de partículas. Se dividen en dos grupos: mesones pi (π) o piones, y mesones ka (k) o kaones (los mesones mu μ actualmente se consideran como leptones). Los mesones pi existen en las tres formas: positivo (π^+), negativo (π^-) y neutro (π^0). Los mesones pi positivo y negativo tienen una masa igual a 274 veces la del electrón y cada uno de ellos es la antipartícula del otro; tienen una vida media de 25×10^{-9} segundos, y al desintegrarse emiten un mesón mu y un neutrino. El estudio de los mesones es de gran relevancia, pues según la Teoría Yukawa las fuerzas nucleares se deben a intercambios de mesones entre las partículas que reaccionan en el núcleo. Es decir, los mesones pueden considerarse como el adhesivo que mantiene unidos a los protones y neutrones del núcleo atómico.

c) Leptones son las partículas más ligeras como el electrón, neutrino y muón.

d) Por último, podemos mencionar al fotón, partícula asociada a las radiaciones luminosas y cuya masa en reposo es igual a cero.

Al tomar en cuenta que la materia puede transformarse en energía y viceversa, las partículas atómicas bajo ciertas condiciones desaparecerían y darían paso a una emisión de **ondas electromagnéticas**. Además, dichas ondas podrían materializarse y **crearían partículas**. Por ejemplo, los rayos gamma que son de alta energía, cuando están sometidos a la acción del campo electromagnético de un núcleo atómico o de un electrón, pueden transformarse en un par de electrones, uno de ellos normal, es decir, negativo, y otro de carga positiva que será la antipartícula del electrón llamado antielectrón.

La existencia comprobada de las antipartículas ha originado la idea de la antimateria constituida como la materia común, pero con sus antipartículas. Por consiguiente, puede pensarse en la existencia de átomos en los cuales el núcleo estará compuesto por antineutrones y antiprotones, alrededor de los que gravitarían antielectrones. Si estos átomos de antimateria pudieran interaccionar con átomos de materia común, se produciría una aniquilación de ambos, **transformándose las partículas en radiación electromagnética**. Demostrar la existencia de los átomos antimateria es uno de los retos importantes a los que se enfrenta la Física atómica.

8 Radiactividad

La radiactividad es el fenómeno que consiste en la desintegración espontánea o decaimiento de los núcleos atómicos de ciertos elementos, acompañada de emisión de partículas o de radiaciones electromagnéticas. La radiactividad se presenta en los elementos más pesados de la tabla periódica, a partir del elemento 83 que corresponde al bismuto.

Fue el físico francés **Antoine Henri Becquerel** (1852-1908) el primero en descubrir la radiactividad al observar que el uranio producía un tipo de rayos capaz de atravesar varias hojas de papel negro e impresionar una placa fotográfica colocada al otro lado. Dichos rayos invisibles, pero penetrantes, emitidos por los elementos radiactivos, recibieron el nombre de rayos Becquerel. **Rutherford**, con base en sus experimentos (figura 17.16), encontró que los **rayos Becquerel** eran de tres tipos: ra-

yos α (alfa), constituidos por átomos de helio doblemente ionizados al haberles arrancado sus dos electrones, es decir, núcleos de helio cargados positivamente al tener en su interior 2 protones y 2 neutrones; rayos β (beta), que no eran otra cosa que electrones comunes; y rayos γ (gamma), ondas electromagnéticas de mayor energía que los rayos X.

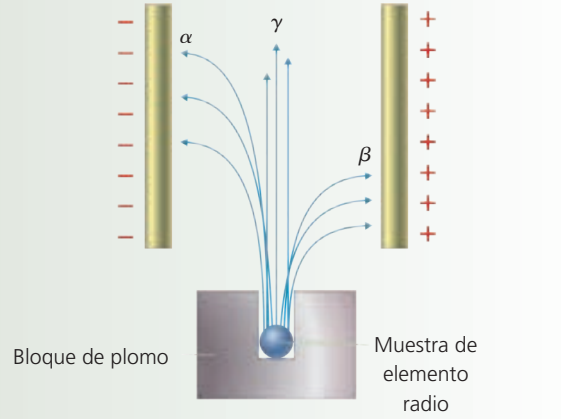


figura 17.16

Desviación de dos de los rayos Becquerel [alfa α y beta β] ante la presencia de un campo eléctrico.

Como se observa en la figura 17.16, los rayos α por ser núcleos de helio con carga positiva se desvían dirigiéndose a la placa cargada negativamente; los rayos β o electrones son atraídos hacia la placa positiva, y los rayos γ al ser ondas electromagnéticas sin carga eléctrica no son desviados.

Mediante el empleo de potentes aceleradores de partículas se puede producir radiactividad artificial, ello se logra al activar cuerpos por medio de bombardeos atómicos hasta convertirlos en isótopos radiactivos. También es posible producir radiactividad inducida cuando un cuerpo inactivo se encuentra cerca de un cuerpo radiactivo.

Isótopos y radioisótopos

Un isótopo de un elemento químico es aquel que tiene el mismo número de protones, pero diferente número de neutrones. Por ejemplo: el hidrógeno tiene tres isótopos, uno es el hidrógeno natural con un solo protón y ningún neutrón, otro es el llamado deuterio que tiene un protón y un neutrón (combinado con el oxígeno produce el agua pesada), y por último está el tritio compuesto por un protón y dos neutrones. El uranio también presenta tres isótopos: $_{92}U^{234}$, $_{92}U^{235}$ y $_{92}U^{238}$. Por tanto, los átomos con diferentes masas atómicas, pero que pertenecen al mismo elemento químico y tienen el mismo número atómico (número de protones en el núcleo), son los denominados **isótopos**. Cuando un isótopo es capaz de emitir radiaciones en forma espontánea recibe el nombre de radioisótopo.

Pueden obtenerse radioisótopos artificiales al bombardear con neutrones algunos elementos químicos. Por ejemplo: al bombardear con neutrones durante un cierto tiempo a una masa estable de fósforo 31 (15 protones y 16 neutrones), los núcleos absorben un neutrón y se obtiene fósforo 32 o radiofósforo (15 protones y 17 neutrones), el cual es inestable y por tanto radiactivo. El descubrimiento de la **radiactividad artificial** ha sido uno de los logros más importantes de la física nuclear, ya que actualmente se produce en la industria una gran variedad de elementos radiactivos con múltiples aplicaciones en la investigación científica, la medicina, la agricultura y la industria (figura 17.17).



figura 17.17

Este símbolo se utiliza para indicar la presencia de materiales radiactivos.

Vida media de un elemento radiactivo

Los núcleos de un elemento radiactivo no se desintegran al mismo tiempo. Al observar la desintegración de diferentes elementos radiactivos se encuentra que unos tardan más en desintegrarse que otros, es decir, mientras unos se desintegran en billonésimas de segundo, otros tardan miles de años.

La semidesintegración o vida media de un elemento radiactivo es el tiempo que tarda la mitad de una cierta cantidad inicial del elemento en desintegrarse en otro diferente. Por lo general no basta con una desintegración para que un elemento inestable se convierta en otro estable, pues después de un tiempo que depende de su vida media se desintegra y produce a la vez un nuevo

elemento radiactivo y así sucesivamente hasta una última desintegración que da un elemento estable no radiactivo. Hoy sabemos que la desintegración natural de los elementos más pesados de la tabla periódica termina al obtener átomos estables de plomo. Cuando decimos que la vida media del elemento radio es de 1 622 años, significa que en ese tiempo la mitad de una cantidad dada de ese elemento se desintegra convirtiéndose en radón. De manera que deberán transcurrir otros 1 622 años para que la mitad restante se desintegre dejando sólo el 25% de la cantidad original, y así sucesivamente.

La desintegración del elemento radio puede representarse de la siguiente manera:

$$_{88}Ra^{226} \longrightarrow {}_{86}Rn^{222} + \alpha$$

La ecuación anterior señala que el radio con número atómico 88 y masa atómica 226 (88 protones y 138 neutrones), se desintegra obteniéndose un átomo de radón y una partícula α, es decir, un núcleo de helio con carga positiva.

Hay tres series o familias radiactivas: la del radio 226, la del actinio 227 y la del torio 232.

Aplicaciones prácticas y peligros que presentan las radiaciones

Existen muchas aplicaciones prácticas de las radiaciones, tanto en la industria como en la medicina, en la investigación científica y en la agricultura. Por ejemplo, el radiocobalto 60, isótopo del cobalto, se emplea para destruir tejidos cancerosos mediante la utilización terapéutica de las radiaciones emitidas por dicho elemento. También pueden curarse tumores de la glándula tiroides al introducir yodo en la misma y después inyectarle al paciente un **isótopo radiactivo** de ese elemento, el cual al ser arrastrado por la circulación sanguínea se fija justo en el lugar que desea curarse.

Debido al poder penetrante de los rayos emitidos por un elemento radiactivo, que les permite atravesar la materia, y a la facilidad con la cual pueden ser detectados y medidos por los contadores de Geiger y los cintillómetros, tenemos que al agregar isótopos radiactivos a los abonos y explorando continuamente las plantas con dichos instrumentos puede determinarse la rapidez de asimilación de los abonos y la parte de los vegetales en donde se fijan de manera selectiva según el tipo de abono.

En las naves espaciales se usan generadores de energía eléctrica basados en el uso de radioisótopos. Como la desintegración de los átomos produce calor, un elemento radiactivo se coloca en una cámara metálica que en sus paredes tiene pares termoeléctricos. Cada uno de éstos transforma el calor de la pared en una débil corriente eléctrica y el acoplamiento de todos ellos permite obtener una intensidad y potencia suficientes para hacer funcionar algunos dispositivos electrónicos que lleva la nave (figura 17.18).

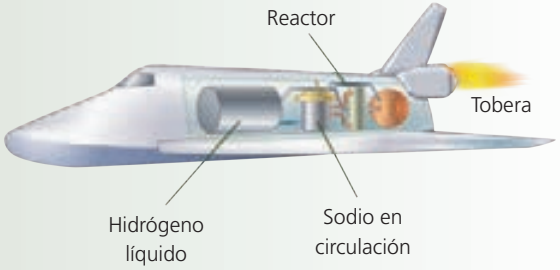


figura 17.18

En un cohete de motor nuclear, la sustancia que produce la energía calorífica es una sustancia radiactiva.

Como los rayos emitidos por los elementos radiactivos son ionizantes, tenemos que si la irradiación es suficientemente intensa y prolongada, no sólo sufren modificaciones los átomos, sino también las células, las cuales después de transformadas pueden ser destruidas. La transformación accidental de genes en las células sexuales puede provocar mutaciones y hacer que el individuo irradiado engendre descendientes anormales. Sin embargo, en nuestros días se experimenta con animales y plantas a los que se les provocan mutaciones al exponerlos a radiaciones controladas y se han obtenido especies mejoradas como es el caso de plantas a las que se les irradiaron sus semillas.

Otra aplicación importante de la radiactividad está en la posibilidad de determinar la antigüedad de fósiles y de rocas primitivas. Ello se logra por medio del elemento radiactivo carbono 14, cuyo método consiste en lo siguiente: se sabe que las radiaciones solares transmutan regularmente nitrógeno en carbono 14, por tanto, el gas carbónico de la atmósfera contiene una cantidad determinada de dicho isótopo. También en los organismos vegetales y animales se mantiene constante esa proporción, toda vez que absorben de manera regular gas carbónico de origen atmosférico. Esta absorción cesa al morir el organismo, pero su cantidad de carbono lo conserva indefinidamente. Como el isótopo 14 es radiactivo y se desintegra con regularidad, la materia muerta lo pierde conforme transcurre el tiempo. Así pues, cuando se encuentra el esqueleto de un animal prehistórico bastará con medir la radiactividad que posee para conocer la proporción de átomos de carbono 14 desintegrados desde su muerte y determinar su antigüedad mediante ese isótopo, veamos el siguiente ejemplo: como la vida

media del carbono 14 es de 5 880 años, tenemos que si un trozo de árbol verde da lugar a 9 000 desintegraciones por día y una muestra equivalente de árbol fósil sólo produce 4 500, se interpretará que la edad del fósil es de 5 880 años. En forma análoga puede hacerse con un fósil humano, animal o vegetal.

Las radiaciones, como hemos visto, tienen múltiples aplicaciones prácticas; sin embargo, son muy peligrosas para la salud si se reciben en grandes cantidades, ya que pueden provocar mutaciones en los genes de las células sexuales y dar origen a nacimientos de seres anormales con graves deficiencias físicas y mentales. También pueden originar tejidos cancerosos. Por ello, en los laboratorios de investigación y de rayos X, en la industria y en cualquier parte donde existan materiales radiactivos deben extremarse las precauciones para evitar accidentes que siempre son de consecuencias muy lamentables. Como el fenómeno de la radiactividad no lo percibe ninguno de nuestros sentidos, éste puede pasar desapercibido durante un breve tiempo por alguna persona que haya recibido incluso una dosis mortal. Debido a ello se recomienda a quienes se encuentran en contacto con elementos radiactivos que utilicen guantes, pinzas, equipo especial, así como el uso de recipientes de paredes gruesas de plomo para que se guarden en ellos los materiales radiactivos.

Para medir la radiación se usan diferentes unidades, como son: el curio, el rad, el rep, el roentgen (*R*) y el sieverts (*Sv*). Cuando una persona recibe una radiación de 1 a 3 *Sv*, padecerá vómitos y náuseas que desaparecerán espontáneamente al cabo de un mes. Si la radiación recibida es de 3 a 9 *Sv*, la persona sufre diarrea, calvicie, afecciones en los tejidos generadores de glóbulos de la sangre y depresiones psíquicas; a partir de 10 *Sv* las radiaciones son mortales.

Cámara de niebla de Wilson

Con la cámara de niebla de Wilson se puede detectar la trayectoria de las partículas elementales que no son observables a simple vista. Su funcionamiento se basa en que los átomos de los gases se ionizan fácilmente al recibir el impacto de partículas cargadas mismas que les arrancan electrones; así como en el fenómeno de condensación del vapor de agua sobre los iones. Por tanto, la cámara de niebla de Wilson (figura 17.19) consta de una cámara llena de aire mezclado con moléculas de vapor de agua; cuando en un momento determinado atraviesa una partícula por la cámara, deja una serie de iones a su paso; si hacemos una expansión repentina del pistón se enfriará el aire de la cámara y el vapor de agua se condensará sobre los iones que dejó la partícula en su recorrido, haciéndose visible su trayectoria.

Siembra de nubes

La **siembra de nubes** se ha ensayado para producir lluvia en lugares secos. Para ello, se arrojan cristales de yoduro de plata al aire saturado con vapor de agua, para que los cristales sirvan como núcleos alrededor de los cuales el agua se condense y después se precipite en forma de lluvia.

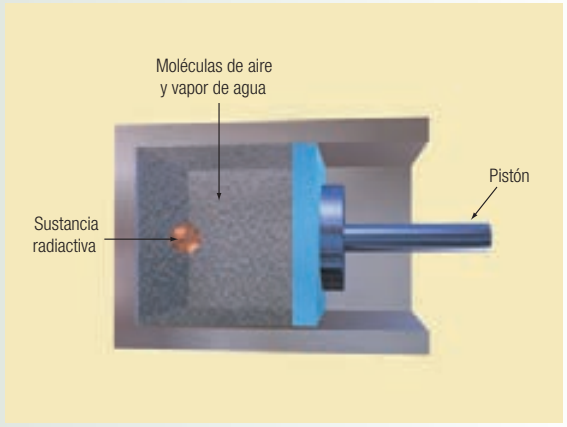


figura 17.19
Cámara de niebla de Wilson para detectar partículas elementales.

Contador Geiger y de centelleo

Para contar las partículas electrizadas de las radiaciones se emplean básicamente los siguientes contadores:

Contador Geiger

El contador Geiger consta de un tubo de vidrio herméticamente cerrado en cuyo interior hay un cilindro de cobre abierto por los extremos, tiene también un filamento delgado de tungsteno a lo largo del eje central (figura 17.20). Una vez que existe un vacío en el tubo, equivalente a unos 8 cm de Hg, se aplica una diferencia de potencial de 1 000 volts entre los electrodos cuyo cátodo es el cilindro de cobre y el ánodo el filamento de tungsteno.

Cuando una partícula cargada atraviesa el tubo Geiger ioniza los átomos de gas que se hallan en su trayectoria y los electrones arrancados de los átomos son atraídos a gran rapidez por el filamento de tungsteno cargado positivamente. Debido a su alta magnitud de velocidad los electrones logran ionizar a otros átomos de gas, por lo cual se liberan más electrones produciéndose un pequeño pulso de corriente. Al ser amplificada la corriente puede hacerse que alimente algún dispositivo eléctrico, como sería un auricular telefónico o un altavoz de radio, ello anunciaría la presencia de partículas cargadas. Si se amplifican de manera conveniente los impulsos eléctricos, pueden accionar una aguja indicadora del número de partículas por segundo. En la actualidad se cuenta con aparatos más perfeccionados en los que la corriente amplificada mueve un contador numérico.

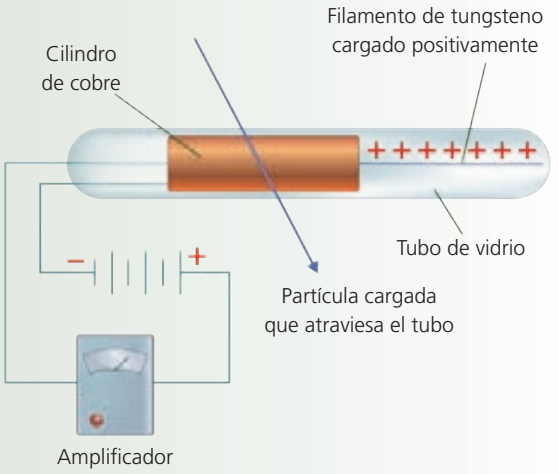


figura 17.20
Contador Geiger para cuantificar el número de partículas cargadas.

Contador de centelleo

Su funcionamiento se basa en la propiedad que tienen algunos cuerpos fluorescentes de iluminarse y producir un centelleo cuando una partícula cargada choca con sus átomos (figura 17.21). Al incidir una partícula en el material fluorescente, la luz producida expulsa electrones del fotocátodo tal como sucede en el efecto fotoeléctrico. Inmediatamente después se producen otros electrones por emisión secundaria, al chocar los electrones en los llamados dinodos, con lo cual el efecto se multiplica produciéndose una corriente eléctrica. Esto sucederá cada vez que se ilumine el material fluorescente.

Los impulsos se aprovechan de la misma manera que en el contador Geiger.

Los contadores de partículas se utilizan para: realizar investigaciones de Física nuclear; detectar yacimientos de uranio, (materia prima de los reactores nucleares); determinar la radiactividad del ambiente o en los alimentos; aplicaciones industriales de la radiactividad, etcétera.

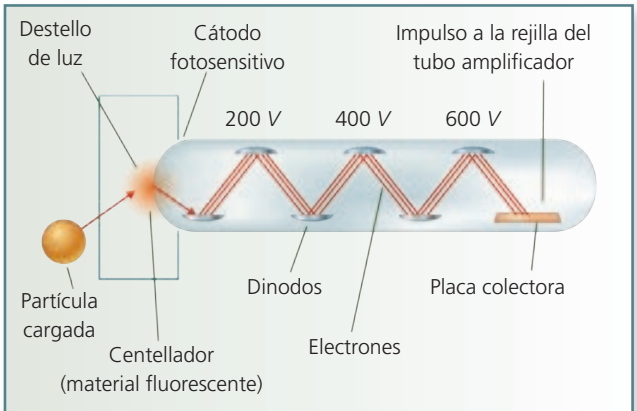


figura 17.21
Contador de centelleo.

9 Rayo láser

La palabra láser se deriva de las siglas de la expresión inglesa *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (amplificación de la luz por emisión estimulada de radiaciones). Para producir un rayo láser se coloca en una caja metálica una barra cilíndrica de rubí contaminado con átomos de cromo y cuyos extremos están pulidos como espejos, uno de ellos opaco y el otro semitransparente. A la barra de rubí se le enrolla un tubo fluorescente que emite luz muy intensa; parte de esta luz la absorben los átomos de cromo de la barra quedando excitados, por eso ciertos electrones pasan a ocupar un nivel de energía mayor. Todo electrón excitado tiende a volver a su estado fundamental, pero dentro del rubí hay un nivel de energía medio llamado metaestable (medio estable), donde los electrones permanecen durante un tiempo de unos 3 milisegundos (figura 17.22). Por tanto, para obtener un rayo láser debe producirse una inversión de población, es decir, tener el mayor número de electrones posible en un estado metaestable, a este proceso se le llama bombeo óptico.

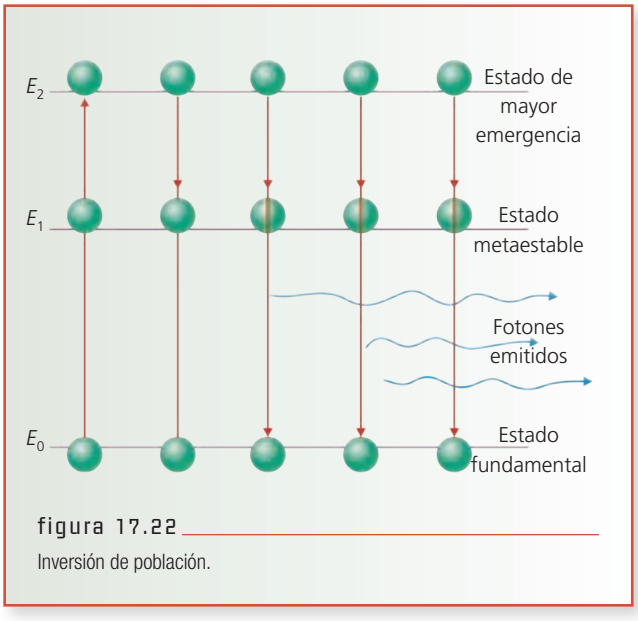


figura 17.22
Inversión de población.

La emisión estimulada se presenta cuando uno de los muchos electrones que se encuentran en un estado metaestable regresa a su estado fundamental emitiendo un fotón paralelo a la longitud de la barra de rubí. Este fotón choca contra otro electrón excitado y lo estimula regresándolo a su estado fundamental con su consecuente emisión de otro fotón, el cual a su vez estimulará otras transiciones. Aquellos fotones emitidos que no se propagan a lo largo del eje, escapan por los lados sin producir mucha emisión estimulada; sin embargo, los fotones cuyo movimiento es paralelo a la longitud de la barra son reflejados varias veces estimulando la emisión de los mismos en cada ocasión. Esto origina el rápido aumento de fotones, por tanto, aquellos que escapan a través del extremo semitransparente producen un haz unidireccional de gran intensidad y longitud de onda definida que constituye el rayo láser. Este proceso continúa hasta agotarse la población de electrones en el estado metaestable, pero entonces otro destello luminoso del tubo fluorescente inicia el bombeo óptico y el proceso se repite (figura 17.23).

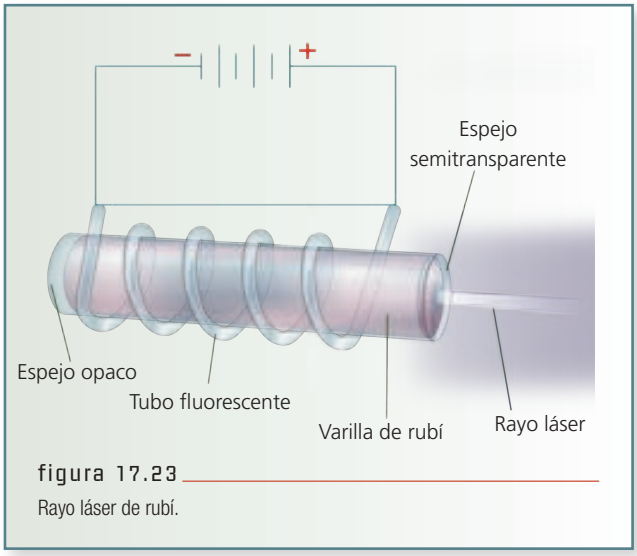


figura 17.23
Rayo láser de rubí.

Como los rayos láser son de una naturaleza coherente e intensa, tienen múltiples aplicaciones en campos de comunicaciones, radioastronomía, biofísica, fotografía y espectroscopía de microondas. Así, por ejemplo: como los rayos láser son homogéneos al ser de una sola longitud de onda, éstos son prácticamente paralelos y se utilizan para medir distancias como la de la Tierra a la Luna; para ello se envió un rayo láser desde nuestro planeta que fue reflejado por un espejo especial previamente instalado en la Luna. Al determinar el tiempo empleado por el rayo en ir y regresar, y con base en la magnitud de su velocidad de propagación se calculó la distancia con gran exactitud. También la luz del láser puede perforar con gran rapidez las placas metálicas, pues la concentración de energía en el haz es tan grande que llega incluso a ser miles de veces mayor en comparación con la de la superficie solar. En cirugía se trata hoy el desprendimiento de la retina uniéndola mediante minúsculas soldaduras que se pueden llevar a cabo en un tiempo breve sin anestesiar al paciente. También se usa para operar además de los ojos, la piel, el hígado, los vasos y el corazón, por medio de un **bisturí electrónico** de la más alta precisión.

Además de los rayos láser provenientes de sólidos con rubíes u otros cristales, existen los de gas como el del helio-neón, argón, dióxido de carbono; y los de líquidos como los del ácido clorhídrico. Cada tipo se empleará según el uso y sus características, éstas pueden ser: potencia; frecuencia de la luz emitida, monocromática y en ocasiones invisible, pues se trata de luz infrarroja; funcionamiento continuo y por impulsos.

10 Fusión nuclear

La fusión nuclear se produce debido a la unión de dos o más núcleos de átomos ligeros en un solo núcleo de masa más elevada. Siempre que dos núcleos ligeros se unen para formar otro más pesado, la masa de éste es menor a la suma de los primeros. La diferencia de masa, es decir, la parte de materia faltante se ha convertido en energía. Por ejemplo: cuando se une un átomo de deuterio, isótopo del hidrógeno que tiene un protón y un neutrón en el núcleo, con un átomo de tritio, otro isótopo del hidrógeno conteniendo un protón y dos neutrones en el núcleo, se produce un átomo de helio más la emisión de un neutrón y liberación de energía equivalente a la masa perdida al producirse la reacción. La fusión nuclear entre el deuterio ${}_1H^2$ y el tritio ${}_2H^3$ se representa de la siguiente manera:

$$ {}_1H^2 + {}_1H^3 \xrightarrow{\Delta} {}_2H^4 + n' + \text{energía} $$

$$ \text{deuterio} + \text{tritio} \xrightarrow{\Delta} \text{helio} + \text{neutrón} + \text{energía} $$

En virtud de que el hidrógeno y sus isótopos (el deuterio y el tritio) constituyen la mayor parte del agua, podemos decir que los océanos son inagotables fuentes de energía. No obstante, la fusión de los núcleos atómicos no se lleva a cabo con facilidad, pues por ser los núcleos de carga eléctrica positiva hay una natural fuerza de repulsión entre ellos. Para vencer esta fuerza se requieren altas temperaturas, de tal manera que una gran energía ayude a los núcleos a entrar en contacto y se produzca la fusión. Las reacciones de fusión son las que más energía pueden desprender, se producen en el Sol y las estrellas en donde la energía necesaria para la fusión se obtiene como resultado de la agitación térmica provocada por las tem-

Grupo Editorial Patria

peraturas de millones de grados a las cuales se encuentra sometida la materia. También en la bomba termonuclear o bomba H la fusión de los átomos de hidrógeno se obtiene debido a la temperatura tan grande que se produce en el aparato por el estallamiento previo de una bomba atómica de plutonio o de uranio (figura 17.24).

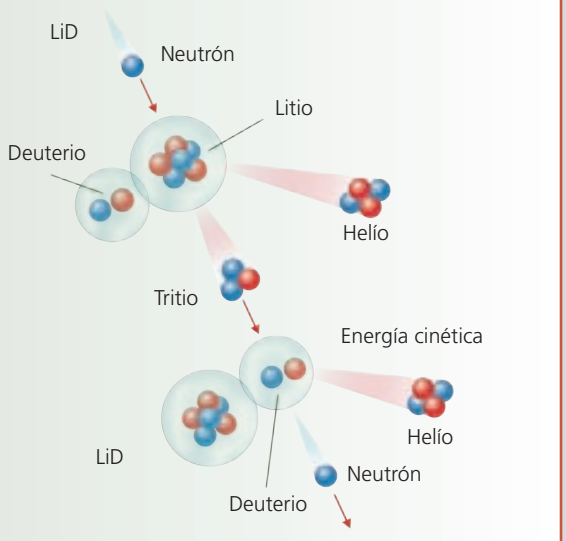


figura 17.24

En la bomba de hidrógeno el deuterio de litio (LiD) se transforma en helio estable. La "fusión" del hidrógeno no produce restos radiactivos.

En los últimos 30 años se han invertido miles de millones de dólares tan solo en Estados Unidos de América en las investigaciones que se realizan para tratar de dominar la fusión que debe realizarse a temperaturas de millones de grados, pues no existe aún ningún material apropiado para construir un recipiente que no se funda. Por esta razón los científicos tratan de producir la fusión en máquinas construidas con magnetos superconductores que permitan confinar el combustible usado en el centro de recipientes, de tal manera que no puedan alcanzar las paredes de los mismos y fundirlas.

Fusión en frío, ¿mito o realidad?

A principios de 1989, el mundo científico se estremeció ante el anuncio hecho por la Universidad de Utah, en Estados Unidos, de que se había logrado la fusión nuclear en frío, es decir, a la temperatura ambiente.

El experimento que realizaron requirió de cuatro pequeñas botellas de plástico, cada una de ellas contenía electrodos de platino y de paladio sumergidos en agua pesada (agua en la cual el hidrógeno está sustituido por su isótopo deuterio). Los científicos de Utah reportaron que la fusión nuclear se presentó en el electrodo de paladio, al pasar electricidad a través de la celda electrolítica. Así pues, los descubridores de la fusión en frío aseguraron haber alcanzado este objetivo tan perseguido con un simple aparato de laboratorio y sobre todo trabajando a temperatura ambiente.

Después del anuncio hecho de la fusión en frío, cientos de laboratorios de todo el mundo tratan de reproducir el experimento para comprobar o refutar los reportes de la Universidad de Utah. En caso de que dicho experimento fuera una realidad, entraríamos a un mundo completamente nuevo, porque se tendría una fuente inagotable de energía a muy bajo costo, lo cual revolucionaría la industria, los viajes espaciales, las estrategias de armas, los proyectos de defensa militar y el rompimiento de las diferencias entre los países que tienen energéticos y los que carecen de ellos. Sin embargo, aún hay serias dudas de la existencia de la fusión en frío, pues los pocos neutrones generados al reproducir el experimento provocan que los detectores sean fácilmente engañados por la radiación parásita de los rayos cósmicos o de cualquier otra radiación presente. Inclusive, Peter L. Hagelstein, investigador del Instituto Tecnológico de Massachusetts, en su reporte sobre la fusión en frío postuló: la energía proveniente de la fusión del núcleo del deuterio no se convierte en radiación o en partículas subatómicas, sino que de manera directa entra en la estructura cristalina del electrodo de paladio, eventualmente manifestándose como calor. ¿Es un mito o una realidad la fusión en frío? La respuesta la obtendremos con el tiempo, después de que los científicos determinen si es una maravillosa realidad o sólo se trató de una simple ilusión.

11 Fisión nuclear

La fisión nuclear se produce cuando un núcleo de un átomo pesado es bombardeado por una partícula incidente, especialmente por un neutrón, provocando su ruptura en dos fragmentos y muy rara vez en tres.

Como se sabe, los núcleos atómicos están constituidos por protones y neutrones que se mantienen unidos a través de fuerzas de intercambio en dichos nucleones. Estas fuerzas apenas son suficientes para mantener la cohesión del núcleo cuando éste es muy pesado debido a su gran cantidad de neutrones. Es por ello que si un neutrón se impacta en un núcleo pesado éste se deforma y se alarga hasta romperse generalmente en dos fragmentos, pues muy rara vez se rompe en tres, cada fragmento constituye el núcleo de un elemento más ligero. Durante la desintegración se produce la emisión de varios neutrones libres que se encuentran en exceso en los núcleos nuevamente formados, y la liberación de energía por medio de radiaciones; éstas, al irradiar la materia cercana, engendran calor aprovechable y equivalente a la energía que man-

tenía unido al núcleo pesado, así como a la pérdida de masa original transformada en energía. Dicho fenómeno puede compararse con una gota de agua muy grande a la cual al agregarle más agua se parte en dos o más gotas pequeñas e independientes que adoptan la misma forma esférica de la gota original.

Los elementos más usados para producir fisión nuclear son: uranio 235, cuenta con 92 protones y 143 neutrones ($_{92}U^{235}$); y plutonio 239, con 94 protones y 145 neutrones ($_{94}Pu^{239}$). En la figura 17.25 se observa la fisión del uranio 235 al ser bombardeado el núcleo de dicho elemento con un neutrón, dando por resultado un núcleo de bario 142 ($_{56}Ba^{142}$) y otro de criptón 91 ($_{36}Kr^{91}$), así como la liberación de tres neutrones.

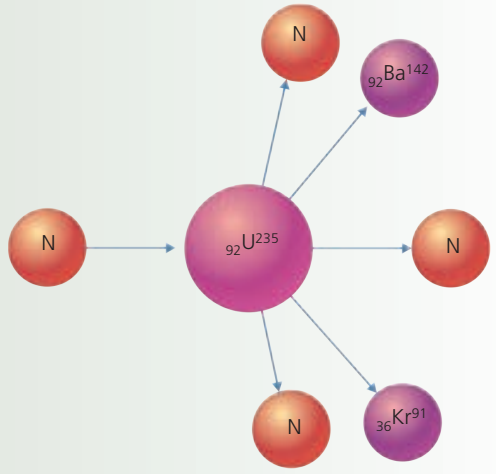


figura 17.25

Fisión nuclear del uranio 235.

Durante la fisión del uranio no siempre se producirá bario y criptón, sino que los pares producidos pueden ser bromo y lantano, estroncio y xenón, rubidio y cesio, cerio y selenio, yodo e iridio, entre otros; sin embargo, la suma de los protones de cada par, es decir, la suma de sus números atómicos será de 92. Muchos de estos núcleos son **isótopos radiactivos**, por eso sufren desintegraciones hasta que, según su vida media, se transforma en núcleos de algún elemento estable.

Actualmente, las fisiones presentes en los reactores nucleares se logran mediante el uso de neutrones lentos, porque son los más apropiados para multiplicar las fisiones del uranio 235 o plutonio 239. No obstante, como los

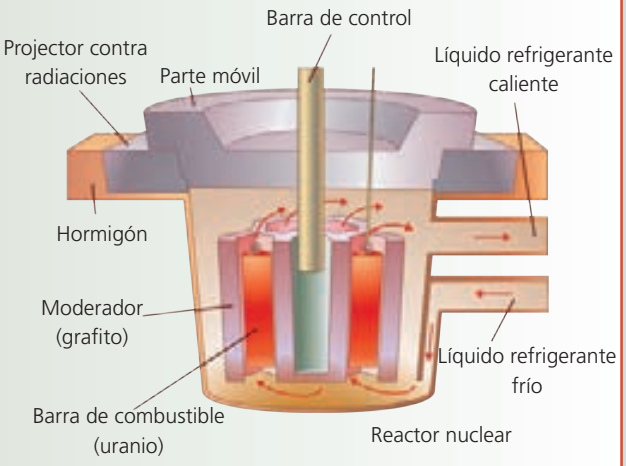


figura 17.26

El tanque del reactor debe ser hermético y soportar una elevada presión. El calor desarrollado en la reacción es absorbido por un líquido refrigerante en circulación, que lo cede en un intercambiador de calor.

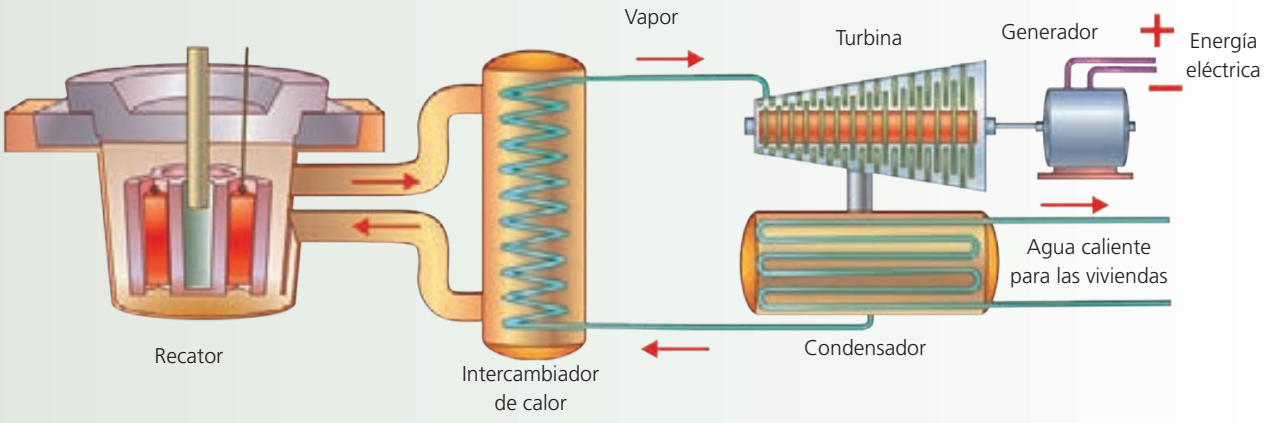


figura 17.27

Como el líquido que circula por el reactor es radiactivo nunca se le permite abandonar el sistema cerrado del reactor; por ello, se hace que transmita su energía calorífica a otro líquido o gas, en un intercambiador de calor.

neutrones que se liberan de la fisión son rápidos, pues viajan a unos 4 mil km/s, se requiere frenarlos hasta una rapidez de 2 km/s para poder mantener una reacción en cadena, ya que de otra manera atravesarían las barras de uranio sin ser absorbidas. Para ello se interponen en las barras de uranio sustancias llamadas moderadores, las más usadas son el grafito y el agua pesada formada por el deuterio (isótopo del hidrógeno), y el oxígeno. Así pues, los neutrones rápidos al chocar con los núcleos del moderador pierden parte de su energía cinética, y al ser desviado se produce una nueva colisión siendo frenado nuevamente hasta que después de varios impactos alcanza la rapidez deseada con la cual puede provocar la fisión en el núcleo pesado del átomo.

Una reacción en cadena se produce después de que un neutrón ha bombardeado un núcleo pesado provocando su ruptura en dos fragmentos y la emisión de tres neutrones como máximo, éstos a su vez inciden en otros núcleos pesados fraccionándolos de tal manera que una vez iniciada la reacción se desarrollará en cadena hasta que el último núcleo pesado haya sido dividido. En un reactor nuclear es importante controlar las reacciones de fisión, por eso se debe mantener un número constante de desintegraciones. Para ello, se utilizan barras de control construidas de cadmio, boro o hafnio, que al ser absorbentes de neutrones reducen el número de desintegraciones. Cuando en un reactor la temperatura se eleva en forma alarmante, las barras de control caen automáticamente deteniendo la fisión, si sólo se ha incrementado un poco, se introducen ligeramente en el reactor (figuras 17.26 y 17.27).

La utilización de la fisión nuclear con fines pacíficos puede resolver el problema que con el tiempo se presentará al agotarse los combustibles naturales como el petróleo y el carbón. Sin embargo, la destrucción de nuestro planeta sería inevitable si estallara una Tercera Guerra Mundial, al usarse la fisión nuclear en la bomba atómica.

Actividad experimental 25

Cámara de niebla

Objetivos

Detectar las trayectorias seguidas por partículas cargadas, con una cámara de niebla.

Consideraciones teóricas

La cámara de niebla de Wilson sirve para detectar la presencia y la trayectoria de partículas elementales no observables a simple vista. Cuando el aire está saturado con vapor de agua y se enfría, por lo general, el vapor se condensa en gotitas de agua, lo mismo sucede con la formación de la lluvia. Se ha descubierto que las gotitas se forman solamente si el aire contiene partículas de polvo, o bien, si contiene iones, pues cada uno de ellos sirve como núcleo alrededor del cual el agua se condensa. Si el aire no tiene ni polvo ni iones, se puede enfriar por abajo del punto de saturación sin formar gotitas. Cuando esto sucede se dice que el aire está sobresaturado. Si un electrón viaja a alta magnitud de velocidad y penetra bruscamente en aire sobresaturado, a medida que se desplaza arranca otros electrones de los átomos, dejando una huella de iones a lo largo de su trayectoria, por tanto, de manera inmediata, el agua se condensa sobre los iones y la trayectoria queda marcada con una línea de pequeñas gotitas. Al iluminar en forma adecuada a las gotitas se puede ver la trayectoria que siguió el electrón. El funcionamiento de la cámara de niebla se basa en que los átomos de los gases se ionizan con facilidad al recibir el impacto de partículas cargadas que les arrancan electrones, así como en el fenómeno de condensación del vapor de agua sobre los iones. Las partículas capaces de ionizar al aire reciben el nombre de **radiación ionizante**.

Material empleado

Una cámara de niebla de expansión de Wilson, un gotero, una franela o paño de seda, un soporte metálico, una lámpara de mano, laboratorio o área de trabajo que pueda oscurecerse y 100 cm^3 de una mezcla de 50% metanol y 50% de agua.

Desarrollo de la actividad experimental

1. Afloje y retire el tornillo que contiene la muestra de material radiactivo de la cámara de niebla de Wilson.
2. Por el orificio que deja el tornillo, introduzca con un gotero 10 gotas de la mezcla metanol-agua.
3. Coloque de nuevo el tornillo con la muestra radiactiva y agite la cámara de niebla para que se distribuya uniformemente la mezcla metanol-agua en el fondo de la cámara que está cubierta con una esponja.
4. Frote la superficie exterior de la cámara con una franela o paño de seda para eliminar cargas parásitas.
5. Sujete la cámara de niebla a un soporte metálico e ilumínela con una lámpara. Apague las lámparas del laboratorio y cierre las cortinas para oscurecer el lugar (figura 17.28).

6. Comprima con las dos manos la pera de goma y después suéltela para que se realice una rápida expansión; enfriándose el aire contenido en la cámara, el vapor se condensará sobre los iones que dejan las partículas en su recorrido, haciéndose visibles sus trayectorias. Obsérvelas con atención.
7. Puede repetir el experimento las veces que desee, pero deje un tiempo de 30 segundos mínimo entre cada experimento y frote previamente con la franela o el paño de seda la superficie exterior de la cámara de niebla.

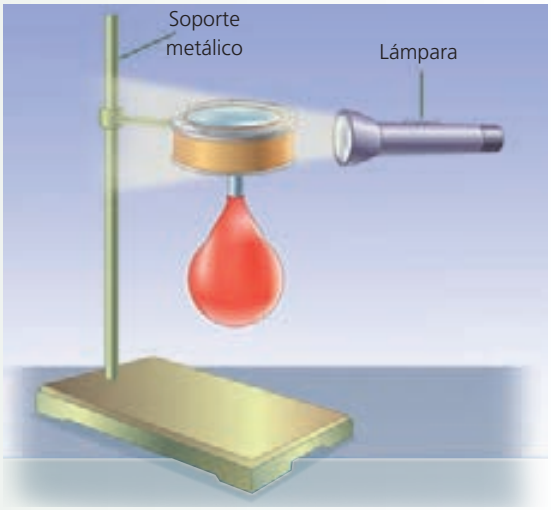


figura 17.28
Cámara de niebla de Wilson.

Cuestionario

1. ¿Cómo son las trayectorias seguidas por las partículas, rectas o curvas?
2. De acuerdo con lo investigado y observado, ¿puede inferir que existe permanente radiación ionizante en el aire que nos rodea? Fundamente su respuesta.
3. La siembra de nubes se ha ensayado para producir lluvia en lugares secos. ¿Cómo relaciona el fenómeno de siembra de nubes con el principio del funcionamiento de la cámara de niebla de Wilson?

Resumen

1. La *Física clásica* se encarga de estudiar todos los fenómenos en los que intervienen cuerpos macroscópicos, los cuales adquieren magnitudes de velocidades muy pequeñas comparadas con la magnitud de la velocidad de la luz. La *Física moderna*, por su parte, estudia aquellos fenómenos producidos por partículas microscópicas, como son: los átomos, las moléculas, los núcleos atómicos y las partículas atómicas; en ellos las magnitudes de sus velocidades son tan grandes que son iguales o cercanas a la de la luz.
2. Albert Einstein (1879-1955), al igual que lsaac Newton (1642-1727), es reconocido como uno de los científicos que más ha aportado al desarrollo de la ciencia. En 1907 publicó su trabajo referente a la teoría especial de la relatividad. En esta teoría hace una descripción de las leyes físicas en sistemas de referencia inerciales, que son aquellos sistemas carentes de aceleración, es decir, se encuentran en reposo o se mueven a una velocidad constante.
3. La *teoría especial de la relatividad* se fundamenta en dos postulados: **a)** La velocidad de la luz en el vacío siempre tiene la misma magnitud en cualquier sistema de referencia carente de aceleración, o sea, en sistemas inerciales. **b)** Todas las leyes físicas son invariantes para aquellos sistemas cuyo movimiento es uniforme. De la teoría especial de la relatividad se infiere lo siguiente: **a)** La magnitud de la velocidad de la luz en el vacío (aproximadamente 300 mil km/s), es una magnitud de velocidad límite en el Universo que no puede ser rebasada por ningun tipo de partícula o radiación. **b)** Cuando un cuerpo se mueve, su masa no permanece constante pues aumenta a medida que se incrementa la magnitud de su velocidad. La fórmula relativista que relaciona a la masa con la energía es: $E = mc^2$. **c)** El tiempo también es relativo, es decir, no es algo intrínseco que exista y transcurra en todo el Universo a la vez, por esta razón no puede servir de referencia para mencionar que dos fenómenos ocurridos en diferentes sistemas son simultáneos. **d)** La contracción de los cuerpos en movimiento es una consecuencia de la relatividad del tiempo. Por tanto, si un objeto adquiere una magnitud de velocidad cercana a la de la luz, sería visto por un obser-

vador inmóvil con una longitud menor en la dirección de su movimiento, la cual disminuiría a medida que la magnitud de su velocidad fuera mayor. La contracción sufrida por los cuerpos se denomina contracción de Lorentz.

4. En 1915 Einstein amplió la descripción de las leyes de la naturaleza para marcos o sistemas de referencia no inerciales, es decir, para sistemas acelerados. Con este fin publicó su *teoría general de la relatividad* en la que señala: la gravedad no es una fuerza, sino una consecuencia de la curvatura del espacio creada por la presencia de masas.

5. La *radiación* es la emisión de ondas electromagnéticas, de partículas atómicas o de rayos de cualquier tipo. Las radiaciones cuya naturaleza es electromagnética son producidas por la propagación simultánea de un campo magnético y de un campo eléctrico a la magnitud de la velocidad de la luz que es de aproximadamente 300 mil km/s. Se diferencian entre sí por su frecuencia y su longitud de onda. *Las radiaciones de mayor frecuencia* y *menor longitud de onda* tienen elevado poder de penetración y de ionización; tal es el caso de los rayos gamma, X y ultravioleta. Otras de *menor frecuencia* y *mayor longitud de onda* presentan efectos caloríficos y se les llama radiaciones infrarrojas. En un *punto intermedio* se encuentran las radiaciones que excitan la retina y producen fenómenos de visión. Otro tipo de *radiaciones* son las llamadas *corpusculares* producidas por los movimientos rápidos de las partículas a velocidades cuyas magnitudes son cercanas a la de la luz, pero nunca superiores a ella. Los rayos cósmicos por lo general son partículas cargadas como protones, partículas α, o sea, núcleos de helio cargados positivamente y en menor cantidad núcleos pesados de nitrógeno, carbón y oxígeno, que llegan a la Tierra procedentes del espacio exterior.

6. La mecánica ondulatoria sintetiza los dos tipos de radiaciones: electromagnética y corpuscular, en una sola. Considera que onda y corpúsculo son dos aspectos complementarios de la misma realidad y, por tanto, toda partícula en movimiento tiene asociada una onda cuya longitud λ es igual a:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

donde:

λ = longitud de onda de la partícula

h = *constante de Planck*

m = masa de la partícula

v = magnitud de la velocidad de la partícula

7. La luz blanca del Sol es en realidad una mezcla de luces monocromáticas con diferentes longitudes de onda. Un espectro óptico es un conjunto de rayos de diferentes colores formados uno a continuación del otro cuando un rayo luminoso se descompone al atravesar un prisma de cristal o una red de difracción. Existen tres tipos de espectros: **a)** *Espectro de emisión.* Es el producido por cualquier manantial de luz. Kirchhoff descubrió que todo elemento químico tiene un espectro de líneas de emisión característico, esto ha posibilitado a los físicos desarrollar la técnica del análisis espectral y catalogar perfectamente las líneas que constituyen el espectro de emisión de cada sustancia. El origen del espectro de un elemento se encuentra en sus átomos, por ello cada elemento tiene una serie de líneas producidas que lo caracterizan e identifican, tal como sucede con las huellas dactilares de cada persona. **b)** *Espectro de absorción*. Cualquier tipo de sustancia absorbe el mismo tipo de luz que la que emite. Un espectro de absorción se presenta cuando al tener un cuerpo que emite un espectro continuo se le interpone un gas antes de llegar la luz al espectroscopio. **c)** *Espectro de rayos X*. Para identificar una sustancia desconocida se le bombardea con rayos catódicos, los cuales al chocar contra ella emiten rayos X cuya frecuencia dependerá de su número atómico. Al imprimir una placa fotográfica con los rayos X y comparar el espectro de líneas obtenido con espectros previamente determinados se conocerá de qué sustancia se trata.

8. Al observar *el espectro de emisión del hidrógeno* se nota una gran regularidad en las líneas, cada línea representa una radiación luminosa emitida por un electrón al pasar de un nivel de mayor energía a otro de menor energía. Rydberg encontró una ecuación empírica que relaciona la longitud de onda de cada radiación con el nivel de energía que tiene un electrón. Para el espectro de emisión del hidrógeno se han observado distintas series espectrales que van desde el ultravioleta hasta el infrarrojo. La única serie apreciable a simple vista es la de Balmer, las otras se determinan mediante espectrofotómetros.

9. Un *cuerpo negro* es aquel que absorbe toda la energía radiante que incide sobre él, ya sea energía calorífica, luminosa o de cualquier otro tipo. Un cuerpo negro además de ser buen absorbedor de energía, es un buen radiador de ella. La Ley de Stefan-Boltzman dice: la energía radiante emitida por un cuerpo negro en la unidad de tiempo y por cada unidad de área de superficie, es directamente proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. De donde: $E = k\,T^4$; E = energía radiada en J/s m^2, k = constante de proporcionalidad igual a 5.6×10^{-8} W/m^2 K^4; T = temperatura absoluta del cuerpo.

10. Desde la antigüedad existe la idea de que la materia está constituida por átomos. Quinientos años antes de la era cristiana Leucipo y Demócrito pensaban que todas las cosas estaban constituidas por diminutas partículas a las cuales llamaron átomos porque creían que no podían dividirse. A principios del siglo XIX John Dalton les asignó peso a los átomos y creó su *teoría atómica* bajo los siguientes postulados: **a)** La materia está formada por partículas muy diminutas denominadas átomos. **b)** Los átomos de un mismo elemento tienen el mismo peso y son iguales entre sí. **c)** Los átomos son indivisibles; los cambios químicos en la materia se producen debido a combinaciones entre los átomos. Años más tarde Crookes descubrió los rayos catódicos. En 1897, Thomson demostró que los rayos catódicos eran pequeñísimas partículas cargadas negativamente y las nombró electrones. Propuso un modelo atómico formado por electrones cuyo movimiento se daba en una esfera electrificada positivamente como si se tratara de un pastel de pasas. En 1913, Rutherford concluyó su teoría del átomo nuclear, después de realizar experimentos con el bombardeo de un haz de partículas alfa (núcleos de helio) a través de una lámina muy delgada de oro. Dedujo que el átomo tiene un núcleo, denominado núcleo atómico, y que alrededor del mismo se encuentran distribuidos los electrones, como si fuera un sistema planetario en miniatura. El físico danés Niels Bohr, Premio Nóbel en 1922, consideró que la Física clásica no puede explicar el comportamiento del átomo y señaló que la descripción hecha por Rutherford de imaginar un modelo atómico como si se tratara de un sistema planetario tenía sus objeciones, por esta razón propone su *teoría cuántica de la estructura atómica* con los siguientes postulados: **a)** Los electrones que giran alrededor del núcleo lo hacen sólo en ciertas órbitas o niveles de energía definidos llamados estados estacionarios del átomo. **b)** Mientras los electrones giran en su nivel de energía correspondiente no radian ningún tipo de energía electromagnética, aunque su movimiento sea acelerado. **c)** Cuando un electrón absorbe energía puede saltar a otro nivel mayor de energía, pero al descender a un nivel de menor energía emitirá la energía absorbida en cantidades definidas llamadas cuantos o fotones de radiación electromagnética.

11. Sommerfeld modificó el modelo atómico de Bohr basándose en la mecánica relativista y en la teoría cuántica, al proponer la existencia de órbitas elípticas y circulares a partir del segundo nivel de energía en el átomo. Consideró la subdivisión de los estados estacionarios del átomo en subniveles de energía que se designan con las letras *s, p, d* y *f.*

12. Existen reglas y principios básicos que posibiliten establecer las estructuras electrónicas de los átomos y son: **a)** El número de electrones existente en un nivel de energía o capa está dado por la regla de saturación: $2n^2$. Donde n es el número cuántico principal, es decir, la capa o nivel energético que puede ser 1, 2, 3,..., 7. **b)** El número de subniveles existente dentro de cada nivel de energía es igual a su número cuántico principal. **c)** La saturación de los subniveles *s, p, d* y *f,* o sea, el número máximo de electrones posibles en cada subnivel es el siguiente: subnivel *s*, tiene 2 electrones máximo; el *p* tiene 6; el *d*, 10; el *f*, 14. Para describir las características de los diferentes tipos de orbitales atómicos se usan los llamados números cuánticos: *n, l, m, s.* La letra n es el número cuántico principal y se refiere al nivel de energía por medio de números enteros del 1 al 7. El símbolo ℓ es el número cuántico secundario relacionado con la forma del orbital en el cual es posible encontrar al electrón. Tiene diferentes formas y sus posibles valores están en función de n, por tanto, son números enteros que van desde 0 hasta $n - 1$. El 0 u orbital *s* es de forma esférica, el 1 u orbital *p* es en forma de hélice, el 2 u orbital *d* en forma de pera doble, y el 3 u orbital *f* tiene una forma difícil de definir. La letra *m* es el llamado número cuántico magnético; como los electrones son cargas eléctricas en movimiento producen un campo magnético, el cual influye en la posición u orientación de las nubes de electrones. *s* es el número cuántico llamado *spin* que significa girar. Un electrón se desplaza alrededor de su núcleo atómico girando sobre sí mismo en un movimiento de rotación como el de la Tierra llamado *spin* del electrón, en dos direcciones de izquierda a derecha y de derecha a izquierda. Esto permite afirmar que el número máximo de electrones en un subnivel u orbital es únicamente de dos.

13. Para establecer la estructura electrónica de un átomo deben considerarse los dos principios siguientes: **a)** *Principio de exclusión de Pauli*: los cuatro números cuánticos de dos electrones en un mismo átomo no pueden ser iguales, cuando menos uno es diferente, pues dos electrones no están en el mismo lugar al mismo tiempo. **b)** *Principio de máxima multiplicidad*: los electrones llenan los orbitales disponibles de igual valor de energía, ocupándolos de uno en uno antes de formar pareja o apareamiento.

14. Heisenberg, mediante su *principio de indeterminación* o incertidumbre señala: es imposible conocer con exactitud a la vez, la posición y la velocidad de una partícula microscópica en movimiento.

15. Planck al proponer la teoría cuántica consideró: para el caso de osciladores que emiten radiaciones electromagnéticas no es posible aceptar la ganancia o la pérdida de cualquier cantidad fraccionaria de energía, pues sólo pueden hacerlo en cantidades discretas o en paquetes básicos de energía radiante llamados *cuantos*. La energía de un cuanto es igual a la frecuencia del oscilador (f) multiplicada por la constante de Planck cuyo valor es: $h = 6.62 \times 10^{-34}$ J s, de donde: $E = hf$.

16. El *efecto fotoeléctrico* es el proceso mediante el cual la radiación luminosa desprende electrones de las superficies metálicas. Einstein afirmó que un cuanto de luz (fotón de determinada energía) podía ser absorbido por un átomo de un sólido y ser capaz de arrancarle un electrón. Por tanto, si sobre una placa metálica se hace llegar un haz luminoso más intenso, es decir, con mayor número de fotones, cada fotón arrancará un electrón generándose una mayor corriente eléctrica. Señaló también que si el haz luminoso tiene una longitud de onda larga y debido a ello una frecuencia menor, los fotones tendrán poca energía y no serán capaces de arrancar ningún electrón. El efecto fotoeléctrico y sus características muy particulares, hacen pensar que la luz está formada por partículas o corpúsculos y no por ondas. Pero entonces, ¿es la luz una onda o son corpúsculos? Actualmente se considera que la luz tiene una naturaleza dual, porque algunas veces se comporta como onda y en otras como partícula. Por eso, la luz es una energía radiante transportada a través de fotones y transmitida mediante un campo ondulatorio, por ello la teoría corpuscular se requiere para analizar la interacción de la luz con la materia.

17. *Compton* descubrió el efecto que lleva su nombre y el cual se presenta cuando un rayo X sufre una colisión contra un electrón. Con base en la teoría cuántica afirmó: el efecto se debe a que el cuanto de rayos X actúa como una partícula material al chocar contra el electrón, por este motivo, la energía cinética ($1/2\ mv^2$) comunicada del cuanto al electrón representa una pérdida de su energía original *hf.* Por tanto, el cuanto al ser difundido tendrá una menor energía (hf'), pues ha aumentado su longitud de onda y disminuido su frecuencia. La energía original del cuanto de rayos X antes del impacto equivale a:

$$hf = hf' + \frac{1}{2}\, mv^2$$

18. Los rayos X fueron descubiertos por Roentgen. Dichos rayos son de pequeña longitud de onda cuyo orden de magnitud es de 1 Å, es decir, 1×10^{-10} m, ello implica que su frecuencia sea muy alta. Se producen de la siguiente manera: el cátodo caliente emite una gran cantidad de electrones altamente acelerados, mismos que al chocar de modo violento contra el ánodo son frenados en forma brusca perdiendo parte de su energía cinética, la cual es convertida en radiaciones electromagnéticas de elevadísima frecuencia y pequeña longitud de onda que son los llamados rayos X. La producción de estos rayos se explica mediante el efecto Compton, pues la energía cinética perdida por los electrones es convertida en radiación.

19. La mecánica cuántica aplicable a las partículas como el átomo, el electrón, y los núcleos atómicos, etc., señala que la energía sólo puede ser absorbida o emitida por cantidades discretas o paquetes llamados cuantos o quanta, y afirma que la luz también es emitida y absorbida en dichas cantidades discretas o paquetes. Luis de Broglie fue el creador de la mecánica ondulatoria al proponer la idea de que una partícula puede comportarse como una onda, por ello, una onda asociada a una partícula recibe el nombre de *onda de Broglie*. Este físico determinó que la longitud de onda de una partícula se encuentra con la ecuación:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

20. Reciben el nombre de *partículas elementales o fundamentales,* los corpúsculos materiales de dimensiones muy pequeñas que constituyen a los átomos o que son engendrados por la transformación de las partículas constitutivas de los mismos. A excepción del protón, el electrón y sus antipartículas: antiprotón y antielectrón, todas las demás partículas elementales son inestables y se desintegran en partículas más ligeras. Actualmente se considera que cada partícula elemental tiene su antipartícula, la cual se caracteriza por tener distinta carga eléctrica o diferente momento magnético. Considerando que la materia se transforma en energía y viceversa, las partículas atómicas bajo ciertas condiciones desaparecen y dan paso a una emisión de ondas electromagnéticas. También las ondas electromagnéticas pueden materializarse y crear partículas. La existencia comprobada de las *antipartículas*, ha originado la idea de la antimateria, la cual estaría constituida como la materia común, pero con las antipartículas de ésta. Demostrar la existencia de los átomos antimateria es uno de los retos importantes a los que se enfrenta la Física atómica.

21. La *radiactividad* es la desintegración espontánea o decaimiento de los núcleos atómicos de ciertos elementos, acompañada de emisión de partículas

o de radiaciones electromagnéticas. La radiactividad se presenta en los elementos más pesados de la tabla periódica, o sea, a partir del 83 correspondiente al bismuto. Rutherford encontró en forma experimental, que los rayos Becquerel eran de tres tipos: rayos α, constituidos por átomos de helio doblemente ionizados al haberles arrancado sus dos electrones, es decir, núcleos de helio con carga positiva; rayos β, electrones comunes, y rayos γ (gamma), ondas electromagnéticas de mayor energía que los rayos X.

22. Un *isótopo* de un elemento químico es aquel que tiene el mismo número de protones, pero diferente número de neutrones. Cuando un isótopo es capaz de emitir radiaciones en forma espontánea recibe el nombre de radioisótopo. Pueden obtenerse radioisótopos artificiales al bombardear con neutrones algunos elementos químicos; sus usos son múltiples en la investigación científica, en la medicina, en la agricultura y en la industria.

23. Los núcleos de un elemento radiactivo no se desintegran al mismo tiempo. Al observar la desintegración de diferentes elementos radiactivos se encuentra que unos tardan más en desintegrar se que otros, es decir, mientras unos se desintegran en billonésimas de segundo, otros tardan miles de años. La *semidesintegración o vida media* de un elemento radiactivo es el tiempo necesario para que la mitad de una cierta cantidad inicial del elemento se desintegre en otro diferente.

24. Existen muchas aplicaciones prácticas de las radiaciones tanto en la industria como en la medicina, en la investigación científica y en la agricultura. Por ejemplo, el radiocobalto 60 es un isótopo del cobalto utilizado para *destruir tejidos cancerosos*. El elemento radiactivo carbono 14 se utiliza para determinar *la antigüedad de fósiles* y *rocas primitivas*. Las personas que están en contacto con elementos radiactivos deben usar guantes, pinzas, equipo especial y recipientes de paredes gruesas de plomo a fin de guardar los materiales radiactivos, ya que si se reciben en grandes cantidades son muy peligrosos para la salud, porque provocan cáncer y mutaciones en los genes de las células sexuales.

25. La *cámara de niebla* de Wilson sirve para detectar la presencia de partículas elementales no observables a simple vista, pues ella posibilita registrar sus trayectorias. Su funcionamiento se basa en lo siguiente: los átomos de los gases se ionizan con facilidad cuando reciben el impacto de partículas cargadas que les arrancan electrones, así como en el fenómeno de condensación del vapor de agua sobre los iones. Para contar las partículas electrizadas de las radiaciones se emplean principalmente el *contador Geiger* y *el contador de centelleo*. Los contadores de partículas se utilizan para: realizar investigaciones de Física nuclear; detectar yacimientos de uranio, que son la materia prima de los reactores; determinar la radiactividad del ambiente y de los alimentos, así como aplicaciones industriales de la radiactividad, entre otros usos.

26. La palabra *láser* se deriva de la expresión inglesa *Ligth Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (amplificación de la luz por emisión estimulada de radiaciones). Para obtener un rayo láser debe producirse una inversión de población, es decir, tener el mayor número de electrones posible en un estado metaestable, este proceso recibe el nombre de bombeo óptico. Los rayos que salen de un láser son de naturaleza coherente e intensa, tienen múltiples aplicaciones en comunicaciones, radioastronomía, biofísica, fotografía y espectroscopía de microondas. Existen rayos láser provenientes de sólidos como los de rubí u otros cristales; de gas como el helioneón y dióxido de carbono, y de líquidos como los de ácido clorhídrico.

27. La *fusión nuclear* se produce debido a la unión de dos o más núcleos de átomos ligeros en un solo núcleo de masa más elevada. Cuando dos núcleos ligeros se unen para formar otro más pesado, se observa que la masa de éste es menor a la suma de los primeros. La diferencia de masa, o sea, la parte de materia faltante se ha convertido en energía. Las reacciones de fusión son las que más energía pueden desprender y se producen en el Sol y las estrellas en donde la energía necesaria para la fusión se obtiene como resultado de la agitación térmica provocada por las temperaturas de millones de grados a que se encuentra sometida la materia. En la bomba termonuclear o bomba H la fusión de los átomos de hidrógeno se obtiene debido a la temperatura tan grande producida en el aparato por el estallamiento previo de una bomba atómica de plutonio o de uranio. A principios de 1989 la Universidad de Utah, en Estados Unidos, comunicó que había logrado la fusión nuclear en frío, es decir, a la temperatura ambiente. No obstante, aún existen muchas dudas al respecto. En caso de ser una realidad, entraríamos a un mundo completamente nuevo, ya que se tendría una fuente inagotable de energía y de muy bajo costo.

28. La *fisión nuclear* se produce cuando un núcleo de un átomo pesado es bombardeado por una partícula incidente, especialmente por un neutrón, provocando su ruptura en dos fragmentos y muy rara vez en tres. Los elementos más usados para producir fisión nuclear son el uranio 235 y el plutonio 239. Una reacción en cadena

se produce cuando después de que un neutrón ha bombardeado un núcleo pesado provocando su ruptura en dos fragmentos y la emisión de tres neutrones máximo, éstos inciden en otros núcleos pesados fraccionándolos de tal manera que la reacción una vez iniciada se desarrolle en cadena hasta dividir el último núcleo pesado. La utilización de la fisión nuclear con fines pacíficos puede resolver el problema que con el tiempo se presentará al agotarse los combustibles naturales como el petróleo y el carbón. Sin embargo, la destrucción de nuestro planeta sería inevitable si estallara una Tercera Guerra Mundial.

Autoevaluación

Escriba en su cuaderno las respuestas a las siguientes preguntas. Si se le presentan dudas al responder vuelva a leer la sección correspondiente del libro, la cual viene señalada al final de cada pregunta para su fácil localización.

1. Explique qué estudia la Física clásica y que estudia la Física moderna. *(Introducción de la unidad 17)*
2. Explique qué es un sistema de referencia inercial. *(Introducción de la unidad 17)*
3. Escriba los dos postulados en que se fundamenta la teoría especial de la relatividad. *(Sección 1)*
4. Explique por qué se dice que la magnitud de la velocidad de la luz en el vacío es una magnitud de velocidad límite en el Universo. *(Sección 1)*
5. Explique cómo varía la masa de un cuerpo al aumentar la magnitud de su velocidad y escriba la fórmula relativista que relaciona a la masa con la energía. *(Sección 1)*
6. Explique por qué el tiempo es relativo, ponga un ejemplo y describa la paradoja de los gemelos. *(Sección 1)*
7. Describa brevemente cómo se ha comprobado la contracción del tiempo. *(Sección 1)*
8. Describa la contracción de Lorentz y diga qué pasaría con la contracción de un objeto si viajara a la misma magnitud de velocidad de la luz. *(Sección 1)*
9. Explique qué es un sistema de referencia no inercial. *(Sección 2)*
10. Escriba los principales señalamientos hechos por Einstein en su teoría general de la relatividad. *(Sección 2)*
11. Explique en qué consiste el fenómeno de radiación. *(Sección 3)*
12. Describa las características de las radiaciones de naturaleza electromagnética. *(Sección 3)*
13. Explique en qué consisten las radiaciones corpusculares. *(Sección 3)*
14. Explique de qué manera la mecánica ondulatoria sintetiza los dos tipos de radiaciones electromagnética y corpuscular en una sola. *(Sección 3)*
15. Explique cómo está compuesta la luz blanca del Sol y diga cuáles son los colores llamados primarios. *(Sección 3)*
16. Escriba a qué se le da el nombre de espectro óptico. *(Sección 3)*
17. Describa los tres tipos de espectros. *(Sección 3)*
18. Explique en qué consiste el espectro de emisión del hidrógeno, así como sus series espectrales. *(Sección 3)*
19. Defina qué se entiende por cuerpo negro. *(Sección 3)*
20. Escriba la ley de Kirchhoff de la radiación, así como la ley de Stefan-Boltzman y su expresión matemática. *(Sección 3)*
21. Describa los modelos atómicos propuestos por: Dalton, Thomson y Rutherford. *(Sección 4)*
22. Explique la teoría cuántica de Bohr sobre la estructura del átomo y escriba sus tres postulados. *(Sección 4)*
23. Describa qué modificaciones hizo Sommerfeld a la teoría cuántica de Bohr sobre la estructura del átomo. *(Sección 4)*
24. Escriba las reglas y principios básicos que permiten establecer las estructuras electrónicas de los átomos. *(Sección 4)*
25. Describa cada uno de los números cuánticos n, ℓ, m y s usados para definir las características de los diferentes tipos de orbitales atómicos. *(Sección 4)*
26. Escriba y explique el principio de indeterminación de Heisenberg. *(Sección 4)*
27. Escriba las tres teorías propuestas por Planck para los osciladores que emiten radiaciones electromagnéticas. *(Sección 5)*
28. Escriba el valor de la constante de Planck en el Sistema Internacional y la expresión matemática

usada para calcular la energía de un cuanto de radiación electromagnética. *(Sección 5)*

29. Describa en qué consiste el efecto fotoeléctrico y qué explicación le da Einstein a este fenómeno. *(Sección 5)*

30. Explique por medio de un dibujo en qué consiste el efecto Compton. *(Sección 5)*

31. Describa con base en el efecto Compton la producción de los rayos X y diga para qué se usan. *(Sección 5)*

32. Explique qué considera la mecánica ondulatoria respecto a la contradicción onda-corpúsculo y explique el concepto de onda de Broglie. *(Sección 6)*

33. Escriba el concepto de: partículas elementales, antipartículas y antimateria. *(Sección 7)*

34. Explique cómo la materia puede transformarse en energía y viceversa. *(Sección 7)*

35. Explique en qué consiste el fenómeno de la radiactividad. *(Sección 8)*

36. Escriba las características de los tres rayos Becquerel. *(Sección 8)*

37. Diga cómo se puede producir radiactividad artificial. *(Sección 8)*

38. Explique qué es un isótopo y un radioisótopo. Escriba un ejemplo de cada uno y diga para qué se usan los radioisótopos. *(Sección 8)*

39. Describa mediante un ejemplo qué se entiende por vida media de un elemento radiactivo. *(Sección 8)*

40. Señale algunas aplicaciones prácticas y los peligros que presentan las radiaciones. *(Sección 8)*

41. Explique con un dibujo para qué sirve la cámara de niebla de Wilson y cómo funciona. *(Sección 8)*

42. Explique para qué sirve un contador de Geiger y un contador de centelleo. Mediante dibujos explique su funcionamiento. *(Sección 8)*

43. Explique qué significa la palabra láser, diga cómo se produce un rayo láser en un sólido como el rubí y señale qué usos prácticos se le da. *(Sección 9)*

44. Explique cómo se produce la fusión nuclear y qué limitaciones tienen los científicos para producirla. *(Sección 10)*

45. Diga en qué consiste la fusión en frío y explique por qué aún hay dudas de su existencia. *(Sección 10)*

46. Explique en qué consiste la fisión nuclear y cuáles son los elementos químicos más usados para producirla. *(Sección 11)*

47. Describa en qué consiste una reacción en cadena durante la fisión nuclear. *(Sección 11)*

48. Explique qué ventajas tiene el uso pacífico de la fisión nuclear y cuál es su desventaja si es empleada como arma militar. *(Sección 11)*

Coevaluación

Instrucciones: Consolide su aprendizaje, para ello, lea y conteste en una hoja las siguientes preguntas. Luego, intercambie con un(a) compañero(a) sus respuestas. Coméntenlas, pónganse de acuerdo y den respuestas comunes. Discútanlas con las demás parejas y enriquezcan sus conocimientos con las aportaciones de todos.

1. ¿Cómo explica que sólo unas cuantas partículas alfa disparadas sobre una laminilla de oro son las que rebotan?

2. ¿Por qué resulta incorrecto decir que los átomos son como pequeños sistemas solares?

3. ¿Considera usted que con el avance que día a día tiene la Física y sus importantes aplicaciones en la tecnología, sería posible construir una nave para que el ser humano pueda viajar con una magnitud de velocidad cercana a la de la luz? Sí o no. Explique por qué.

4. ¿Por qué el efecto fotoeléctrico hace pensar que la luz está formada por partículas o corpúsculos y no por ondas?

5. Luis de Broglie creó la mecánica ondulatoria y postuló que toda partícula en movimiento se encuentra asociada a una onda. ¿Existen evidencias experimentales de ello? En caso afirmativo señálelas.

6. En la actualidad una de las aplicaciones de la Física nuclear es para destruir tejidos cancerosos mediante la utilización terapéutica de algunos radioisótopos. ¿Puede explicar qué es un isótopo y un radioisótopo con un ejemplo de algún elemento químico?

7. En los juegos olímpicos celebrados en Beijing, China, se ensayó con la siembra de nubes para precipitar el agua y que no lloviera el día de la inauguración de los juegos olímpicos. ¿Puede describir en qué se basa dicha siembra?

8. ¿Está de acuerdo con la construcción de plantas nucleares para generar energía eléctrica en lugar de utilizar la combustión del carbón o diesel para obtenerla? Sí o no. Explique por qué. ¿Qué propone para evitar la contaminación ambiental?

Glosario

Cuerpo negro

Es aquel que absorbe toda la energía radiante incidente sobre él.

Efecto fotoeléctrico

Proceso mediante el cual la radiación luminosa desprende electrones de las superficies metálicas. Este efecto consiste en la transformación de energía luminosa a energía eléctrica.

Espectro óptico

Conjunto de rayos de diferentes colores que se forman uno junto al otro, cuando un rayo luminoso se descompone al atravesar un prisma o una red de difracción. Existen tres tipos de espectros: de emisión, de absorción y de rayos X.

Física clásica

Estudia los fenómenos en los que intervienen cuerpos macroscópicos, los cuales adquieren magnitudes de velocidades muy pequeñas comparadas con la magnitud de la velocidad de la luz.

Fisión nuclear

Se produce cuando un núcleo de un átomo pesado es bombardeado por una partícula incidente, especialmente por un neutrón provocando su ruptura en dos fragmentos y, muy rara vez, en tres.

Fusión nuclear

Se produce debido a la unión de dos o más núcleos de átomos ligeros en un solo núcleo de masa más elevada.

Isótopo de un elemento químico

Es aquel que tiene el mismo número de protones, pero diferente número de neutrones.

Ley de Kirchhoff de la radiación

Un cuerpo que es buen absorbedor de energía también es buen emisor de ella.

Onda de Broglie

Se presenta cuando una onda está asociada con una partícula. Esto con base en la idea de que una partícula puede comportarse como una onda.

Partículas elementales o fundamentales

Son corpúsculos materiales de dimensiones muy pequeñas que constituyen a los átomos o que son originados por la transformación de las partículas constitutivas de los mismos.

Principio de indeterminación de Heisenberg

Es imposible conocer con exactitud a la vez la posición y la velocidad de una partícula microscópica en movimiento.

Radiación

Fenómeno que consiste en la emisión de ondas electromagnéticas, de partículas atómicas o de rayos de cualquier tipo.

Radiactividad

Fenómeno que consiste en la desintegración espontánea o decaimiento de los núcleos atómicos de ciertos elementos, acompañado de la emisión de partículas o de radiaciones electromagnéticas.

Rayo láser

Rayo de naturaleza coherente e intensa, ya que es unidireccional, de gran intensidad y longitud de onda definida.

Teoría cuántica de Planck

Para el caso de osciladores que emiten radiaciones electromagnéticas no es posible aceptar la ganancia o la pérdida de cualquier cantidad fraccionaria de energía, pues sólo pueden hacerlo en cantidades discretas o en paquetes básicos de energía radiante llamados cuantos.

Teoría especial de la relatividad

Se fundamenta en dos postulados: **a)** La velocidad de la luz en el vacío siempre tiene la misma magnitud en cualquier sistema de referencia en el que no exista aceleración, es decir, en sistemas inerciales. **b)** Todas las leyes físicas son invariantes para todos los sistemas que se mueven de manera uniforme.

Teoría general de la relatividad

Describe las leyes de la naturaleza para marcos o sistemas de referencia no inerciales, es decir, para sistemas acelerados. Entre otros aspectos señala que la gravedad no es una fuerza sino una consecuencia de la curvatura del espacio creada por la presencia de masas.

Vida media de un elemento radiactivo

Es el tiempo que tarda la mitad de una cierta cantidad inicial del elemento en desintegrarse en otro diferente.

APÉNDICE

CONTENIDO

- Nociones de matemáticas
- Anexos
  1. Tabla de equivalencias entre las unidades de medida de algunas magnitudes físicas
  2. Alfabeto griego
  3. Algunas constantes físicas y sus valores
  4. Tabla de funciones trigonométricas naturales
- Respuestas de los ejercicios propuestos

Nociones de matemáticas

Los principios y leyes de la Física encuentran una aplicación práctica gracias al apoyo que las Matemáticas le proporcionan. Así, por ser éstas una herramienta fundamental, es necesario tener muy claros sus conceptos y operaciones básicas, como las siguientes:

1 *Suma y resta de fracciones*

Ejemplo 1
Sea la suma de 3.725 + 0.27 + 0.003 + 14.02

Para sumar estas cuatro cantidades debemos cuidar que el punto que separa la parte entera de la parte fraccionaria coincida en todas ellas al hacer la suma.

Solución:

$$\begin{array}{r} 3.725 \\ 0.27 \\ +\ 0.003 \\ 14.02 \\ \hline 18.018 \end{array}$$

Ejemplo 2
Sea la resta de 14.025 − 8.04 − 2.35

Para efectuar esta resta, primero sumamos de manera algebraica las dos cantidades que tienen signo negativo (−8.04 y −2.35) y después las restamos aritméticamente a la cantidad positiva (14.025), es decir:

Solución:
−8.04 + (−2.35) = −10.39

14.025 − 10.39 = 3.635

2 *Multiplicación y división de enteros y fracciones*

Ejemplo 1
Sean las multiplicaciones de:

a) 15 × 10

b) 15 × 100

c) 15 × 1 000

d) 0.15 × 10

e) 0.15 × 100

f) 0.15 × 1 000

Para multiplicar por 10, basta con agregarle un cero a la cantidad multiplicada o recorrer el punto decimal una vez a la derecha; si es por 100 se agregan dos ceros a la cantidad multiplicada o se recorre el punto decimal dos veces a la derecha; y para multiplicar por 1 000 se agregan tres ceros a la cantidad multiplicada o se recorre el punto decimal tres veces a la derecha.

Solución:

a) 15 × 10 = 15.0 = 150

b) 15 × 100 = 15.00 = 1 500

c) 15 × 1 000 = 15.000 = 1 5000

d) 0.15 × 10 = 0.1.5 = 1.5

e) 0.15 × 100 = 0.15. = 15

f) 0.15 × 1 000 = 0.150 = 150

Ejemplo 2
Sea la multiplicación de 42.755 × 6.35

Efectuamos la operación siguiendo el procedimiento para multiplicar. El punto decimal del resultado se colocará contando, en cada cantidad multiplicada, el número de cifras que hay antes de la primera cifra entera. Para la cantidad de 42.755 hay tres cifras antes del 2, primera cifra entera; para la cantidad 6.35 hay dos cifras antes del 6, primera cifra entera. Por tanto, el punto lo colocaremos, una vez hecha la multiplicación, después de la quinta cifra, ya que estamos sumando las tres cifras de la primera cantidad más las 2 de la otra cantidad.

Solución:

$$\begin{array}{r} 42.755 \quad \text{(tres cifras antes del punto)} \\ \times\ 6.35 \quad \text{(dos cifras antes del punto)} \\ \hline 213775 \\ 128265 \\ 256530 \\ \hline 271.49425 \quad \text{(cinco cifras antes del punto)} \end{array}$$

Ejemplo 3
Sean las divisiones de:

a) $\frac{1500}{10}$ **b)** $\frac{1500}{100}$

c) $\frac{1500}{1000}$ **e)** $\frac{0.15}{100}$

d) $\frac{0.15}{10}$ **f)** $\frac{0.15}{1000}$

Para dividir entre 10 basta con recorrer el punto un lugar a la izquierda de la cantidad dividida;

si es entre 100 se recorrerá dos veces y si es entre 1 000, tres veces.

Solución:

a) $\frac{1500}{10} = 150.0 = 150$

b) $\frac{1500}{100} = 15.00 = 15$

c) $\frac{1500}{1000} = 1.500 = 1.5$

d) $\frac{0.15}{10} = .015 = 0.015$

e) $\frac{0.15}{100} = .0015 = 0.0015$

f) $\frac{0.15}{1000} = .00015 = 0.00015$

Ejemplo 4

Sea la división de $\frac{32.5}{12}$ (dividendo) (divisor)

Como el dividendo tiene punto decimal, al hacer nuestra división, bastará con poner el punto exactamente arriba de él en el resultado o cociente obtenido:

Solución:

```
  2.70
12|32.5
  085
   010
```

Ejemplo 5

Sea la división de $\frac{42.6}{2.154}$ (dividendo) (divisor)

En este caso el dividendo y el divisor tienen punto decimal, por tanto, para hacer la división debemos primero eliminar el punto del divisor; esto se realiza al recorrer el punto o al agregar ceros en el dividendo, según sea el número de cifras que tenga el divisor antes del punto decimal. Como observamos, el divisor: 2.154, tiene tres cifras antes del punto, razón por la cual al dividendo: 42.6, le vamos a recorrer el punto tres veces; como sólo lo podemos recorrer una vez le agregamos, además de recorrer el punto un lugar, dos ceros. Finalmente el punto ha sido recorrido las tres cifras.

$$2.154\overline{)42.600}$$

entonces la división es igual a:

```
    19.77
2154|42600.0
   21060
    16740
     16620
      1542
```

3 *Raíz cuadrada*

La raíz cuadrada de una cantidad es aquel número que multiplicado por sí mismo, da como resultado la misma cantidad, es decir:

$\sqrt{9} = 3$ ya que $3 \times 3 = 9$

$\sqrt{25} = 5$ ya que $5 \times 5 = 25$

Ejemplo

Encontrar la raíz cuadrada de 2 425

Los pasos a seguir los enumeraremos a continuación, obsérvelos en el ejemplo realizado.

Paso 1. Se separan las cifras de dos en dos de derecha a izquierda, usando una coma.

Paso 2. Se calcula mentalmente la raíz del primer periodo (en nuestro ejemplo es la raíz cuadrada de 16, es decir, 4), siendo ésa la primera cifra del resultado.

Paso 3. Se le resta al primer periodo el cuadrado de la raíz aproximada.

Paso 4. Se baja el siguiente periodo.

Paso 5. Se separa la primera cifra de la derecha con una coma.

Paso 6. Se multiplica por 2 la raíz obtenida del primer periodo y la cantidad resultante se coloca abajo de dicha raíz, es decir, en el segundo renglón (en este caso, $4 \times 2 = 8$).

Paso 7. Se divide aproximadamente la cifra que quedó a la izquierda de la coma al bajar el segundo periodo, entre la cantidad del segundo renglón. Esto dará la segunda cifra del resultado.

Paso 8. La segunda cifra del resultado obtenido en el paso anterior, se repite en el segundo renglón.

Paso 9. Se multiplica la segunda cifra del resultado obtenido **(paso 7)** por el segundo renglón y la cantidad se coloca abajo del segundo periodo (en nuestro ejemplo es $9 \times 89 = 801$).

Paso 10. Se resta al segundo periodo la cantidad que se le colocó abajo, según el 9o. paso, y ése será el residuo.

Siga cada paso señalado en la descripción siguiente:

Paso 1

$\sqrt{24.25}$

Primer periodo

Segundo periodo

Paso 2

$\sqrt{24.25}\,|\,4$

Paso 3

$4^2 = 16$

$\sqrt{24.25}\,|\,4$

-16

8

Paso 4

$\sqrt{24.25}\,|\,4$

-16

825

Paso 5

$\sqrt{24.25}\,|\,4$

-16

82.5

Paso 6

$\sqrt{24.25}\,|\,4$

-16

82.5

8

Paso 7

$\sqrt{24.25}\,|\,49$

-16

82.5

8

Paso 8

$\sqrt{24.25}\,|\,49$

-16

82.5

89

Paso 9

$\sqrt{24.25}\,|\,49$

-16

82.5

80.1

89

Paso 10

$\sqrt{24.25}\,|\,49$

-16

82.5

$-80\,1$

24 ← residuo

89

Nota: Al hacer el 9o. paso, o sea, multiplicar la segunda cifra del resultado obtenido por el segundo renglón, el resultado debe ser menor o igual al segundo periodo, nunca mayor (en nuestro ejemplo, 801 es menor que 825). Si es mayor la cantidad, disminuir el valor de la segunda cifra del resultado.

Para aproximar más la raíz obtenida bastará con agregar dos ceros al residuo y volver a aplicar el procedimiento descrito.

En el caso de la raíz cuadrada de un número que tenga parte entera y parte decimal, se completa la parte decimal aumentando ceros para que el número de decimales sea par y con ello hacer la separación de dos en dos. Si la parte decimal tiene un número par de cifras, ya no es necesario agregar ceros, simplemente se separan de dos en dos y se realiza el proceso señalado. Otro recurso sería redondear la parte fraccionaria al número entero más cercano. Por ejemplo, la raíz cuadrada de 298.675, cuyo valor es 17.28, es aproximadamente igual a la raíz cuadrada de 299, cuyo valor es 17.29, y la raíz cuadrada de 4 297.429, cuyo valor es 65.555, es aproximadamente igual a la raíz cuadrada de 4 297 cuyo valor es 65.551.

4 *Despeje de incógnitas en una ecuación*

Para hacer despejes de incógnitas en una ecuación, debemos recordar lo siguiente:

1. Si en una igualdad un número está sumando puede pasar al otro lado, del signo igual, restando.
2. Si en una igualdad un número está restando puede pasar al otro lado, del signo igual, sumando.
3. Si en una igualdad un número está multiplicando puede pasar al otro lado, del signo igual, dividiendo.
4. Si en una igualdad un número está dividiendo puede pasar al otro lado, del signo igual, multiplicando.

Ejemplo 1

Despejar y de la siguiente ecuación:

$$y + b = a$$

Para despejar a y debemos pasar al otro lado del signo igual a b que como está sumando pasará restando, por tanto:

$$y = a - b$$

Ejemplo 2

Despejar r de la siguiente ecuación:

$$y + r = b + a$$

Como y está sumando pasa al otro lado de la igualdad, restando:

$$\therefore r = b + a - y$$

Ejemplo 3

Despejar h de la siguiente ecuación:

$$g = h - s$$

Para despejar h debemos pasar al otro lado del signo igual a s que como está restando pasará sumando, por tanto:

$$h = s + g$$

Ejemplo 4

Despejar d de la siguiente ecuación:

$$d - r = b - c$$

Como r está restando, pasa sumando al otro lado del signo de igual:

$$\therefore d = b - c + r$$

Ejemplo 5
Despejar m de la siguiente ecuación:

$$F = ma$$

Para despejar m debemos pasar a al otro lado del signo igual y como está multiplicando pasará dividiendo, por tanto:

$$\frac{F}{a} = m, \text{ o bien } m = \frac{F}{a}$$

Ejemplo 6
Despejar F de la siguiente ecuación:

$$T = Fd$$

Como d está multiplicando, pasa dividiendo al otro lado del signo de igual:

$$\therefore F = \frac{T}{d}$$

Ejemplo 7
Despejar d de la siguiente ecuación:

$$v = \frac{d}{t}$$

Para despejar a d debemos pasar al otro lado del signo igual a t que como está dividiendo pasará multiplicando, por tanto:

$$d = vt$$

Ejemplo 8
Despejar F de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{F}{A}$$

Como A está dividiendo, pasa multiplicando al otro lado del signo igual

$$\therefore F = PA$$

Ejemplo 9
Despejar a de la siguiente ecuación:

$$d = \frac{at^2}{2}$$

Para despejar a debemos pasar al otro lado del signo igual a t^2 y al 2. Para hacer estos despejes es recomendable pasar primero al otro lado del signo igual lo que está dividiendo y después lo que se encuentra multiplicando.

$$2d = at^2$$

Paso 1. t^2 que está multiplicando pasa al otro lado del signo igual dividiendo:

$$\frac{2d}{t^2} = a, \text{ o bien, } a = \frac{2d}{t^2}$$

Ejemplo 10
Despejar v_f de la ecuación:

$$a = \frac{v_f - v_o}{t}$$

Paso 1. t que está dividiendo pasa al otro lado del signo igual multiplicando:

$$at = v_f - v_0$$

Paso 2. v_0 que está restando pasa al otro lado del signo igual sumando:

$$v_f = v_0 + at$$

5 *Potencias de base 10 (Notación científica)*

Cuando se quiere expresar grandes o pequeñas cantidades para trabajar con ellas con mayor facilidad, es muy común emplear la notación científica, la cual consiste en escribir las cantidades en potencias de base 10.
Para comprender las potencias de base 10 y el beneficio de su uso, recordemos que si un número se eleva a una potencia, la potencia nos indica las veces que el número se multiplica por sí mismo. Ejemplos:

a) $6^2 = 6 \times 6$

b) $9^3 = 9 \times 9 \times 9$

c) $2^5 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$

En el caso de potencias de base 10, siempre será el número 10 el que se eleve a una potencia:

$10^1 = 10$

$10^2 = 10 \times 10 = 100$

$10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1\,000$

$10^4 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10\,000$

$10^5 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 100\,000$

$10^6 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 1\,000\,000$

Si observamos cada caso, encontraremos que cuando la base 10 está elevada a una potencia, el resultado es igual al número 1 seguido de tantos ceros como indique la potencia. Ejemplo:

$10^8 = 100\,000\,000$

10^8 es igual al 1 seguido de 8 ceros

Podemos tener ahora el caso de elevar el 10 a una potencia negativa. Esto equivale a dividir 1 entre 10 elevado a esa misma potencia, pero con signo positivo. Ejemplos:

a) $10^{-1} = \frac{1}{10} = 0.1$

b) $10^{-2} = \frac{1}{10^2} = \frac{1}{100} = 0.01$

c) $10^{-3} = \frac{1}{10^3} = \frac{1}{1\,000} = 0.001$

d) $10^{-4} = \frac{1}{10^4} = \frac{1}{10\,000} = 0.0001$

e) $10^{-6} = \frac{1}{10^6} = \frac{1}{1\,000\,000} = 0.000001$

Al observar cada caso nos percataremos de que cuando la base 10 está elevada a una potencia negativa, el resultado es igual a recorrer el punto decimal a partir del número 1 tantas veces como lo señale la potencia negativa. Ejemplo:

10^{-8} es igual a recorrer el punto decimal 8 cifras a la izquierda a partir del número 1.

$10^{-8} = 0.00000001$

El punto decimal se recorrió a la izquierda 8 cifras a partir del 1.
De la misma manera 10^{-5} y 10^{-9} se expresan en forma decimal como:

$10^{-5} = 0.00001$

$10^{-9} = 0.000000001$

Apliquemos lo aprendido en la expresión de cantidades, empleando la potencia de base 10.

Ejemplo 1
Expresar la cantidad 620 000 con una sola cifra entera, utilizando la potencia de base 10.
Como observamos, 620 000 consta de seis cifras enteras; para expresarlo con una sola cifra entera, debemos recorrer el punto decimal cinco veces:

6.20 000 ←

Por tanto: $620\,000 = 6.2 \times 10^5$

Como se observa, la base 10 está elevada a la 5a. potencia, pues fue el número de veces que recorrimos el punto decimal.

Ejemplo 2
Expresar las siguientes cantidades con una sola cifra entera, empleando la potencia de base 10.

a) 500 **c)** 800 000

b) 75 000 **d)** 7 000 000

Solución:

a) $500 = 5 \times 10^2$ (ya que recorrimos dos veces el punto)

b) $75\,000 = 7.5 \times 10^4$ (ya que recorrimos cuatro veces el punto)

c) $800\,000 = 8 \times 10^5$ (ya que recorrimos cinco veces el punto)

d) $7\,000\,000 = 7 \times 10^6$ (ya que recorrimos seis veces el punto)

Ejemplo 3
Expresar la cantidad 0.000003 con una sola cifra entera, usando la potencia de base 10.
Como observamos 0.000003 no tiene ninguna cifra entera, de manera que para expresarlo como tal debemos recorrer el punto decimal seis veces:

Por tanto: 0.000003 → $= 3 \times 10^{-6}$

Como se observa, la base 10 está elevada a la 6a. potencia, pues fue el número de veces que recorrimos el punto decimal. El signo es negativo cuando convertimos una fracción decimal a entero.

Ejemplo 4
Expresar las siguientes cantidades con una sola cifra entera, utilizando la potencia de base 10.

a) 0. 003 **c)** 0.0000705

b) 0.000135 **d)** 0.000000001

Solución:

a) $0.003 = 3 \times 10^{-3}$ (ya que recorrimos tres veces el punto)

b) $0.000135 = 1.35 \times 10^{-4}$ (ya que recorrimos cuatro veces el punto)

c) $0.0000705 = 7.05 \times 10^{-5}$ (ya que recorrimos cinco veces el punto)

d) $0.000000001 = 1 \times 10^{-9}$ (ya que recorrimos nueve veces el punto)

Principales operaciones utilizando potencias de base 10

1. Multiplicación de potencias de base 10. En este caso basta con sumar algebraicamente los exponentes. Ejemplos:

a) $10^3 \times 10^4 = 10^{3+4} = 10^7 = 1 \times 10^7$

b) $1 \times 10^3 \times 1 \times 10^2 = 1 \times 10^{3+2} = 1 \times 10^5$

c) $2 \times 10^4 \times 3 \times 10^2 = 6 \times 10^{4+2} = 6 \times 10^6$

d) $5 \times 10^2 \times 4 \times 10^5 = 20 \times 10^{2+5} = 20 \times 10^7$

e) $4 \times 10^6 \times 2 \times 10^{-2} = 8 \times 10^{6+(-2)} = 8 \times 10^4$

f) $6 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^{-4} = 30 \times 10^{-3+(-4)} = 30 \times 10^{-7}$

2. División de potencias de base 10. Ejemplos:

a) $\frac{1}{10^4} = 10^{-4} = 1 \times 10^{-4}$

b) $\frac{1}{10^{-2}} = 10^2 = 1 \times 10^2$

c) $\frac{6}{3 \times 10^4} = \frac{6}{3} \times \frac{1}{10^4} = 2 \times 10^{-4}$

d) $\frac{8 \times 10^2}{4} = \frac{8}{4} \times 10^2 = 2 \times 10^2$

e) $\frac{12 \times 10^6}{6 \times 10^4} = \frac{12}{6} \times \frac{10^6}{10^4} = 2 \times 10^6 \times 10^{-4}$
$= 2 \times 10^2$

f) $\frac{25 \times 10^{-2}}{5 \times 10^4} = 5 \times 10^{-2} \times 10^{-4} = 5 \times 10^{-6}$

g) $\frac{45 \times 10^{-8}}{5 \times 10^{-3}} = 3 \times 10^{-8} \times 10^3 = 3 \times 10^{-5}$

h) $\frac{5 \times 10^7}{2 \times 10^{-4}} = 2.5 \times 10^7 \times 10^4 = 2.5 \times 10^{11}$

3. Suma y resta de potencias de base 10. Para efectuar estas dos operaciones los exponentes deben ser iguales. En caso contrario tenemos que igualarlos, ya sea aumentar uno o disminuir el otro.

a) $2 \times 10^3 + 3 \times 10^3 = 5 \times 10^3$

b) $8 \times 10^8 + 0.5 \times 10^8 = 8.5 \times 10^8$

c) $7 \times 10^{12} + 9 \times 10^{12} = 16 \times 10^{12}$

d) $15 \times 10^{-4} - 12 \times 10^{-4} = 3 \times 10^{-4}$

e) $3 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-5} = 1 \times 10^{-5}$

f) $18 \times 10^{-6} - 20 \times 10^{-6} = -2 \times 10^{-6}$

g) $9.5 \times 10^4 + 3 \times 10^5 =$ ¡Así no pueden sumarse!

En este último caso debemos igualar sus exponentes. Para ello, aumentamos el menor o disminuimos el mayor y el resultado será el mismo. Si aumentamos el menor, tenemos que:

$$9.5 \times 10^4 = 0.95 \times 10^5$$

donde:

$$0.95 \times 10^5 + 3 \times 10^5 = 3.95 \times 10^5$$

Si disminuimos el mayor, tenemos que:

$$3 \times 10^5 = 30 \times 10^4$$

donde:

$$9.5 \times 10^4 + 30 \times 10^4 = 39.5 \times 10^4$$

como sabemos:

$$3.95 \times 10^5 = 39.5 \times 10^4$$

h) $4.5 \times 10^8 + 2 \times 10^{10}$ al disminuir el exponente mayor, tenemos:

$$4.5 \times 10^8 + 200 \times 10^8 = 204.5 \times 10^8$$

al aumentar el menor, tenemos:

$$0.045 \times 10^{10} + 2 \times 10^{10} = 2.045 \times 10^{10}$$

como sabemos:

$$204.5 \times 10^8 = 2.045 \times 10^{10}$$

i) $7 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-5} = 7 \times 10^{-4} - 0.3 \times 10^{-4}$
$= 6.7 \times 10^{-4}$

o bien:

$$70 \times 10^{-5} - 3 \times 10^{-5} = 67 \times 10^{-5}$$

4. Elevación de un exponente a otro exponente.

Ejemplos:

a) $(10^5)^2 = 10^{5 \times 2} = 10^{10} = 1 \times 10^{10}$

b) $(10^{-4})^3 = 10^{-4 \times 3} = 10^{-12} = 1 \times 10^{-12}$

c) $(5 \times 10^2)^2 = 5^2 \times (10^2)^2 = 25 \times 10^4$

d) $(6 \times 10^3)^2 = 36 \times 10^6$

e) $(2 \times 10^5)^4 = 16 \times 10^{20}$

5. Raíz cuadrada de una potencia de base 10. Cuando el exponente es par se procede a obtener la raíz cuadrada directamente. Ejemplos:

a) $\sqrt{10^4} = 10^{4/2} = 10^2 = 1 \times 10^2$

b) $\sqrt{10^8} = 10^{8/2} = 10^4 = 1 \times 10^4$

c) $\sqrt{10^2} = 10^{2/2} = 10$

d) $\sqrt{9 \times 10^6} = \sqrt{9} \times \sqrt{10^6} = 3 \times 10^3$

e) $\sqrt{25 \times 10^{12}} = 5 \times 10^6$

Cuando el exponente es impar, debe convertirse a exponente par, para no obtener un exponente fraccionario como resultado.

f) $\sqrt{64 \times 10^7} = \sqrt{64} \times \sqrt{10^7} = 8 \times 10^{7/2} = 8 \times 10^{3.5}$

Como observamos se obtuvo un exponente fraccionario. Esto se evita transformando el exponente de impar a par. Para ello, podemos aumentar o disminuir en una unidad al exponente, según nos resulte más conveniente. De acuerdo con nuestro ejemplo tenemos:

$$\sqrt{64 \times 10^7} = \sqrt{6.4 \times 10^8} = 2.5 \times 10^4$$

o bien:

$$\sqrt{64 \times 10^7} = \sqrt{640 \times 10^6} = 25 \times 10^3$$

que es igual a 2.5×10^4

g) $\sqrt{90\times10^{-5}} = \sqrt{9\times10^{-4}} = 3\times10^{-2}$

h) $\sqrt{5\times10^{-9}} = \sqrt{50\times10^{-10}} = 7.071\times10^{-5}$

6. Funciones trigonométricas y teorema de Pitágoras

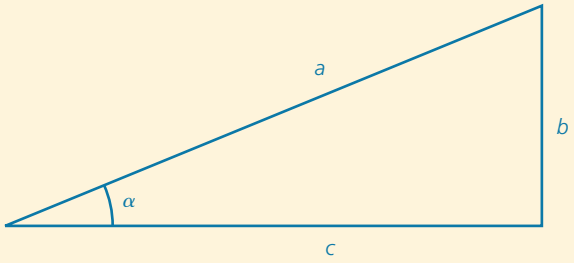
En un triángulo rectángulo (aquel que tiene un ángulo de 90°) encontramos las siguientes funciones trigonométricas:

$$\text{seno de } \alpha = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\text{coseno de } \alpha = \frac{\text{cateto adyacente}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\text{tangente de } \alpha = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}}$$

Considerando el siguiente triángulo rectángulo:



a = hipotenusa

b = cateto opuesto al ángulo α

c = cateto adyacente al ángulo α

De acuerdo con nuestras definiciones:

$$\text{sen } \alpha = \frac{b}{a} \therefore b = a \text{ sen } \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{c}{a} \therefore c = a \cos \alpha$$

$$\tan \alpha = \frac{b}{a} \therefore b = c \tan \alpha$$

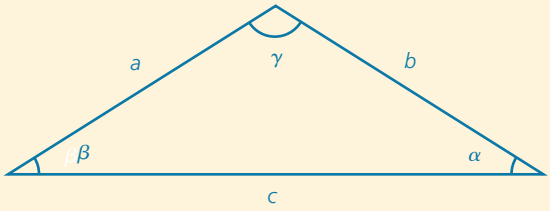
Estas expresiones serán de utilidad cuando se conozca uno de los ángulos agudos (son los que miden menos de 90°) y uno de los lados de un triángulo rectángulo; con ello, podremos calcular los otros dos lados, usando las funciones trigonométricas.

Cuando se conocen dos lados de un triángulo rectángulo es posible calcular el otro lado utilizando el teorema de Pitágoras, que dice: el cuadrado de la hipotenusa es igual a la suma del cuadrado de los catetos.

$$a^2 = b^2 + c^2 \therefore a = \sqrt{b^2 + c^2}$$

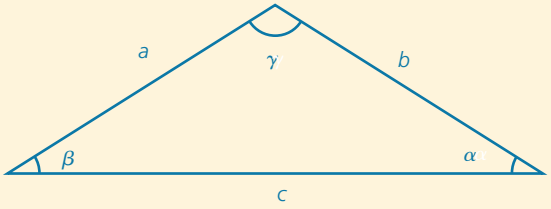
7. Ley de los senos y ley de los cosenos

La ley de los senos establece que en cualquier triángulo oblicuo (son aquellos que no tienen ningún ángulo recto) se cumplen las siguiente relaciones:



$$\frac{a}{\text{sen } \alpha} = \frac{b}{\text{sen } \beta} = \frac{c}{\text{sen } \gamma}$$

La ley de los cosenos establece que en cualquier triángulo, y en especial en los oblicuos, el cuadrado de un lado es igual a la suma del cuadrado de los otros dos lados, menos su doble producto, multiplicado por el coseno del ángulo formado por estos dos lados.



$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$

$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos \beta$

$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$

Esta ley sirve para encontrar un lado de un triángulo si se conocen los otros dos. Además, la usamos para encontrar la resultante de la suma de dos vectores angulares o concurrentes.

cuadro a. Signos de las funciones trigonométricas seno y coseno

	Primer cuadrante (0° a 90°)	Segundo cuadrante (90° a 180°)	Tercer cuadrante (180° a 270°)	Cuarto cuadrante (270° a 360°)
Seno	+	+	−	−
Coseno	+	−	−	+

Anexo 1

Tabla de equivalencias entre las unidades de medida de algunas magnitudes físicas

a) Longitud

- 1 m = 100 cm
- 1 m = 1 000 mm
- 1 cm = 10 mm
- 1 km = 1 000 m
- 1 angstrom (Å) = 1×10^{-8} cm
- 1 Å = 1×10^{-10} m
- 1 m = 3.28 pies
- 1 m = 1.093 yardas
- 1 milla = 1.609 km
- 1 milla marina = 1.852 km
- 1 pie = 12 pulgadas
- 1 pulg = 2.54 cm
- 1 pie = 30.48 cm
- 1 yarda = 3 pies
- 1 yarda = 91.44 cm

b) Masa

- 1 kg = 1 000 g
- 1 kg = 2.2 libras
- 1 libra = 454 g
- 1 tonelada = 1 000 kg

c) Tiempo

- 1 h = 3 600 s
- 1 h = 60 min
- 1 min = 60 s
- 1 año = 365.24 días
- 1 siglo = 100 años
- 1 década = 10 años
- 1 lustro = 5 años
- 1 día = 86 400 s

d) Área o superficie

- $(1\ m)^2 = (100\ cm)^2 = 1 \times 10^4\ cm^2$
- $(1\ m)^2 = (3.28\ pies)^2 = 10.76\ pies^2$
- 1 área = 100 m^2
- 1 hectárea = 10 000 m^2
- 1 acre = 4 840 $yardas^2$
- 1 acre = 43 560 $pies^2$
- 1 acre = 4 048.33 m^2

e) Volumen

- 1 m^3 = 1 000 litros
- $1\ m^3 = 1 \times 10^6\ cm^3$
- 1 litro = 1 000 cm^3
- 1 litro = 1 000 ml
- 1 ml = 1 cm^3
- 1 litro = 1 dm^3
- 1 galón = 3.785 litros

f) Rapidez o magnitud de la velocidad

- 1 km/h = 0.2778 m/s
- 1 milla/h = 1.609 km/h
- 1 m/s = 3.28 pies/s
- 1 nudo = 1 milla marina/h
- 1 nudo = 1.852 km/h

g) Fuerza

- 1 kg_f = 9.8 N
- 1 kg_f = 1 000 g_f
- $1\ N = 1 \times 10^5$ dinas
- 1 kg_f = 2.2 lb_f
- 1 lb_f = 454 g_f
- 1 lb_f = 4.448 N

h) Trabajo y energía

- 1 joule (J) = 0.24 cal
- 1 cal = 4.18 J
- $1\ kWh = 3.6 \times 10^6$ J
- $1\ eV = 1.602 \times 10^{-19}$ J

i) Potencia

- 1 hp = 746 W
- 1 cv = 736 W
- $1\ W = 1.341 \times 10^{-3}$ hp
- 1 hp = 0.178 kcal/s

j) Densidad

- $1\ g/cm^3 = 1\ 000\ kg/m^3$
- $1\ g/cm^3 = 1\ g/ml$
- $1\ g/cm^3 = 1\ kg/litro$

k) Presión

- 1 atm = 760 mm de Hg
- 1 atm = 76 cm de Hg
- $1\ Pa = 1\ N/m^2$
- $1\ atm = 1.013 \times 10^5\ N/m^2$
- $1\ cm\ de\ Hg = 13.6\ g_f/cm^2$
- $1\ cm\ de\ Hg = 0.0136\ kg_f/cm^2$
- $1\ mm\ de\ Hg = 1.36\ g_f/cm^2$
- $1\ mm\ de\ Hg = 1.36 \times 10^{-3}\ kg_f/cm^2$
- $760\ mm\ de\ Hg = 1.0336\ kg_f/cm^2$
- 1 torr = 1 mm de Hg
- $1\ bar = 1 \times 10^5\ N/m^2$

l) Carga eléctrica

- 1 C = carga de 6.24×10^{18} electrones
- 1 electrón = -1.6×10^{-19} C
- 1 protón = 1.6×10^{-19}

Anexo 2

Alfabeto griego

Mayúscula	Minúscula	Nombre	Mayúscula	Minúscula	Nombre
A	α	alpha	N	ν	nu
B	β	beta	X	χ	xi
Γ	γ	gamma	O	o	ómicron
Δ	δ	delta	Π	π	pi
E	ε	épsilon	P	ρ	rho
Z	ζ	zeta	Σ	σ	sigma
H	η	eta	T	τ	tau
Θ	ϑ	theta	Y	θ	upsilon
I	ι	iota	Φ	ϕ	phi
K	κ	kappa	Ψ	ψ	chi
Λ	λ	lambda	Υ	υ	psi
M	μ	mu	δ	φ	omega

Anexo 3

Algunas constantes físicas y sus valores

Magnitud de la velocidad de la luz en el vacío	$c = 2.998 \times 10^8\ m/s \approx 3 \times 10^8\ m/s$
Masa de la Tierra	$m_T = 5.98 \times 10^{24}\ kg$
Radio de la Tierra	$r_T = 6.37 \times 10^6\ m$
Magnitud de la velocidad de traslación de la Tierra alrededor del Sol	$v_T = 30\ km/s = 108\ 000\ km/h$

Magnitud de la velocidad de rotación de la Tierra en el ecuador	$v_R = 463$ m/s $= 1\,666.66$ km/h
Masa de la Luna	$m_L = 7.25 \times 10^{22}$ kg
Radio de la Luna	$r_L = 1.738 \times 10^{6}$ m
Masa en reposo del	
electrón	$m_e = 9.109 \times 10^{-31}$ kg
protón	$m_p = 1.673 \times 10^{-27}$ kg
neutrón	$m_n = 1.675 \times 10^{-27}$ kg
Unidad de masa atómica	$u = \frac{1}{12}$ masa del $C_{12} = 1.660 \times 10^{-27}$ kg
Energía de un electrón volt	$eV = 1.602 \times 10^{-19}$ J
Carga del electrón	$e^- = -1.602 \times 10^{-19}$ C
Carga del protón	$P = 1.602 \times 10^{-19}$ C
Número de Avogadro	$N_A = 6.022 \times 10^{23}$ moléculas/mol
Constante universal de los gases	$R = 8.314$ J/K mol
Magnitud de la aceleración normal de la gravedad	$g = 9.80665$ m/s^2
Constante de gravitación universal	$G = 6.670 \times 10^{-11}$ Nm^2/kg^2
Presión atmosférica normal	$P_n = 760$ mm de Hg $= 1.034$ kg$_f$/cm^2
Cero absoluto	0 K $= -273.15$ °C
Equivalente mecánico del calor	1 cal $= 4.186$ J
Constante de Coulomb o electrostática	$K_E = 8.987 \times 10^9$ Nm^2/C^2
Constante de Planck	$h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js
Constante magnética	$K_M = 10^{-7}$ N/A^2

Anexo 4

Tabla de funciones trigonométricas naturales

Ángulo	Seno	Coseno	Tangente	Ángulo	Seno	Coseno	Tangente
0	0.0000	1.0000	0.0000	46	0.7193	0.6947	1.0355
1	0.0175	0.9998	0.0175	47	0.7314	0.6820	1.0724
2	0.0349	0.9994	0.0349	48	0.7431	0.6691	1.1106
3	0.0523	0.9986	0.0524	49	0.7547	0.6561	1.1504
4	0.0698	0.9976	0.0699	50	0.7660	0.6428	1.1918
5	0.0872	0.9962	0.0875	51	0.7771	0.6293	1.2349
6	0.1045	0.9945	0.1051	52	0.7880	0.6157	1.2799
7	0.1219	0.9925	0.1228	53	0.7986	0.6018	1.3270
8	0.1392	0.9903	0.1405	54	0.8090	0.5878	1.3764
9	0.1564	0.9877	0.1584	55	0.8192	0.5736	1.4281
10	0.1736	0.9848	0.1763	56	0.8290	0.5592	1.4826

11	0.1908	0.9816	0.1944	57	0.8387	0.5446	1.5399
12	0.2079	0.9781	0.2126	58	0.8480	0.5299	1.6003
13	0.2250	0.9744	0.2309	59	0.8572	0.5150	1.6643
14	0.2419	0.9703	0.2493	60	0.8660	0.5000	1.7321
15	0.2588	0.9659	0.2679	61	0.8746	0.4848	1.8040
16	0.2756	0.9613	0.2867	62	0.8829	0.4695	1.8807
17	0.2924	0.9563	0.3057	63	0.8910	0.4540	1.9626
18	0.3090	0.9511	0.3249	64	0.8988	0.4384	2.0503
19	0.3256	0.9455	0.3443	65	0.9063	0.4226	2.1445
20	0.3420	0.9397	0.3640	66	0.9135	0.4067	2.2460
21	0.3584	0.9336	0.3839	67	0.9205	0.3907	2.3559
22	0.3746	0.9272	0.4040	68	0.9272	0.3746	2.4751
23	0.3907	0.9205	0.4245	69	0.9336	0.3584	2.6051
24	0.4067	0.9135	0.4452	70	0.9397	0.3420	2.7475
25	0.4227	0.9063	0.4663	71	0.9455	0.3256	2.9042
26	0.4384	0.8988	0.4877	72	0.9511	0.3090	3.0777
27	0.4540	0.8910	0.5095	73	0.9563	0.2924	3.2709
28	0.4695	0.8829	0.5317	74	0.9613	0.2756	3.4874
29	0.4848	0.8746	0.5543	75	0.9659	0.2588	3.7321
30	0.5000	0.8660	0.5774	76	0.9703	0.2419	4.0108
31	0.5150	0.8572	0.6009	77	0.9744	0.2250	4.3315
32	0.5299	0.8480	0.6249	78	0.9781	0.2079	4.7046
33	0.5446	0.8387	0.6494	79	0.9816	0.1908	5.1446
34	0.5592	0.8290	0.6745	80	0.9848	0.1736	5.6713
35	0.5736	0.8192	0.7002	81	0.9877	0.1564	6.3138
36	0.5878	0.8090	0.7265	82	0.9903	0.1392	7.1154
37	0.6018	0.7986	0.7536	83	0.9925	0.1219	8.1443
38	0.6157	0.7880	0.7813	84	0.9945	0.1045	9.5144
39	0.6293	0.7771	0.8098	85	0.9962	0.0872	11.4301
40	0.6428	0.7660	0.8391	86	0.9976	0.0698	14.3007
41	0.6561	0.7547	0.8693	87	0.9986	0.0523	19.0811
42	0.6691	0.7431	0.9004	88	0.9994	0.0349	28.6363
43	0.6820	0.7314	0.9325	89	0.9998	0.0175	57.2900
44	0.6947	0.7193	0.9657	90	1.0000	0.0000	
45	0.7071	0.7071	1.0000				

Respuestas de los ejercicios propuestos

Unidad 2. Unidades y mediciones

Página 24

1. 1 500 m
2. 3 km
3. 800 cm
4. 0.25 m
5. 4.57 m
6. 114.8 pies
7. 26.4 lb
8. 76.2 cm
9. 16.39 yardas
10. 160.9 km
11. 500 cm^3
12. 10.0 litros
13. 11.355 litros
14. $1.08 \times 10^3 \frac{km}{h}$
15. $22.22 \frac{m}{S}$
16. $5.36 \frac{m}{S}$
17. $6.21 \frac{milla}{h}$
18. $87.78 \frac{km}{h}$
19. 490 N

Página 25

1. 150 mm^2
2. 0.35 cm^2
3. 3×10^4 cm^2
4. 0.8×10^4 cm^2
5. 200×10^{-4} m^2
6. 0.46 m^2
7. 18×10^6 cm^3
8. 5 000 litros
9. 1 m^3
10. 1.059×10^3 $pies^3$
11. 4.24 m^3
12. $99.10 \times 10 \frac{cm^3}{h}$

Página 25

1. 333 K
2. 383 K
3. 107 °C
4. −63 °C
5. 140 °F
6. 208.4 °F
7. 10 °C
8. 54.4 °C

Página 30

a) $\bar{x} = 2.55$ s (según las reglas de redondeo de cifras)

b) *Errores absolutos:*

1. 0.01 **2.** −0.01 **3.** 0.04 **4.** −0.03 **5.** 0.02 **6.** −0.04

Errores relativos:

1. 0.003921 **2.** 0.003921 **3.** 0.015686 **4.** 0.011764 **5.** 0.007843 **6.** 0.015686

Errores porcentuales:

1. 0.3921% **2.** 0.3921% **3.** 1.5686% **4.** 1.1764% **5.** 0.7843% **6.** 1.5686%

c) $Dm =$ 0.03 s (redondeando la cifra)

d) 2.55 s ± 0.03 s

Unidad 3. Vectores

Páginas 44-45

1. **a)** $d_t = 12$ km
   b) $\vec{d} = 8.6$ km en dirección noreste con un ángulo de 54° respecto al este.
2. **a)** $d_t = 12$ m
   b) $\vec{d} = 10.1$ m en dirección noreste con un ángulo de 29° respecto al este.
3. **a)** $d_t = 11.9$ km
   b) $\vec{d} = 6.1$ km en dirección noreste con un ángulo de 9° medido respecto al este.
4. **a)** $d_t = 1\,700$ m
   b) $\vec{d} = 460$ m en dirección suroeste con un ángulo de 41.5° medido respecto al oeste.

Páginas 48-49

1. **a)** $F_x = 21.212$ N, $F_y = 25.278$ N
   b) $F_x = -2.048$ N, $F_y = 1.434$ N
   c) $F_x = -100$ N, $F_y = -173.2$ N
2. $F_x = -346.4$ N, $F_y = 200$ N
3. $F_x = 1\,414.16$ N, $F_y = -1\,685.2$ N
4. **a)** $F_x = 290.02$ N, $F_y = 135.23$ N
   b) $d_x = 15.39$ m, $d_y = 42.29$ m
   c) $v_x = -5.14$ m/s, $v_y = 6.128$ m/s
5. **a)** $R = 3.9$ N, $\alpha = 50.2° = 50°12'$
   b) $R = 43.01$ m, $\alpha = 35.5° = 35°30'$
   c) $R = 512.25$ m/s, $\alpha = 38.6° = 38°36'$
6. $v = 80$ m/s

Páginas 52-53

1. **a)** $R = 4.78$ N, $\alpha = 13.9° = 13°54'$
   b) $R = 31.22$ N, $\alpha = 76.1° = 76°6'$
   c) $R = 3.1$ N, $\alpha = 47.8° = 47°48'$
2. $F_2 = 306.4$ N, $\alpha = 26.5° = 26°30'$

3. $P = 81.5$ N
4. $P = 550$ N
5. $R = 1\,206.5$ N
   $\measuredangle = 28°$ respecto al este
6. $v_R = 28.62$ m/s
   $\measuredangle = 27°$ respecto al sur
7. $v_R = 16.49$ m/s
   $\measuredangle = 76°$

Página 55

1. $R = 44$ N
   $\measuredangle = 292°$
2. $F_1 = 200$ N a 30°; $F_2 = 300$ N a 90°
   $F_3 = 150$ N a 120°; $F_4 = 250$ N a 220°
3. $v_R = 27.5$ m/s
   $\measuredangle = 119.4° = 119°24'$
4. $R = 6.850$ N
   $\alpha = 51.9° = 51°54'$

Unidad 4. Cinemática

Página 69-70

1. $\vec{d} = 666$ m al este
2. $t = 154.1$ s
3. **a)** $\vec{v} = 75$ km/h al norte
   b) $\vec{v} = -45$ km/h al sur
   c) La velocidad del barco al cruzar perpendicularmente el río es de 62 km/h con un ángulo de 14° en dirección noreste

Página 73

1. $v_m = 80$ km/h
2. $v_m = 3.6$ m/s
3. $\vec{d} = 58.33$ m al norte
4. $t = 0.06$ h

Páginas 85-86

1. $a = 0$ m/s^2
2. $a = 3.77$ m/s^2
3. **a)** $\vec{a} = 2.08$ m/s^2 al norte
   b) $\vec{d} = 38.86$ m al norte
4. **a)** $\vec{a} = 0.76$ m/s^2 al este
   b) $\vec{d} = 183.9$ m al este
5. **a)** $v = 7.2$ m/s
   b) $d = 4.32$ m
6. **a)** $\vec{v}_{5s} = 17.78$ m/s al sur
   b) $\vec{d} = 51.38$ m al sur
7. **a)** $\vec{a} = 2.8$ m/s al este
   b) $d = 49.96$ m
8. **a)** $t = 31.62$ s
   b) $v = 18.97$ m/s $= 68.29$ km/h
9. **a)** $a = -4.44$ m/s^2
   b) $d = 55.5$ m
   c) $v_{2s} = 13.34$ m/s
   d) $d_{2s} = 35.56$ m
10. **a)** $\vec{a} = -9.25$ m/s^2 al oeste
    b) $t = 1.8$ s
    c) $d_{1s} = 12.03$ m

Página 90

1. $a = 9.8$ m/s^2
2. **a)** $h = -122.5$ m
   b) $v = -49$ m/s
3. **a)** $t = 4.95$ s
   b) $v = -48.5$ m/s
4. **a)** $v = -47.2$ m/s
   b) $d = -110.4$ m
5. **a)** a) $d = 20.4$ m
   b) $v = 0.4$ m/s
   c) $h = 20.41$ m
   d) $t = 4.08$ s

Páginas 94-95

1. **a)** $h = -122.5$ m
   b) $d = 50$ m
2. **a)** $t_{(aire)} = 46.82$ s
   b) $h_{máx} = 2\,685.8$ m
   c) $d_H = 15\,341.97$ m
3. $\theta = 9.33° = 9°20'$
4. **a)** $t = 10.1$ s
   b) $d_H = 2\,244.44$ m
5. **a)** $h_{máx} = 10.2$ m
   b) $d_H = 48.62$ m

Página 100

1. $\theta = 630$ rad
2. 125.65 rad
3. $\omega = 200$ rad/s
4. 42 975°
5. $\omega = 125.6$ rad/s
   $T = 0.05$ s/rev
6. $\omega = 62.8$ rad/s
   $f = 10$ ciclos/s
7. $\omega = 62.8$ rad/s
   $\theta = 37\,680$ rad
8. $v_L = 6$ m/s
9. $v_L = 209.33$ m/s

Página 104

1. $\alpha = 175$ rad/s^2
2. $\omega_f = 30$ rad/s
3. $\omega_f = 99$ rad/s
   $\theta = 684$ rad
4. $\alpha = 12$ rad/s^2
5. **a)** $\omega = 90$ rad/s
   b) $\theta = 663$ rad

6. $\alpha = 100.4\ rad/s^2$
7. **a)** $\omega = 9.5\ rad/s$
   b) $\theta = 28.75\ rad$
   c) 4.58 rev

Página 106

1. $\omega = 12.56\ rad/s$
   $v_L = 1.88\ m/s$
2. $v_L = 30\ m/s$
3. $a_L = 0.6\ m/s^2$
4. $a_r = 22.4\ m/s^2$
5. $\omega = 20.93\ rad/s$
   $v_L = 4.19\ m/s$
   $a_L = 13.95\ m/s^2$
   $a_r = 87.61\ m/s^2$
   $a_R = 88.71\ m/s^2$

Páginas 114-115

1. **a)** $Y = -2.35\ cm$
   b) $v = 6.1\ cm/s$
   c) $v_{máx} = \pm 7.53\ cm/s$
2. **a)** $Y_{4s} = -0.08\ m$
   b) $v_{4s} = -0.38\ m/s$
   c) $v_{máx} = \pm 0.41\ m/s$
   d) $a_{máx} = \pm\ 0.87\ m/s^2$
3. $\ell = 0.6\ m$

Unidad 5. Dinámica

Página 145

1. $F = 120\ N$
2. $m = 200\ kg$
3. $a = 50\ m/s^2$
4. $F = 25\ N$
5. $P = 980\ N$
6. $m = 153.06\ kg$
7. $F = 7.65\ N$
8. $a = 13.3\ m/s^2$
9. **a)** $R = 78.4\ N$
   b) $F_x = 21.33\ N$
10. **a)** $T = 659.18\ N$
    b) $T = 1\,240.81\ N$
11. $T = 5495.63\ N$
12. $a = 2.64\ m/s^2$
13. **a)** P = 826 N
    b) P = 546 N
14. $T = 8\,470.16\ N$

Páginas 155-156

1. $F = 120060 \times 10^{-11}\ N$
2. $F = 1\,440.72 \times 10^{-8}\ N$
3. $F = 10.417 \times 10^{-7}\ N$
4. $d = 5\ m$
5. $d = 29.92\ cm$
6. $m = 89.9\ kg$
7. $F = 1.597\ N$

Páginas 166-167

1. **a)** $T_1 = T_2 = 288.02\ N$
   b) $T_1 = 248.71\ N$
   $T_2 = 167.77\ N$
   c) $T_1 = 35\ N$
   $T_2 = 61.03\ N$
   d) $T_1 = 622.28\ N$
   $T_2 = 476.67\ N$
2. **a)** $T = 1656.02\ N$
   $E = 1500.85\ N$
   b) $\sphericalangle = 31°$
   $T = 1747.57\ N$
   $E = 1498.02\ N$
3. $P = 100\ N$
   $T = 150\ N$
4. $T = 260\ N$
   $r = 2.307\ m$
5. $R_A = 131.25\ N$
   $R_B = 118.75\ N$
6. $R_A = 357.14\ N$
   $R_B = 442.86\ N$
7. $R_A = 242.9\ N$
   $R_B = 294.7\ N$

Páginas 173-174

1. $\mu_e = 0.6$
2. $\mu_d = 0.4$
3. F = 15 N
   $a = 9.8\ m/s^2$
4. **a)** F = 121.2 N
   b) F = 75.05 N
5. F = 18 900 N
6. $\mu_d = 0.22$
7. **a)** F = 12 N
   b) F = 21.53 N
8. $v = 6.06\ m/s$
   d = 12.112 m

Páginas 178-179

1. $T = 36.75\ J$
2. $T = 75\ J$
3. $P = 58.8\ N$
4. $d = 2\ m$
5. **a)** $T = 98\ J$
   b) $T = 0$
   c) $T = 0$
6. $T = 108\ J$
7. **a)** $T = 362.52\ J$
   b) $T = 400\ J$
   c) $T = 0$
8. **a)** $T = 10290\ J$
   b) $T = 10290\ J$
9. **a)** $T = 710.5\ J$
   b) $T = 0$
   c) $T = 0$
10. **a)** $T_F = 194.85\ J$
    $T_{Fd} = -8.62\ J$
    b) $T_R = 186.23\ J$
11. **a)** $F = 23\ N$
    b) $T_R = 115\ J$
12. $T = 112\,500\ J$
13. $T = 235.2 \times 10^3\ J$

Páginas 193-194

1. $ECT = 45\ J$
2. $ECT = 100\ J$
3. $m = 0.88\ kg$
4. $v = 7.07\ m/s$
5. $EPG = 19.11\ J$
6. $h = 8.5\ m$
7. **a)** $T = 19\,600\ J$
   b) $EPG = 19\,600\ J$
   c) $ECT = 19\,600\ J$

8. $v = 7.37$ m/s
9. $F = 0.2 \times 10^4$ N $= 2 \times 10^3$ N
10. **a)** $ECT = 62.5$ J
    $EPG = 0$
    b) $ECT = 42.9$ J
    $EPG = 19.6$ J
    $E_T = 6.25$ J
11. **a)** $d = 57.4$ m
    b) $t = 7.65$ s
12. $F = 11\,956.4$ N
13. $P = 4 \times 10^4$ W $= 53.62$ hp
14. $t = 6.89$ s
15. $v = 1.99$ m/s

Páginas 199-200

1. $C = 50$ kg m/s
2. $I = 120$ N s
3. I $= C = 83\,339$ kg m/s
4. $F = 46.66$ N
5. $F = 116.66$ N
6. $t = 0.6$ s
7. $C = 55.5$ kg m/s
8. $F = -4\,900$ N
9. **a)** $C = 30\,400$ kg m/s
   b) $v = 6.08$ m/s
10. $v = -4.14$ m/s
11. $v = 1$ m/s
12. $U_1 = 500.5$ m/s
13. $v = 8.57$ m/s
    $\alpha = 82.5° = 82°30'$ hacia el norte

Página 207

1. **a)** $I = 0.204$ kg m^2
   b) $L = 4.69$ kg m^2/s
2. **a)** $I = 0.034$ kg m^2
   b) $L = 0.85$ kg m^2/s
3. **a)** $I = 90$ kg m^2
   b) $L = 27$ kg m^2/s
4. **a)** $I = 0.0075$ kg m^2
   b) $\omega = 188.4$ rad/s
   c) $L = 1.413$ kg m^2/s
   d) $ECR = 133.1$ J

Páginas 215-216

1. $F_S = 171.4$ kg$_f$
   $V_m = 8.57$ m
2. **a)** $d_S = 1.43$ m
   b) $V_m = 2.8$
3. $F = 30$ kg$_f$
4. **a)** $F_e = 50$ kg$_f$
   b) $V_m = 4$
5. $\varepsilon = 93.33\%$
6. $W_s = 369.75$ J

Unidad 6. Materia y sus propiedades

Página 241

1. $\rho = 5.2$ g/cm^3
   $v = 19.23$ cm^3
2. V $= 3$ m$^3 = 3\,000$ litros
3. 40 barras
4. **a)** diferente sustancia
   b) misma sustancia

Unidad 7. Elasticidad

Páginas 258-259

1. $D = 0.5$
2. $D = -0.3$
3. $K = 1\,000$ N/m
4. $K = 1\,285.7$ N/m
5. $D = 0.36$ m
6. $Fm = 7.2 \times 10^4$ N
7. $P = F = 5.74 \times 10^2$ N
8. **a)** $E = 9.17 \times 10^6$ N/m^2
   b) $Fm = 33.36 \times 10^2$ N
9. $Fm = 12.7 \times 10^4$ N
   $\Delta\ell = 3 \times 10^{-3}$ m

Unidad 8. Hidrostática

Páginas 276-277

1. $\rho = 0.47$ g/cm^3
   $P = 11.76$ N
2. $\rho = 11\,300$ kg/m^3
3. $m = 136$ kg
   $P = 1\,332.8$ N

4. $Pe = 189\,140\ N/m^3$
5. $V = 1.266\ m^3 = 1\,266$ litros
6. $P = 5\,000\ N/m^2$
7. $A = 0.075\ m^2$
8. $P_{h\ 3m} = 29\,400\ N/m^2$
   $P_{h\ 6m} = 58\,800\ N/m^2$
9. $P_h = 5\,997.6\ N/m^2$
10. $h = 40$ m
11. **a)** $P_{abs.} = 830$ mm de Hg
    b) $P_{abs.} = 83$ cm de Hg
    c) $P_{abs.} = 110\,556\ N/m^2$
12. $h = 40.8$ m
13. $f = 700$ N
14. $F = 2\,777.77$ N
15. $d = 14.9$ cm
16. **a)** $V_{alcohol\ desalojado} = 180\ cm^3$
    b) $E = 1.39$ N
    c) Peso aparente = 29.97 N

Unidad 9. Dinámica

Página 293

1. $G = 0.133\ m^3/s$
   $F = 133$ kg/s
2. $V = 20\ m^3$
3. $t = 666.66$ minutos $= 11.11$ horas
4. $G = 0.1\ m^3/s$
5. $G = 0.002\ m^3/s$
6. $d = 0.13$ m
7. $v = 2.58$ m/s
8. $v = 7.14$ m/s
9. $v = 1.98$ m/s
10. **a)** $v = 1.22$ m/s
    b) $G = 0.0099\ m^3/s$
    c) $F = 9.9$ kg/s

Unidad 10. Ondas mecánicas

Páginas 313-314

1. $f = 285.71$ Hz
2. $v = 144$ m/s
3. $v = 2.7$ m/s
4. $\lambda = 0.625$ m/ciclo
5. $f = 1\,100$ Hz
   $T = 0.0009$ s
6. **a)** $\lambda_{aire} = 0.453$ m/ciclo
   b) $\lambda_{agua} = 1.913$ m/ciclo
7. $d = 1\,435$ m
8. $d = 1\,190$ m
9. $\lambda_{Al} = 11.33$ m/ciclo
   $\lambda_{H2O} = 3.18$ m/ciclo
10. **a)** $f' = 1\,076.75$ Hz
    b) $f' = 899.20$ Hz
11. **a)** $f' = 1\,171.88$ Hz
    b) $f' = 1\,028.11$ Hz

Unidad 11. Termología

Página 325

1. 323 K
2. 393 K
3. 107 °C
4. −63 °C
5. 140 °F
6. 208.4 °F
7. 10 °C
8. 54.4 °C

Página 327

1. $L_f = 100.0184$ m
2. $L_f = 49.980011$ m
   Se contrajo 0.01998 m

Página 328

1. $A_f = 2.00138\ m^2$
2. $A_f = 9.994267\ m^2$

Página 331

1. **a)** $V_f = 0.0090856\ m^3 = 9.0856 \times 10^{-3}\ m^3$
   b) $\Delta V = 0.0000856\ m^3 = 0.0856\ \ell$
2. **a)** $V_f = 497.648\ cm^3$
   b) $\Delta V = 2.352\ cm^3$
3. **a)** $V_f = 5.5560175\ \ell$
   b) $\Delta V = 56.0175\ cm^3$
4. **a)** $\Delta V_{tanque} = 0.19656\ \ell$
   b) $\Delta V_{petróleo} = 5.012\ \ell$
   c) $4.81544\ \ell = 4\,815.44\ cm^3$
5. **a)** $V_f = 26.65\ \ell$
   b) $\Delta V = 1.65\ \ell$

Páginas 336-337

1. $\Delta Q = 2\,687.7\ cal$
2. $T_f = 43.43\ ^\circ C$
3. $\Delta Q = 4\,500\ cal$
4. $\Delta Q = 66\,960\ cal$
5. $Ce = 0.031\ cal/g\ ^\circ C$
   La muestra es de plomo.
6. $\Delta Q = 170\,000\ cal$

Página 342

1. $Ce_{Ag} = 0.056\ cal/g\ ^\circ C$
2. $Ce_{aleac} = 0.13\ cal/g\ ^\circ C$
3. $T_f = 16.78\ ^\circ C$
4. $T_{Fe} = 115.47\ ^\circ C$
5. $T_f = 75\ ^\circ C$

Página 344

1. $V_1 = 1\,763.2\ cm^3$
2. $P_2 = 2.63\ atm$

Página 345

1. $V_2 = 51.03\ cm^3$
2. $T_1 = 106\ K$

Página 346

1. $T_2 = 178.55\ K$
2. **a)** $P_{2abs} = 139\,610.96\ N/m^2$
   b) $P_{2manom} = 61\,610.96\ N/m^2$

Página 347

1. $V = 0.48\ \ell$
2. $T_2 = 235.85\ K$

Página 348

1. **a)** $n_{O2} = 4.292$ moles
   b) $m = 137.34$ g de O_2

Páginas 353-354

1. $\Delta U = 1\,300\ J$
2. $\Delta U = 3\,520\ J$
3. **a)** $\Delta U = 420\ J$
   b) No
4. $Q = -400\ J$ cedidos por el sistema
5. $\Delta U = -34\ J$

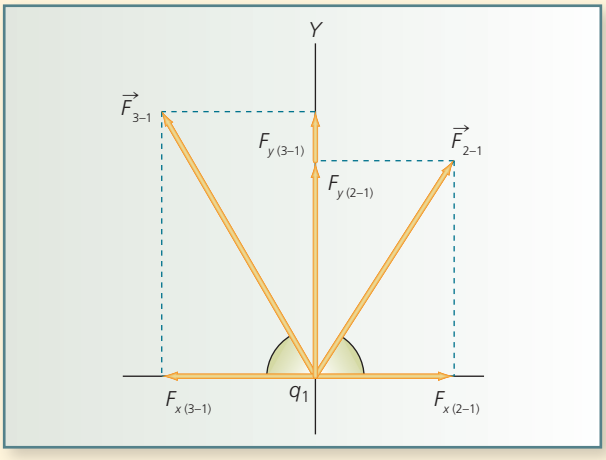
Página 359

1. $\eta = 0.31$, o bien, 31%
2. $T = 7.308 \times 10^5\ J$
3. **a)** $\eta = 0.368$, o bien, 36.8%
   b) $T = 3.86 \times 10^4\ J$
4. $\eta = 0.35$, o bien, 35%
5. $T_2 = 497\ K = 224\ ^\circ C$

Unidad 12. Electricidad

Páginas 387-388-389

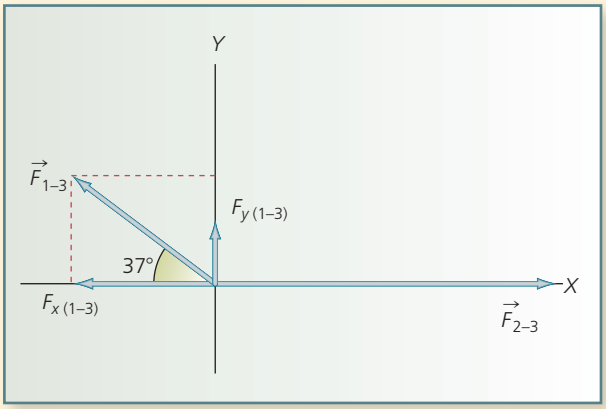
1. $F = 4.5\ N$
2. $F = -6.75 \times 10^5\ N$ (en el vacío)
   $F' = -8.38 \times 10^3\ N$ (en el agua)
3. $F = 1.89 \times 10^{-5}\ N$ (en el aire)
   $F' = 8.04 \times 10^{-6}\ N$ (en la gasolina)
4. $q_2 = 1.38 \times 10^{-6}\ C = 1.38\ \mu C$
5. **a)** $F = -1.8\ N$
   b) $F_1 = F_2$
   c) $F' = 6.4 \times 10^{-1}\ N$ (en el aceite)
6. $q_1 = q_2 = 1.88 \times 10^{-6}\ C = 1.88\ \mu C$
7. $r = 1.697 \times 10^{-1}\ m = 16.97\ cm$
8. $F = 13.06\ N$
9. $F_R = 12\ N$ hacia la izquierda
10. $F_R = 1.84\ N$
    $\alpha = 40.6^\circ = 40^\circ\ 36'$ respecto a la horizontal
11. a) Diagrama de las fuerzas eléctricas sobre q_1:



b) $F_R = 1.76$ N

c) $\sphericalangle = 84.5° = 84° 30'$

12 **a)** Diagrama de las fuerzas eléctricas sobre q_3:



b) $F_R = 143.89$ N

$\sphericalangle = 18.4°$

$\sphericalangle = 18° 24'$ respecto al eje horizontal

Página 394-395

1 $E = 7.1 \times 10^2 \dfrac{N}{C}$

2 $F = 1.2 \times 10^{-2}$ N

3 $E = 5.06 \times 10^5 \dfrac{N}{C}$

4 $q = 1.1 \times 10^{-5}\ C = 0.11\ \mu C$

5 $r = 3.55 \times 10^{-1}$ m $= 35.5$ cm

6 $E = 4.08 \times 10^6 \dfrac{N}{C}$

7 $E_R = 0$

8 $E_R = 5.06 \times 10^7$ N/C hacia la izquierda

$F = 2.02 \times 10^2$ N hacia la izquierda

9 $E_R = 1.6 \times 10^2 \dfrac{N}{C}$

$\alpha = 44.6° = 44° 36$

Páginas 403-404

1 $V = 1.75 \times 10^4\ V$

2 $V = 2 \times 10^2\ V$

3 $T = 9 \times 10^{-6}\ J$

4 $V = 3.6 \times 10^5\ V$

5 $r = 20.25 \times 10^{-2}$ m $= 20.25$ cm

6 **a)** $V = 4.5 \times 10^5\ V$

b) $V = 1.04 \times 10^5\ V$

7 **a)** $V_{AB} = 2.25 \times 10^5\ V$

b) $T = 4.5 \times 10^{-4}\ J$

8 **a)** $E = 2 \times 10^4 \dfrac{V}{m}$

b) $F = 6 \times 10^{-5}$ N

9 $E_p = 9.5 \times 10^{-4}\ J$

10 **a)** $V_A = -4.8 \times 10^5\ V$

b) $E_p = -14.4 \times 10^{-4}\ J$

11 **a)** $V_A = 1.8 \times 10^6\ V$

$V_B = -0.491 \times 10^6\ V$

12 **a)** $T_T = -\ 20 \times 10^{-6}\ J$

b) $T_{A\text{-}C} = -\ 20 \times 10^{-6}\ J$

c) Porque el trabajo que realiza un campo eléctrico sobre una carga es el mismo independientemente de la trayectoria seguida por la carga.

Página 407

1 $I = 0.036\ A = 36\ mA$

2 $q = 1.248 \times 10^{18}$ electrones

3 $t = 1 \times 10^3$ s

Página 412

1 $R = 7.89 \times 10^{-2}\ \Omega$

2 $L = 3.49 \times 10^2$ m

3 $R_t = 5.46\ \Omega$

4 $R_0 = 3.18\ \Omega \therefore R_t = 9.38\ \Omega$

Página 414

1 $I = 0.6\ A$

2 $R = 200\ \Omega$

3 $V = 20\ V$

4 $R = 133.33\ \Omega$

Páginas 423-424

1 R_e en serie $= 38\ \Omega$

R_e en paralelo $= 9.1\ \Omega$

2 R_e en serie $= 54\ \Omega$

R_e en paralelo $= 5.5\ \Omega$

3. $R = 11.2\ \Omega$

4. R_e en serie $= 10\ \Omega$
   R_e en paralelo $= 0.5\ \Omega$

5. **a)** $I = 0.6\ A \quad V_2 = 30\ V$
   b) $V_1 = 24\ V \quad V_3 = 36\ V$

6. **a)** $R_e = 10.70\ \Omega$
   b) $I = 1.87\ A$
   c) $I_1 = 0.67\ A$
   $I_2 = 0.33\ A$
   $I_3 = 0.87\ A$

7. **a)** $R_e = 210\ \Omega$
   b) $I = 0.43\ A$
   c) V en cada foco $= 12.9\ V$

8. **a)** $R_e = 7.9\ \Omega \qquad I_2 = 1.6\ A$
   b) $I = 5.04\ A \qquad I_3 = 1.33\ A$
   c) $I_1 = 2.11\ A$

9. *Caso 1*
   a) $R_e = 117\ \Omega$
   b) $I = 0.13\ A$
   Caso 2
   a) $R_e = 15.8\ \Omega$
   b) $I = 0.76\ A$
   Caso 3
   a) $R_e = 22.5\ \Omega$
   b) $I = 0.8\ A$
   Caso 4
   a) $R_e = 10.87\ V$
   b) $I = 1.38\ A$

10. **a)** $R_T = 16\ V$
    b) $I = 0.75\ A$
    c) $V_1 = 3.75\ V$
    $V_2 = 7.5\ V$
    $V_{pila} = 0.75\ V$
    d) $V_R = 11.25\ V$

Página 427

1. **a)** $P = 60\ W$
   b) $R = 240\ \Omega$

2. **a)** $P = 28.8\ W$
   b) $I = 0.24\ A$

3. Costo del consumo de energía eléctrica $ 0.015

4. **a)** $P = 960\ W$
   b) $T = 0.24\ kW\text{-h}$
   c) Costo de la energía eléctrica $ = \$\ 0.096$

5. **a)** $I = 1.25\ A$
   b) $R = 96\ \Omega$
   c) $T = 0.26\ kW\text{-h}$
   d) Costo de la energía consumida $ = \$\ 0.1$

Página 429

1. $Q = 414\ 720$ calorías

2. $Q = 259\ 200$ calorías

3. $Q = 51\ 840$ calorías

4. $Q = 4\ 320$ calorías

Página 431

1. *Caso 1*
   $I_3 = I_4 = 4\ A$ hacia el nodo B
   $I_5 = 6\ A$ hacia la terminal positiva de la batería
   Caso 2
   $I_2 = 1\ A$ hacia el nodo B
   $I_5 = 2\ A$ hacia el nodo D
   Caso 3
   $I_2 = 7\ A$ hacia el nodo B
   $I_5 = I_6 = 5\ A$ hacia el nodo E
   $I_7 = 2\ A$ hacia el nodo E
   $I_9 = I_{10} = 7\ A$ hacia el nodo F

Página 433

1. *Caso 1*
   $V_1 = 2\ V$
   Caso 2
   $V_1 = 11\ V$
   $V_3 = V_2 = 7\ V$
   Caso 3
   $V_2 = 20\ V$
   $V_4 = 30\ V$
   $V_6 = 15\ V$

Página 439

1. **a)** $Q = 1.8 \times 10^{-3}\ C$
   b) $Q = 11.2 \times 10^{15}$ electrones

2. $C = 10 \times 10^{-9}\ F = 0.01\ \mu F$

3. $C = 0.33 \times 10^{-9}\ F = 330\ pF$

4. **a)** C_T en serie $= 3.9\ F$
   b) C_T en paralelo $= 16\ pF$

5. **a)** $C_e = 2.1\ \mu F$

b) $Q = 189 \times 10^{-6}\ C$

c) $V_1 = 47.3\ V$
$V_2 = 23.7\ V$
$V_3 = 19.0\ V$

6 **a)** $C_e = 50\ pF$
b) 60 volts en cada capacitor
c) $Q = 1.2 \times 10^{-9}\ C$ en el capacitor de 20 pF
$Q = 1.8 \times 10^{-9}\ C$ en el capacitor de 30 pF
d) $Q_T = 3 \times 10^{-9}\ C$

7 **a)** $C_p = 16\ \mu F$
b) $C_e = 1.23\ \mu F$
c) $Vc_1 = Vc_2 = Vc_3 = 9.3\ V$
$Vc_4 = 36.9\ V$
$Vc_5 = 73.8\ V$

Unidad 13. Magnetismo

Página 461

1 $\phi = 3 \times 10^{-4}\ Wb = 3 \times 10^4$ maxwell

2 $\phi = 8.4 \times 10^{-4}\ Wb$

Página 462

1 $H = 32\ A/\text{m}$

Unidad 14. Electromagnetismo

Página 479

1 $B = 6.7 \times 10^{-6}\ T$

2 $d = 1.1 \times 10^{-1}$ m $= 11$ cm

3 $B = 5.7 \times 10^{-6}\ T$

4 $B = 1.26 \times 10^{-3}\ T$

5 $B = 1.1\ A$

6 $L = 1.9 \times 10^{-1}$ m $= 19$ cm

Página 484

1 $F = 1.2 \times 10^{-1}$ N

2 $F = 3.5 \times 10^{-14}$ N

3 $v = 4.3 \times 10^3$ m/s

4 $F = 2.4 \times 10^{-4}$ N

5 $I = 5.3 \times 10^{-2}\ A$

6 $L = 1.2 \times 10^{-2}$ m $= 1.2$ cm

7 $F = 1.4 \times 10^{-4}$ N (de atracción

8 $r = 6.7 \times 10^{-2}$ m $= 6.7$ cm

Página 487

1 $\varepsilon = -30V$

2 $t = 1.5 \times 10^{-2}$ s

3 $\varepsilon = 130\ V$

4 $v = 9$ m/s

Página 490

1 $\varepsilon = -2.4 \times 10^{-4}\ V$

2 $L = 1.21\ H$

3 **a)** $L = 1\ H$
b) $L = 0.84 \times 10^{-3}\ H = 0.84\ mH$

4 **a)** $L = 2.1\ H$
b) $\varepsilon = -75.6\ V$

5 $M = 5 \times 10^{-3}\ V\,s/A = 5\ mH$

Páginas 496-497

1 **a)** $X_L = 113\ \Omega$
b) $I = 0.97\ A$

2 **a)** $X_C = 132.6\ \Omega$
b) $I = 0.83\ A$

3 **a)** $X_L = 188.4\ \Omega$
b) $X_C = 37.9\ \Omega$
c) $X = 150.5\ \Omega$
d) $Z = 180.7\ \Omega$
e) $I = 0.61\ A$

4 **a)** $X_L = 75.4\ \Omega$
b) $X_C = 53\ \Omega$
c) $X = 22.4\ \Omega$
d) $Z = 92.7\ \Omega$
e) $I = 1.19\ \Omega$
f) $\theta = 14°$ (la corriente fluye desfasada respecto al voltaje)
g) $\cos\theta = 0.97$
h) $P_{real} = 127\ W$
i) $P_{total} = 131\ W$

Página 499

1 $N_s = 367$ espiras

2 $I_p = 25\ A$

3. $N_p = 909$ espiras
4. **a)** $V_s = 3\,000\ V$
   b) $I_s = 0.6\ A$
   c) $P_p = P_s = 1\,800\ W$
5. **a)** $I_p = 0.73\ A$
   b) $V_s = 5\,500\ V$
   c) $I_s = 0.014\ A$

Unidad 16. Óptica

Página 536

1. $E = 22\ lx$
2. $E = 12.2\ lx$
3. $I = 75\ W$
4. $d = 3.3$ m

Página 544-545

1. **a)** $s' = 20.8$ cm
   b) $i = 6.4$ cm
2. **a)** $s' = 35.2$ cm
   b) $i = 4.4$ cm
3. **a)** $s' = 15.2$ cm
   b) $i = -6.5$ cm (imagen virtual)
4. **a)** $s' = 3.6$ cm
   b) $i = 15$ cm
5. $P = 6.66$ dioptrías
6. $f = 0.1$ m $= 10$ cm

Índice alfabético

Aceleración....78
Aceleración angular media e instantánea....100
Aceleración de una partícula oscilante....108
Aceleración instantánea....79
Aceleración lineal y radián....105
Aceleración media....79
Adherencia....265
Amplitud....107
Amplitud de onda....302
Análisis dimensionales y ecuaciones....26
Ángulo....96
Anillos de Newton....547
Antimateria....579
Átomo cuántico....570
Átomo, estructura del....572
Avogadro, número de....235
Barómetro de mercurio....269
Big bang, teoría de la gran explosión....150
Bobina de inducción....499
Caída libre....86
Calor cedido y absorbido por los cuerpos....339
Calor específico....335
Calorímetro, uso del....339
Calor latente de fusión y solidificación....337
Calor latente de vaporización y condensación....338
Calor, unidades para medir el....334
Calor y temperatura, diferencia entre....322
Cámara de niebla de Wilson....582
Campo eléctrico....389
Campo eléctrico uniforme....398
Campo gravitacional de los cuerpos....149
Campo magnético....459
Campo magnético producido por una corriente....475
Campo magnético producido por una espira....476
Campo magnético producido por un conductor recto....476
Campo magnético producido por un solenoide o bobina....477
Cantidad de movimiento....194
Capacidad calorífica....334
Capacitores en serie y en paralelo, conexión de....436
Capacitores o condensadores eléctricos....434
Capacitores, usos de los....436
Carga eléctrica....376
Carga eléctrica....380
Centro de gravedad....159
Centro de masa....159
Chips....524
Choque elástico e inelástico....195
Cinemática, importancia del estudio de la....66
Circuito RLC en serie e impedancia....493
Circuitos eléctricos y conexión de resistencias....414
Circuitos integrados y chips....524
Cohesión....265
Colores binarios....550
Colores primarios....550
Color, naturaleza del....549
Comportamiento dual de la luz....532
Compuesto....234
Condensadores eléctricos....434
Conducción del calor....331
Conductores y aislantes, materiales....379
Conexión de pilas en serie y en paralelo....408
Constante de Planck....575
Constante universal de los gases....347
Contacto....378
Contador de centelleo....583
Contador Geiger....582
Convección....332
Coordenadas cartesianas o coordenadas rectangulares....67
Corriente alterna....491
Corriente alterna, circuitos de....492
Corriente eléctrica....404
Corrientes inducidas....485
Cosmos, el....149
Cualidades del sonido....307
Cuerpo, concepto de....233
Declinación magnética....463
Degradación de la energía....362
Densidad de flujo magnético....460
Densidad o masa específica....239
Densidad y peso específico....266
Desplazamiento....68
Desplazamiento angular....96
Desplazamiento angular....201
Diferencia de potencial....398
Difracción de la luz....548
Difracción de ondas....305
Dilatación cúbica y su coeficiente....329
Dilatación de área y su coeficiente....327
Dilatación de los cuerpos....325
Dilatación irregular del agua....331
Dilatación lineal....326
Dinamómetro....134
Diodo de cristal....522
Diodo de vacío....517
Dispersión de la luz blanca....549
Distancia y desplazamiento....68
Eco....306
Ecuación de continuidad....285
Efecto Compton....577
Efecto Doppler....308
Efecto fotoeléctrico....576
Efecto Joule....427
Electricidad, antecedentes históricos de la....374
Electromagnetismo....473
Electrónica....513
Electrón, masa y carga del....514
Electroscopio....378
Elemento....234
Elongación....107
Emisión termoiónica....517
Empuje....272
Energía....239
Energía calorífica....323
Energía calorífica, fuentes de....359
Energía cinética....183
Energía cinética rotacional....184
Energía cinética rotacional....204
Energía cinética traslacional....183
Energía, definición de....181
Energía, degradación de la....187
Energía, degradación de la....362
Energía interna....350
Energía mecánica....181
Energía potencial elástica....183
Energía potencial gravitacional....181
Energía solar, su medida y transformación....333
Energía solar, transformación de la....333
Energía, sus usos y consecuencias....188

Energía, tipos de....180
Entropía....354
Equilibrio, condiciones de....160
Equilibrio termodinámico....349
Equivalente mecánico del calor....350
Errores circunstanciales....28
Errores en la medición....27
Errores sistemáticos....28
Error porcentual....28
Error relativo....28
Escalas termométricas: Celsius, Kelvin y Fahrenheit....324
Esfuerzo y deformación....254
Espectro electromagnético....550
Espectro óptico del hidrógeno....567
Espectros ópticos....566
Espejos esféricos....537
Estadística elemental en el análisis de mediciones....30
Estado de agregación....236
Estática....156
Factor de potencia....494
Fenómenos acústicos....306
Física moderna....563
Fisión nuclear....585
Flotación de los cuerpos....272
Fluido, concepto de....262
Flujo....285
Flujo luminoso....534
Formas de electrizar a los cuerpos....378
Formas de propagación del calor....331
Frecuencia....97
Frecuencia de onda....302
Fricción o rozamiento....168
Fricción, ventajas y desventajas....169
Frotamiento....378
Fuerza de fricción viscosa....282
Fuerza electromotriz....407
Fuerza magnética entre dos conductores paralelos....481
Fuerzas, clasificación de las....135
Fuerzas colineales....156
Fuerzas concurrentes o angulares....157
Fuerzas coplanares y no coplanares....156
Fuerzas electromagnéticas....135
Fuerzas gravitacionales....135
Fuerzas nucleares....135
Fuerza sobre un conductor eléctrico....481
Fuerzas paralelas....157
Fuerzas sobre cargas eléctricas en movimiento dentro de campos magnéticos....479
Fuerzas y sus efectos....134
Fusión en frío, ¿mito o realidad?....585
Fusión nuclear....584
Galileo Galilei....147
Galileo Galilei y sus experimentos....113
Gaseoso....236
Gases y sus leyes....342
Gas ideal, concepto de....342
Gasto....284
Generador eléctrico....500
Giroscopio....204
Gráficas de la magnitud del desplazamiento-tiempo y magnitud de la velocidad-tiempo....74
Gráficas del MRUA, interpretación de....79
Gravitación universal....146
Hidráulica....262
Hidrodinámica, aplicación de la....284
Hidrodinámica, concepto de....282
Hidrostática....262
Histograma....31
Iluminación y su ley....534
Imanes permanentes y temporales....458
Imanes, propiedades y características....458
Impulso mecánico....194
Inclinación magnética....463
Inducción....378
Inducción electromagnética....484
Inductancia....488
Inductancia mutua....489
Inercia....238
Inercia rotacional....185
Inercia rotacional....202
Intensidad de la corriente eléctrica....405
Intensidad del campo eléctrico....390
Intensidad del campo magnético....462
Intensidad del sonido....307
Intensidad luminosa....534
Interacción entre cargas eléctricas....376
Interferencia de ondas....304
Isótopos y radioisótopos....580
Jaula de Faraday....378
Kepler, Johannes....146
Lentes y sus características, las....540
Ley de Boyle....343
Ley de Charles....344
Ley de Coulomb....380
Ley de Faraday de la electrólisis....440
Ley de Gay-Lussac....345
Ley de Hooke....255
Ley de la conservación de la cantidad de movimiento....195
Ley de la conservación de la carga eléctrica....376
Ley de la conservación de la energía....185
Ley de la inercia....136
Ley del desplazamiento de Wien....570
Ley del electromagnetismo....485
Ley de Lenz....485
Ley de Ohm....412
Ley de Stefan-Boltzman....569
Leyes de Kirchhoff....429
Leyes de la dinámica....136
Leyes de la refracción....540
Ley general del estado gaseoso....346
Límite elástico....256
Líquido....236
Líquidos, características de los....264
Longitud de onda....302
Luna, el viaje del hombre a la....152
Luna, satélite natural de la tierra....151
Luz blanca del Sol....566
Luz blanca, dispersión de la....549
Luz, comportamiento dual de la....532
Luz, leyes de la reflexión de la....536
Luz, propagación rectilínea de la....533
Luz, propiedades electromagnéticas de la....550
Luz ultravioleta....552
Luz visible....552
Magnetismo....457
Magnetismo, teorías del....464
Magnetismo terrestre....462
Magnitud....16
Magnitudes fundamentales y derivadas....19
Máquina mecánica, concepto de....214
Máquinas de vapor....355
Máquinas simples....207
Máquinas térmicas....354
Máquinas térmicas, eficiencia de las....356

Máquinas térmicas, impacto ecológico de las 357
Masa 238
Materia, estructura de la 232
Materiales ferromagnéticos, paramagnéticos y diamagnéticos....465
Materia, ley de la conservación de la 232
MCUA, gráficas e interpretación 100
Mecánica ondulatoria 566
Medir 16
Método gráfico del paralelogramo 47
Método gráfico del polígono 53
Métodos de Röemer y Michelson para determinar la rapidez de la luz 533
Método del triángulo 55
Métodos directos e indirectos 27
Microondas 551
Microscopio 545
Modelos atómicos 570
Módulo de elasticidad 255
Módulo de young 256
Mol, concepto de 235
Moléculas y átomos 234
Momento angular, ley de la conservación del 200
Momento de inercia 202
Momento de una fuerza 158
Momento de una fuerza 200
Momento lineal 194
Motor eléctrico 501
Motores de combustión interna 355
Motores de reacción 356
Movimiento angular, ley de la conservación 203
Movimiento armónico simple 107
Movimiento Browniano y difusión 236
Movimiento circular 95
Movimiento circular uniforme 97
Movimiento circular uniforme, interpretación de gráficas 97
Movimiento circular uniformemente acelerado 100
Movimiento, concepto de 64
Movimiento de los cuerpos sólidos en los fluidos 289
Movimiento de rotación 95
Movimiento rectilíneo uniforme 70
Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado 79
Multímetro, uso del 443
Newton, Isaac 136
Números cuánticos y orbitales 572
Ojo y la visión 546
Onda, frente de 301
Onda, rapidez de propagación 303
Ondas, características de las 302
Ondas de radio 551
Ondas estacionarias 304
Ondas lineales 301
Ondas longitudinales y transversales 300
Ondas, reflexión de las 303
Ondas sísmicas 308
Ondas sonoras 305
Ondas superficiales 301
Ondas, tren de 301
Ondas tridimensionales 302
Óptica 531
Óptica física 547
Óptica geométrica 533
Ozono 188
Palanca 208
Paradoja hidrostática de Stevin 267
Par de fuerzas 158
Paredes diatérmicas y adiabáticas 348
Partícula material, concepto de 66
Partículas elementales, antipartículas y antimateria 579
Péndulo simple 112
Periodo 96
Periodo de una onda 302
Permeabilidad magnética 461
Peso 238
Peso, descomposición en un plano inclinado 148
Peso de un cuerpo y su relación con la fuerza de gravedad 148
Peso específico y densidad 266
Planck, teoría cuántica de 574
Plano inclinado 209
Plasma 236
Poder calorífico de algunos combustibles 360
Polarización de la luz 548
Polea móvil 211
Poleas y ruedas 210
Potencia de una lente 543
Potencia eléctrica y efecto joule 424
Potencia eléctrico 395
Potencial térmico 323
Potencia mecánica 188
Precisión de los aparatos o instrumentos 28
Presión 267
Presión atmosférica 268
Presión hidrostática 267
Presión manométrica y presión absoluta 269
Primera Ley de Kepler 146
Primera ley de Kirchhoff 429
Primera ley de la termodinámica 352
Primera Ley de Newton 136
Primera y segunda leyes de la termodinámica, conclusiones de la 354
Principio de Arquímedes 272
Principio de indeterminación de Heisenberg 574
Principio de Pascal 270
Procesos termodinámicos, adiabáticos y no adiabáticos 349
Producto de un vector por un escalar 56
Producto vectorial de dos vectores 57
Propiedades características de la materia 239
Propiedades generales de la materia 237
Punto de ebullición 242
Punto de fusión 242
Punto triple de una sustancia 350
Radiación 332
Radiación 566
Radiación del cuerpo negro 569
Radiaciones, aplicaciones y peligros 581
Radiación solar, intensidad de la 333
Radiactividad 579
Radián 96
Rapidez 68
Rapidez traslacional y rapidez rotacional 185
Rayo láser 583
Rayos gamma 552
Rayos infrarrojos 552
Rayos X 552
Reactancia capacitiva 493
Reactancia inductiva 492
Reflexión 306
Reflexión de la luz, leyes de la 536
Refracción de la luz 539
Refracción de ondas 305
Refrigerador, funcionamiento del 357
Relatividad, teoría especial de la 564
Relatividad, teoría general de la 565
Reluctancia 465
Resistencia eléctrica 409
Resistencia eléctrica y su variación con la temperatura 411

Resistencia interna de una pila 417
Resistencias en serie, en paralelo y mixtas 414
Resonancia 306
Resultante y equilibrante de un sistema de vectores 42
Reverberación 307
Ruedas y poleas 210
Segunda Ley de Kepler 146
Segunda ley de Kirchhoff 431
Segunda ley de la termodinámica 354
Segunda Ley de Newton 137
Semiconductores 519
Semiconductores de tipos N y P 521
Siembra de nubes 582
Síntesis de Maxwell del electromagnetismo 501
Sismos o terremotos 309
Sistema cegecimal 18
Sistema internacional de unidades (SI) 18
Sistema métrico decimal 17
Sistema MKS 18
Sistemas de referencia 66
Sistemas de unidades absolutos 19
Sistemas de unidades técnicos o gravitacionales 21
Sistema solar 150
Sistema termodinámico 348
Sol, el 150
Sólido 236
Solubilidad de una sustancia en otra, coeficiente de 244
Soluciones, tipos de 244
Sonido 305
Sonido, rapidez de propagación del 306
Superficie equipotencial 397
Superposición de las ondas, principio de 303
Tabla periódica 234
Telescopio 545
Temperatura, medida de la 323
Tensión superficial 264
Teorema de Bernoulli 285
Teorema de Torricelli 287
Teoría cinética de los gases 342
Teoría corpuscular 532
Teoría cuántica de Niels Bohr 572
Teoría cuántica de Planck 574
Teoría especial de la relatividad 564
Teoría general de la relatividad 565
Teoría ondulatoria 532
Tercera ley de Kepler 147
Tercera ley de la termodinámica 354
Tercera Ley de Newton 139
Termodinámica 348
Timbre 307
Tiro parabólico 90
Tiro vertical 88
Tono 307
Torricelli, experimento de 269
Trabajo mecánico 174
Trabajo termodinámico 351
Transformación de unidades 22
Transformadores 497
Transistor 523
Tren de ondas 301
Triodo 518
Tubo de Pitot 288
Tubo de Venturi 288
Ultrasonido 310
Unidad de medida 16
Unidades de medida y de los sistemas de unidad, desarrollo histórico ..16
Válvula electrónica 517
Vector, características de un 40
Vector, cómo establecer la escala de un 40
Vector de posición 67
Vectores angulares o concurrentes, suma de dos 50
Vectores colineales 41
Vectores, composición y descomposición de 45
Vectores concurrentes o angulares 41
Vectores concurrentes o angulares, suma de más de dos 53
Vectores coplanares, no coplanares, deslizantes y libres 41
Vectores, producto escalar de dos 57
Vectores, propiedades de los 42
Vectores, suma de 43
Vectores unitarios 49
Velocidad angular 97
Velocidad angular instantánea 100
Velocidad de la luz, magnitud de la 533
Velocidad instantánea 73
Velocidad lineal o tangencial 104
Velocidad media 71
Velocidad tangencial 201
Velocidad terminal 87
Velocidad y rapidez 6
Ventaja mecánica 207
Viajes interplanetarios 153
Vida media de un elemento radiactivo 580
Viscosidad 264