

Física

para la ciencia
y la tecnología

6ª edición

Tipler | Mosca

Volumen 1A

Mecánica

EDITORIAL REVERTÉ

Abreviaturas de unidades

A	ampère	H	henry	nm	nanómetro (10 ⁻⁹ m)
Å	ångstrom (10 ⁻¹⁰ m)	h	hora	pt	pinta
atm	atmósfera	Hz	hertz	qt	quart
Btu	unidad térmica inglesa	in	pulgada	rev	revolución
Bq	becquerel	J	joule	R	roentgen
C	coulomb	K	kelvin	Sv	sievert
°C	grados centígrados	kg	kilogramo	s	segundo
cal	caloría	km	kilómetro	T	tesla
Ci	curie	keV	kilo-electronvolt	u	unidad de masa unificada
cm	centímetro	lb	libra	V	volt
dyn	dina	L	litro	W	watt
eV	electronvolt	m	metro	Wb	weber
°F	grados Fahrenheit	MeV	mega-electronvolt	y	año
fm	femtometro, fermi (10 ⁻¹⁵ m)	Mm	megametro (10 ⁶ m)	yd	yarda
ft	pie	mi	milla	μm	micrometro (10 ⁻⁶ m)
Gm	gigametro (10 ⁹ m)	min	minuto	μs	microsegundo
G	gauss	mm	milímetro	μC	microcoulomb
Gy	gray	ms	milisegundo	Ω	ohm
g	gramo	N	newton		

Factores de conversión

<i>Longitud</i> 1 m = 39,37 in = 3,281 ft = 1,094 yd 1 m = 10 ¹⁵ fm = 10 ¹⁰ Å = 10 ⁹ nm 1 km = 0,6214 mi 1 mi = 5280 ft = 1,609 km 1 año-luz = 1 c · a = 9,461 × 10 ¹⁵ m 1 in = 2,540 cm	<i>Fuerza–presión</i> 1 N = 10 ⁵ dina = 0,2248 lb 1 lb = 4,448 N 1 atm = 101,3 kPa = 1,013 bar = 76,00 cmHg = 14,70 lb/in ²
<i>Volumen</i> 1 L = 10 ³ cm ³ = 10 ⁻³ m ³ = 1,057 qt	<i>Masa</i> 1 u = [(10 ⁻³ mol ⁻¹)/N _A] kg = 1,661 × 10 ⁻²⁷ kg 1 tonelada = 10 ³ kg = 1 Mg 1 slug = 14,59 kg 1 kg ≈ 2,205 lb
<i>Tiempo</i> 1 h = 3600 s = 3,6 ks 1 a = 365,24 d = 3,156 × 10 ⁷ s	<i>Energía–Potencia</i> 1 J = 10 ⁷ erg = 0,7376 ft · lb = 9,869 × 10 ⁻³ atm · L 1 kW · h = 3,6 MJ 1 cal = 4,184 J = 4,129 × 10 ⁻² atm · L 1 atm · L = 101,325 J = 24,22 cal 1 eV = 1,602 × 10 ⁻¹⁹ J 1 Btu = 778 ft · lb = 252 cal = 1054 J 1 caballo de vapor = 550 ft · lb/s = 746 W
<i>Velocidad</i> 1 km/h = 0,278 m/s = 0,6214 mi/h 1 ft/s = 0,3048 m/s = 0,6818 mi/h	<i>Conductividad térmica</i> 1 W/(m · K) = 6,938 Btu · in/(h · ft ² · °F)
<i>Ángulo y velocidad angular</i> 1 rev = 2π rad = 360° 1 rad = 57,30° 1 rev/min = 0,1047 rad/s	<i>Campo magnético</i> 1 T = 10 ⁴ G
	<i>Viscosidad</i> 1 Pa · s = 10 poise

SEXTA EDICIÓN

FÍSICA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

VOLUMEN 1A
Mecánica

SEXTA EDICIÓN

FÍSICA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

VOLUMEN 1A

Mecánica

Paul A. Tipler

Gene Mosca



**EDITORIAL
REVERTÉ**

Barcelona • Bogotá • Buenos Aires • México

Título de la obra original:

Physics for Scientists and Engineers, Sixth Edition.

Edición original en lengua inglesa publicada por

W. H. FREEMAN AND COMPANY, New York and Basingstoke

41 Madison Avenue, New York (NY) – U.S.A.

Copyright © 2008 by W. H. Freeman and Company. All Rights Reserved

Edición en español:

© Editorial Reverté, S. A., 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2016, 2020

Edición en papel

© Editorial Reverté, S. A., 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2016, 2020

ISBN: 978-84-291-4421-5 Volumen 1A

ISBN: 978-84-291-4428-4 Obra completa

Edición e-book (PDF)

© Editorial Reverté, S. A., 2021

ISBN: 978-84-291-9598-9

Versión española:

COORDINADOR Y TRADUCTOR

Dr. José Casas-Vázquez

Catedrático de Física de la Materia Condensada

TRADUCTORES

Dr. Albert Bramon Planas

Catedrático de Física Teórica

Dr. Josep Enric Llebot Rabagliati

Catedrático de Física de la Materia Condensada

Dr. Fernando M. López Aguilar

Catedrático de Física Aplicada

Dr. Vicenç Méndez López

Profesor Agregado de Física de la Materia Condensada

Departamento de Física

Universidad Autónoma de Barcelona

España

REVISIÓN DE ESTE VOLUMEN

M.C. Gabriel F. Martínez Alonso

Jefe del área de Investigación Educativa

CON LA COLABORACIÓN DE

M.E.C. Andrés Monsiváis Pérez

Jefe de la Academia de Mecánica Traslacional y Rotacional

M.C. Santiago Neira Rosales

Coordinador de la División de Ciencias Básicas

M.C. Ana María González Ibarra

Jefe del Departamento de Física

M.C. Verónica Medina Garza

Profesora del Departamento de Física I (Mecánica)

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Universidad Autónoma de Nuevo León

México

MAQUETACIÓN: REVERTÉ-AGUILAR

CORRECCIÓN DE ESTILO: CARLOS CISTUÉ SOLÁ

Propiedad de:

EDITORIAL REVERTÉ, S. A.

Loreto, 13-15. Local B

Tel: (34) 93 419 33 36

08029 Barcelona. ESPAÑA

reverte@reverte.com

www.reverte.com

Reservados todos los derechos. La reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos, queda rigurosamente prohibida sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo las sanciones establecidas por las leyes.

PT: Para Claudia

GM: Para Vivian

Índice abreviado de la obra completa

VOLUMEN 1

Volumen 1A

PARTE I MECÁNICA

- | | |
|----|---|
| 1 | Medida y vectores / 1 |
| 2 | El movimiento en una dimensión / 27 |
| 3 | Movimiento en dos y tres dimensiones / 63 |
| 4 | Leyes de Newton / 93 |
| 5 | Aplicaciones adicionales de las leyes de Newton / 127 |
| 6 | Trabajo y energía cinética / 173 |
| 7 | Conservación de la energía / 201 |
| 8 | Conservación del momento lineal / 247 |
| 9 | Rotación / 289 |
| 10 | Momento angular / 331 |
| 11 | Gravedad / 363 |
| 12 | Equilibrio estático y elasticidad / 397 |
| 13 | Fluidos / 423 |



Thinkstock/Alamy

Volumen 1B

PARTE II OSCILACIONES Y ONDAS

- | | |
|----|---|
| 14 | Oscilaciones / 457 |
| 15 | Movimiento ondulatorio / 495 |
| 16 | Superposición y ondas estacionarias / 533 |

Volumen 1C

PARTE III TERMODINÁMICA

- | | |
|----|--|
| 17 | Temperatura y teoría cinética de los gases / 563 |
| 18 | Calor y primer principio de la termodinámica / 591 |
| 19 | Segundo principio de la termodinámica / 629 |
| 20 | Propiedades y procesos térmicos / 665 |
| R | Relatividad especial / R.1 |

VOLUMEN 2

Volumen 2A

PARTE IV ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

21	Campo eléctrico I: distribuciones discretas de carga / 693
22	Campo eléctrico II: distribuciones continuas de carga / 727
23	Potencial eléctrico / 763
24	Capacidad / 801
25	Corriente eléctrica y circuitos de corriente continua / 839
26	El campo magnético / 887
27	Fuentes del campo magnético / 917
28	Inducción magnética / 959
29	Circuitos de corriente alterna / 995
30	Ecuaciones de Maxwell y ondas electromagnéticas / 1029

Volumen 2B

PARTE V LUZ

31	Propiedades de la luz / 1055
32	Imágenes ópticas / 1097
33	Interferencia y difracción / 1141

FÍSICA MODERNA

R	Relatividad especial / R.1
---	----------------------------

PARTE VI MECÁNICA CUÁNTICA, RELATIVIDAD Y ESTRUCTURA DE LA MATERIA

34	Dualidad onda-partícula y física cuántica / 1173
35	Aplicaciones de la ecuación de Schrödinger / 1203
36	Átomos / 1227
37	Moléculas / 1261
38	Sólidos / 1281
39	Relatividad / 1319
40	Física nuclear / 1357
41	Las partículas elementales y el origen del universo / 1389

APÉNDICES Y RESPUESTAS

Apéndice A	Unidades SI y factores de conversión / AP.1
Apéndice B	Datos numéricos / AP.3
Apéndice C	Tabla periódica de los elementos / AP.6
Apéndice de matemáticas	/ M.1
Respuestas de los problemas impares del final de los capítulos	/ A.1

Índice analítico

Volumen 1A

Prefacio	xiii
Acerca de los autores	xxii
* Materias opcionales	

PARTE I MECÁNICA

Capítulo 1	
MEDIDA Y VECTORES / 1	
1.1	La naturaleza de la física 2
1.2	Unidades 3
1.3	Conversión de unidades 6
1.4	Dimensiones de las magnitudes físicas 7
1.5	Cifras significativas y órdenes de magnitud 8
1.6	Vectores 14
1.7	Propiedades generales de los vectores 14
Temas de actualidad en Física:	
El año 2005: bisiestro por un segundo / 21	
	Resumen 22
	Problemas 23
Capítulo 2	
EL MOVIMIENTO EN UNA DIMENSIÓN / 27	
2.1	Desplazamiento, velocidad y módulo de la velocidad 28
2.2	Aceleración 35
2.3	Movimiento con aceleración constante 37
2.4	Integración 47

Temas de actualidad en Física:	
Aceleradores lineales / 51	
	Resumen 52
	Problemas 53
Capítulo 3	
MOVIMIENTO EN DOS Y TRES DIMENSIONES / 63	
3.1	Desplazamiento, velocidad y aceleración 64
3.2	Primer caso particular: movimiento de proyectiles 71
3.3	Segundo caso particular: movimiento circular 78
Temas de actualidad en Física:	
GPS: cálculo de vectores mientras se desplaza / 82	
	Resumen 83
	Problemas 84
Capítulo 4	
LEYES DE NEWTON / 93	
4.1	Primera ley de Newton: ley de la inercia 94
4.2	Fuerza y masa 95
4.3	Segunda ley de Newton 97
4.4	Fuerza debida a la gravedad: el peso 99
4.5	Fuerza de contacto: sólidos, muelles y cuerdas 101
4.6	Resolución de problemas: diagramas de fuerzas de sistemas aislados 104
4.7	Tercera ley de Newton 109
4.8	Problemas con dos o más objetos 111
ix	

Temas de actualidad en Física:	
Montañas rusas y el gusto por la velocidad / 114	
Resumen	115
Problemas	116

Capítulo 5	
APLICACIONES ADICIONALES DE LAS LEYES DE NEWTON / 127	
5.1	Rozamiento 128
5.2	Fuerzas de arrastre 139
5.3	Movimiento a lo largo de una trayectoria curva 141
*5.4	Integración numérica: el método de Euler 147
5.5	El centro de masas 149
Temas de actualidad en Física:	
Reconstrucción de accidentes—Medidas y Fuerzas / 158	
Resumen	159
Problemas	160



Gentileza de Rossignol Ski Company

Capítulo 6	
TRABAJO Y ENERGÍA CINÉTICA / 173	
6.1	Trabajo realizado por una fuerza constante 174
6.2	Trabajo realizado por una fuerza variable. Movimiento rectilíneo 179
6.3	El producto escalar 182
6.4	Teorema del trabajo—energía cinética. Trayectorias curvilíneas 188
*6.5	Trabajo del centro de masas 190
Temas de actualidad en Física:	
Montañas rusas, equipajes y trabajo (¡Dios mío!) / 193	

Resumen	194
Problemas	195

Capítulo 7	
CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA / 201	
7.1	Energía potencial 202
7.2	Conservación de la energía mecánica 209
7.3	Conservación de la energía 219
7.4	Masa y energía 228
7.5	Cuantización de la energía 231
Temas de actualidad en Física:	
Soplando aire cálido / 233	
Resumen	234
Problemas	236

Capítulo 8	
CONSERVACIÓN DEL MOMENTO LINEAL / 247	
8.1	Conservación del momento lineal 248
8.2	Energía cinética de un sistema 254
8.3	Colisiones 255
*8.4	Colisiones en el sistema de referencia del centro de masas 271
8.5	Sistemas de masa variable: la propulsión de los cohetes 273
Temas de actualidad en Física:	
Motores de detonación por pulsos: más rápidos (y más fuertes) / 277	
Resumen	278
Problemas	279

Capítulo 9	
ROTACIÓN / 289	
9.1	Cinemática de la rotación: velocidad angular y aceleración angular 290
9.2	Energía cinética de rotación 292
9.3	Cálculo del momento de inercia 294
9.4	La segunda ley de Newton en la rotación 301
9.5	Aplicaciones de la segunda ley de Newton a la rotación 303
9.6	Objetos rodantes 310
Temas de actualidad en Física:	
Ultracentrifugadoras / 316	
Resumen	317
Problemas	318

Capítulo 10

MOMENTO ANGULAR / 331

10.1	Naturaleza vectorial de la rotación	332
10.2	Momento de una fuerza y momento angular	334
10.3	Conservación del momento angular	341
*10.4	Cuantización del momento angular	350

Temas de actualidad en Física:

El momento angular atmosférico / 353

Resumen	354
Problemas	355

Capítulo 11

GRAVEDAD / 363

11.1	Leyes de Kepler	364
11.2	Ley de la gravitación de Newton	367
11.3	Energía potencial gravitatoria	374
11.4	El campo gravitatorio	378
*11.5	Cálculo del campo gravitatorio de una corteza esférica por integración	384

Temas de actualidad en Física:

Lentes gravitacionales: una ventana abierta al universo / 386

Resumen	387
Problemas	388

Capítulo 12

EQUILIBRIO ESTÁTICO Y ELASTICIDAD / 397

12.1	Condiciones de equilibrio	398
12.2	Centro de gravedad	398
12.3	Ejemplos de equilibrio estático	399
12.4	Equilibrio estático en un sistema acelerado	406
12.5	Estabilidad del equilibrio de rotación	407
12.6	Problemas indeterminados	408
12.7	Tensión y deformación	409

Temas de actualidad en Física:

Nanotubos de carbono: pequeños y fuertes / 412

Resumen	413
Problemas	414

Capítulo 13

FLUIDOS / 423

13.1	Densidad	424
13.2	Presión en un fluido	425
13.3	Flotación y principio de Arquímedes	432
13.4	Fluidos en movimiento	438

Temas de actualidad en Física:

Aerodinámica automotriz: rodar con el viento / 448

Resumen	449
Problemas	450

RESPUESTAS DE LOS PROBLEMAS IMPARES DEL FINAL DE LOS CAPÍTULOS / A.1

ÍNDICE ALFABÉTICO / I.1

Prefacio

La sexta edición de *Física para la ciencia y la tecnología* presenta un texto y herramientas *online* completamente integrados que ayudarán a los estudiantes a aprender de un modo más eficaz y que permitirá a los profesores adaptar sus clases para enseñar de un modo más eficiente.

El texto incluye un nuevo enfoque estratégico de resolución de problemas, un apéndice de matemáticas integrado y nuevas herramientas para mejorar la comprensión conceptual. Los nuevos temas de actualidad en física destacan temas innovadores que ayudan a los estudiantes a relacionar lo que aprenden con las tecnologías del mundo real.

CARACTERÍSTICAS CLAVE



ESTRATEGIA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

En la sexta edición destaca una nueva estrategia de resolución de problemas en la que los Ejemplos siguen un formato sistemático de **Planteamiento**, **Solución** y **Comprobación**. Este formato conduce a los estudiantes a través de los pasos implicados en el análisis del problema, la resolución del problema y la comprobación de sus respuestas. Los Ejemplos a menudo incluyen útiles secciones de **Observación** que presentan formas alternativas de resolución de problemas, hechos interesantes, o información adicional relativa a los conceptos presentados. Siempre que se considera necesario, los Ejemplos van seguidos de **Problemas Prácticos** para que los estudiantes puedan evaluar su dominio de los conceptos.

En esta edición, las etapas de resolución de problemas siguen contando con las ecuaciones necesarias al lado, de manera que a los estudiantes les resulte más fácil seguir el razonamiento.

Después de cada enunciado del problema, los estudiantes van al **Planteamiento** del problema. Aquí, el problema se analiza tanto conceptualmente como visualmente.

En la sección **Solución**, cada paso de la solución se presenta con un enunciado escrito en la columna de la izquierda y las ecuaciones matemáticas correspondientes en la columna de la derecha.

La **Comprobación** recuerda a los estudiantes que han de verificar que sus resultados son precisos y razonables.

La **Observación** sugiere una forma distinta de enfocar un ejemplo o da información adicional relevante para el ejemplo.

A la solución le sigue normalmente un **Problema Práctico**, lo que permite a los estudiantes comprobar su comprensión. Al final del capítulo se incluyen las respuestas para facilitar una comprobación inmediata.

Ejemplo 3.4 Tomando una curva

Un coche se mueve hacia el este a 60 km/h. Toma una curva y 5 s más tarde viaja hacia el norte a 60 km/h. Determinar la aceleración media del coche.

PLANTEAMIENTO Calculamos la aceleración media a partir de su definición, $\vec{a}_m = \Delta\vec{v}/\Delta t$. Primero calculamos $\Delta\vec{v}$ que es el vector que sumado a $\vec{v}_i$ nos da $\vec{v}_f$.

SOLUCIÓN

1. La aceleración media es el cociente entre la variación de velocidad y el intervalo de tiempo: $\vec{a}_m = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$
2. Para hallar $\Delta\vec{v}$, debemos especificar primero $\vec{v}_i$ y $\vec{v}_f$. Dibujemos $\vec{v}_i$ y $\vec{v}_f$ (figura 3.7a), y tracemos el diagrama de suma vectorial (figura 3.7b) correspondiente a $\vec{v}_f = \vec{v}_i + \Delta\vec{v}$:
3. El cambio de velocidad viene determinado por las velocidades inicial y final: $\vec{v}_f = \vec{v}_i + \Delta\vec{v}$
4. Sustituya los resultados anteriores para determinar la aceleración media: $\vec{a}_m = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{\Delta t} = \frac{60 \text{ km/h } \hat{j} - 60 \text{ km/h } \hat{i}}{5,0 \text{ s}}$
5. Convierta 60 km/h a metros por segundo: $60 \text{ km/h} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 16,7 \text{ m/s}$
6. Exprese la aceleración en metros por segundo al cuadrado: $\vec{a}_m = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{\Delta t} = \frac{16,7 \text{ m/s } \hat{j} - 16,7 \text{ m/s } \hat{i}}{5,0 \text{ s}} = \boxed{-3,4 \text{ m/s}^2 \hat{i} + 3,4 \text{ m/s}^2 \hat{j}}$

COMPROBACIÓN La componente de la velocidad en dirección este disminuye de 60 km/h a cero, de tal forma que cabría esperar que la componente x de la aceleración fuese negativa. Así mismo, la componente de la velocidad en dirección norte aumenta de cero a 60 km/h, de forma que cabría esperar que la componente y de la aceleración fuese positiva. El resultado del apartado 6 concuerda con estas expectativas.

OBSERVACIÓN Obsérvese que el coche sigue acelerando aunque el módulo de su velocidad se mantenga constante.

PROBLEMA PRÁCTICO 3.1 Determinar el módulo y la dirección del vector aceleración media.

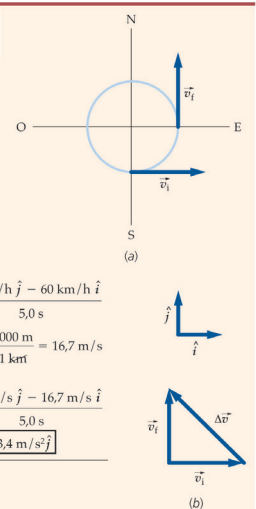


FIGURA 3.7

En casi todos los capítulos se incluye un recuadro llamado **Estrategia de resolución de problemas** para reforzar el formato **Planteamiento, Solución y Comprobación** para solucionar satisfactoriamente los problemas.



APÉNDICE DE MATEMÁTICAS INTEGRADO

Esta edición ha mejorado el apoyo matemático a los estudiantes que estudian Matemáticas al mismo tiempo que introducción a la Física o a los estudiantes que requieren repasar las Matemáticas.

El **Apéndice de Matemáticas completo**

- revisa resultados básicos de álgebra, geometría, trigonometría y cálculo,
- relaciona conceptos matemáticos con conceptos físicos del libro,
- proporciona Ejemplos y Problemas Prácticos para que los estudiantes puedan comprobar su comprensión de los conceptos matemáticos.

ESTRATEGIA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Velocidad relativa

- PLANTEAMIENTO** El primer paso para la resolución de problemas de velocidad relativa es identificar y marcar los sistemas de referencia relevantes. Aquí les llamaremos sistema de referencia A y B.
- SOLUCIÓN**
1. Utilizando $\vec{v}_{PB} = \vec{v}_{PA} + \vec{v}_{AB}$ (ecuación 3.9), relacione la velocidad del objeto móvil (partícula *p*) relativa al sistema A con la velocidad de la partícula relativa al sistema B.
 2. Trace un diagrama de suma vectorial para la ecuación $\vec{v}_{PB} = \vec{v}_{PA} + \vec{v}_{AB}$. Incluya ejes de coordenadas en el dibujo.
 3. Calcule la incógnita en cuestión. Utilice la trigonometría cuando sea necesario.
- COMPROBACIÓN** Asegúrese de que obtiene la velocidad o posición del cuerpo respecto del sistema de referencia correcto.

Ejemplo M.13 **Desintegración radiactiva del cobalto-60**

El período de semidesintegración del cobalto-60 (⁶⁰Co) es 5,27 años. A *t* = 0 se tiene una muestra de ⁶⁰Co de masa 1,20 mg. ¿Cuánto tiempo *t* (en años) habrá de transcurrir para que 0,400 mg de la muestra de ⁶⁰Co se hayan desintegrado?

PLANTEAMIENTO En la deducción del período de semidesintegración pusimos $N/N_0 = 1/2$. En este ejemplo, hemos de hallar el tiempo de permanencia de dos tercios de la muestra, es decir, cuando la fracción N/N_0 sea de 0,667.

SOLUCIÓN

1. Expresar la fracción N/N_0 como una función exponencial:

$$\frac{N}{N_0} = 0,667 = e^{-\lambda t}$$

2. Obtener los valores recíprocos de ambos miembros:

$$\frac{N_0}{N} = 1,50 = e^{\lambda t}$$

3. Despejar *t*:

$$t = \frac{\ln 1,50}{\lambda} = \frac{0,405}{\lambda}$$

4. La constante de desintegración está relacionada con el período de semidesintegración por medio de $\lambda = (\ln 2)/t_{1/2}$ (ecuación M.70). Sustituir $(\ln 2)/t_{1/2}$ por λ y calcular el tiempo:

$$t = \frac{\ln 1,5}{\ln 2} t_{1/2} = \frac{\ln 1,5}{\ln 2} \times 5,27 \text{ años} = 3,08 \text{ años}$$

COMPROBACIÓN Para que la masa de una muestra de ⁶⁰Co decreciese hasta el 50% de su masa inicial habrían de transcurrir 5,27 años. Por lo tanto, es de esperar que la muestra tardase menos de 5,27 años para perder el 33,3% de su masa. Por tanto, el resultado obtenido (3,08 años), concuerda con lo esperado.

PROBLEMAS PRÁCTICOS

27. La constante de tiempo de descarga de un condensador en un que tarda el condensador en descargarse hasta e^{-1} (o sea 0,368) $\tau = 1$ s para un condensador, ¿cuánto tiempo *t* (en segundos) descargarse hasta el 50% de su carga inicial?

28. Si la población de coyotes en un determinado lugar está creciendo por década y continúa creciendo al mismo ritmo indefinidamente, ¿cuánto tiempo tardará una población 1,5 veces la actual?

El **cálculo integral** se puede considerar el inverso del cálculo diferencial. Si una función *f*(*t*) se integra, se obtiene una función *F*(*t*), de forma que *f*(*t*) es la derivada de *F*(*t*) con respecto a *t*.

M.12 CÁLCULO INTEGRAL

LA INTEGRAL COMO UN ÁREA BAJO UNA CURVA. ANÁLISIS DIMENSIONAL

La integración está relacionada con el problema de hallar el área bajo una curva. La figura M.27 muestra una función *f*(*t*). El área del elemento sombreado es aproximadamente *f_i* Δ*t_i*, en donde *f_i* se calcula en un punto cualquiera del intervalo Δ*t_i*. Esta aproximación mejora si Δ*t_i* es muy pequeño. Se halla el área total desde *t*₁ hasta *t*₂ sumando todos los elementos de área desde *t*₁ a *t*₂ y tomando el límite cuando Δ*t_i* tiende a cero. Este límite se denomina la **integral** de *f* extendida al intervalo *t*₁, *t*₂ y se escribe

$$\int_{t_1}^{t_2} f \, dt = \text{área}_i = \lim_{\Delta t_i \rightarrow 0} \sum_i f_i \Delta t_i \tag{M.74}$$

Las dimensiones físicas de una integral de una función *f*(*t*) se hallan multiplicando las dimensiones del integrando (la función que se ha de integrar) por las dimensiones de la variable de in-

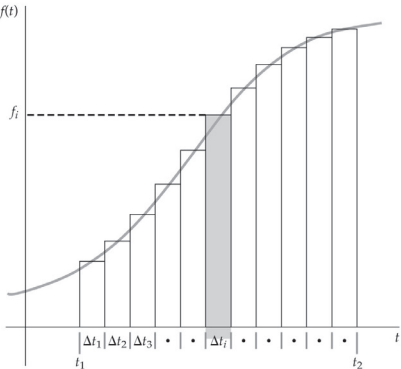


FIGURA M.27 Función general *f*(*t*). El área del elemento sombreado es aproximadamente *f_i* Δ*t_i*, en donde *f_i* se calcula para un punto cualquiera del intervalo.



Véase el
Apéndice de matemáticas
para más información sobre
Cálculo diferencial

Además, las notas al margen permiten a los estudiantes ver fácilmente la relación entre los conceptos físicos del texto y los conceptos matemáticos.



PEDAGOGÍA PARA ASEGURAR LA COMPRENSIÓN CONCEPTUAL

Se han añadido herramientas prácticas para los estudiantes para facilitar un mejor comprensión conceptual de la física.

- Se han introducido nuevos **Ejemplos conceptuales**, para ayudar a los estudiantes a comprender en profundidad conceptos físicos esenciales. Estos ejemplos utilizan la estrategia **Planteamiento, Solución y Comprobación**, de modo que los estudiantes no sólo obtienen una comprensión conceptual básica sino que tienen que evaluar sus respuestas.

Ejemplo 8.12

Colisiones con masilla

Conceptual

María tiene dos bolas de la misma masa, una bola de masilla y otra de goma. Lanza la bola de masilla contra un bloque suspendido por dos cuerdas como se muestra en la figura 8.20. La bola impacta contra el bloque y cae al suelo. Como consecuencia, el bloque asciende hasta una altura máxima h . Si hubiera lanzado la bola de goma con la misma velocidad, ¿el bloque habría ascendido a una altura mayor que h ? La goma, a diferencia de la masilla, es elástica y hubiera rebotado contra el bloque.

PLANTEAMIENTO Durante el impacto, el cambio de momento del sistema bola-bloque es cero. Cuanto mayor es el cambio de momento de la bola, mayor será el cambio de momento del bloque. ¿Aumenta más el cambio de momento de la bola si rebota en el bloque que si no lo hace?

SOLUCIÓN

La bola de masilla pierde una fracción importante de su momento inicial. La bola de goma perdería todo el momento inicial para ganar momento en la dirección opuesta. Por tanto, la bola de goma perdería mayor cantidad de momento que la bola de masilla.

El bloque ascendería hasta una mayor altura después de ser impactado con la bola de goma que si hubiese sido impactado por la bola de masilla.

COMPROBACIÓN El bloque ejerce un impulso hacia atrás sobre la bola de masilla hasta hacerla parar. El mismo impulso hace detener la bola de goma, pero además el bloque ejerce un impulso adicional que la hacer retroceder. Así, el bloque ejerce un mayor impulso sobre la bola de goma que sobre la de masilla. Según la tercera ley de Newton, el impulso de la bola sobre el bloque es igual y opuesto al impulso del bloque sobre la bola. Entonces, la bola de goma ejerce un impulso mayor sobre el bloque confiriéndole un mayor cambio de momento.

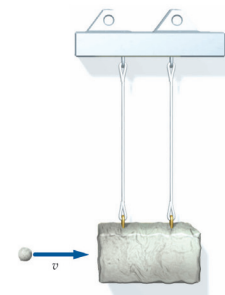


FIGURA 8.20

- Las nuevas **Comprobaciones de conceptos** facilitan a los estudiantes comprobar su comprensión conceptual de conceptos físicos mientras leen los capítulos. Las respuestas están situadas al final de cada capítulo para permitir una comprobación inmediata. Las comprobaciones de conceptos se colocan cerca de temas relevantes, de modo que los estudiantes puedan releer inmediatamente cualquier material que no comprendan del todo.
- Los nuevos **avisos de errores frecuentes**, identificados mediante signos de exclamación, ayudan a los estudiantes a evitar errores habituales. Estos avisos están situados cerca de los temas que habitualmente causan confusión, de manera que los estudiantes puedan resolver de inmediato cualquier dificultad.



COMPROBACIÓN CONCEPTUAL 3.1

La figura 3.9 es el diagrama del movimiento de la saltadora antes, durante y después del instante de tiempo t_0 , cuando se halla momentáneamente en reposo en el punto más bajo de su descenso. En la parte de su ascenso mostrada en el esquema, la velocidad de la saltadora aumenta. Utilice este diagrama para determinar la dirección de la aceleración de la saltadora (a) en el instante t_0 y (b) en el instante t_0 .

donde U_y la constante arbitraria de integración, es el valor de la energía potencial para $y = 0$. Como sólo definimos la variación de energía potencial, el valor real de U no es importante. Por ejemplo, si a la energía potencial gravitatoria del sistema Tierra-esquiador se le asigna un valor igual a cero cuando el esquiador está en el fondo de la pista, su valor a la altura h sobre este nivel es mgh . También podemos asignar el valor cero de energía potencial al momento en que el esquiador está en un punto P a medio camino de la pendiente, en cuyo caso su valor en cualquier otro punto sería mgy , donde y es la distancia del esquiador respecto al punto P .

Tenemos libertad para dar a U el valor cero en cualquier punto de referencia.



TEMAS DE ACTUALIDAD EN FÍSICA

Los **temas de actualidad en Física**, que aparecen al final de ciertos capítulos, tratan de aplicaciones actuales de la Física y relacionan estas aplicaciones con conceptos descritos en los capítulos. Estos temas van desde un parque eólico hasta termómetros moleculares y motores de detonación pulsar.

Soplando aire cálidos

Los parques eólicos están desperdigados por la costa danesa, las planicies del alto medio-oeste de EE.UU. y las montañas desde California hasta Vermont. El aprovechamiento de la energía cinética del viento no es nada nuevo. Durante siglos, los molinos de viento se han utilizado para bombear agua, ventilar minas¹ y moler el grano.

En la actualidad, las turbinas de viento hacen funcionar generadores eléctricos. Esas turbinas transforman energía cinética en energía electromagnética. Las turbinas modernas tienen precios, tamaños y rendimientos muy variados. Algunas de ellas son pequeñas y sencillas máquinas que cuestan unos 500 dólares y producen unos 100 watts de potencia.² Otras son gigantes y complejas y cuestan unos 2 millones de dólares pero generan hasta 2,5 MW por turbina.³ Todas ellas funcionan gracias a una fuente de energía fácilmente disponible —el viento.

La teoría que hay detrás de la conversión de energía cinética en electromagnética es simple. Las moléculas de aire golpean sobre las aspas de la hélice y hacen girar la turbina. Las aspas hacen girar unos engranajes que hacen aumentar la velocidad de rotación que a su vez hace girar el rotor generador. El generador envía energía electromagnética a cables que soportan alta tensión.

Sin embargo, la conversión de la energía cinética del viento en energía electromagnética no es perfectamente eficiente; de hecho, no puede ser 100% eficiente. Si las turbinas convirtieran completamente la energía cinética del viento en energía eléctrica, el aire saldría de las turbinas sin energía cinética. Es decir, las turbinas pararían el aire. Si la turbina parase completamente el aire, éste fluiría alrededor de la turbina en lugar de fluir a través de ella.

Así, la turbina debe ser capaz de capturar la energía cinética del aire en movimiento y de evitar el flujo de aire a su alrededor. Las turbinas propulsadas por hélices son las más comunes y su eficiencia teórica varía de 30% a 59%.⁴ (Las eficiencias teóricas varían en función de cómo el aire fluye alrededor de la turbina y a través de las hélices.)

En resumen, ni la más eficiente de las turbinas puede convertir el 100% de la energía disponible. ¿Qué sucede? Antes de llegar a la turbina el aire fluye de forma laminar mientras que al dejar atrás la turbina el aire se vuelve turbulento. La componente rotacional del movimiento del aire de detrás de la turbina, aumenta su energía aunque también hay alguna disipación debida a la viscosidad del aire. Si un determinado volumen de aire se mueve más lentamente, aparecerá un rozamiento entre este aire y el aire más veloz que fluye a su alrededor.⁵ Las hélices se calientan y el aire también. Los engranajes de la turbina también disipan energía debido al rozamiento. Las hélices vibran individualmente —la energía absorbida para producir estas vibraciones también hace disminuir la eficiencia. Finalmente, la turbina necesita corriente para hacer funcionar los motores que lubrican los engranajes y el motor que orienta la turbina en la dirección más apropiada para la captura del viento.

En definitiva, la mayoría de turbinas funcionan con una eficiencia de entre un 10 y un 20 por ciento,⁶ pero siguen siendo un recurso energético más limpio que el petróleo. Uno de los propietarios de turbinas eólicas decía, “Lo fundamental del negocio de las turbinas radica en que nos ayuda a controlar nuestro futuro”.⁷

Temas de actualidad en Física



Un parque eólico que convierte la energía cinética del aire en energía eléctrica. (Image Slate.)

MEDIOS DE DIFUSIÓN Y SUPLEMENTOS IMPRESOS

Todos los suplementos de la obra están disponibles en Internet en la página www.reverte.com/microsites/tipler6ed.

FLEXIBILIDAD PARA LOS CURSOS DE FÍSICA

Nos damos cuenta de que no todos los cursos de física son iguales. Para facilitar la utilización del libro, *Física para la ciencia y la tecnología* se halla disponible en las siguientes versiones:

- Volumen 1** *Mecánica/Oscilaciones y ondas/Termodinámica*
(Capítulos 1–20, R) 978-84-291-4429-1
- Volumen 2** *Electricidad y magnetismo/Luz*
(Capítulos 21–33) 978-84-291-4430-7
- Volumen 1A** *Mecánica* (Capítulos 1–13) 978-84-291-4421-5
- Volumen 1B** *Oscilaciones y ondas* (Capítulos 14–16) 978-84-291-4422-2
- Volumen 1C** *Termodinámica* (Capítulos 17–20) 978-84-291-4423-9
- Volumen 2A** *Electricidad y magnetismo* (Capítulos 21–30) 978-84-291-4424-6
- Volumen 2B** *Luz* (Capítulos 31–33) 978-84-291-4425-3
- Física moderna** *Mecánica cuántica, relatividad y estructura de la materia*
(Capítulos R, 34–41) 978-84-291-4426-0
- Apéndices y respuestas** 978-84-291-4427-7

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a los diversos profesores, estudiantes, colaboradores y amigos que han contribuido a esta edición y a las anteriores.

Anthony J. Buffa, profesor emérito en California Polytechnic State University en California, escribió muchos de los nuevos problemas que aparecen al final de los capítulos y editó las secciones de problemas del final de cada capítulo. Laura Runkle escribió los Temas de actualidad en Física. Richard Mickey revisó la Revisión de matemáticas de la quinta edición, que ahora constituye el Apéndice de matemáticas de la sexta edición. David Mills, profesor emérito en el College of the Redwoods en California, revisó a fondo el Manual de Soluciones. Para redactar este libro y para comprobar la precisión y exactitud del texto y los problemas hemos contado con la ayuda inestimable de los siguientes profesores:

Thomas Foster
Southern Illinois University

Karamjeet Arya
San Jose State University

Mirley Bala
Texas A&M University—Corpus Christi

Michael Crivello
San Diego Mesa College

Carlos Delgado
Community College of Southern Nevada

David Faust
Mt. Hood Community College

Robin Jordan
Florida Atlantic University

Jerome Licini
Lehigh University

Dan Lucas
University of Wisconsin

Laura McCullough
University of Wisconsin, Stout

Jeannette Myers
Francis Marion University

Marian Peters
Appalachian State University

Todd K. Pedlar
Luther College

Paul Quinn
Kutztown University

Peter Sheldon
Randolph-Macon Woman's College

Michael G. Strauss
University of Oklahoma

Brad Trees
Ohio Wesleyan University

George Zober
Yough Senior High School

Patricia Zober
Ringgold High School

Muchos profesores y estudiantes han realizado revisiones exhaustivas y útiles de uno o más capítulos de esta edición. Cada uno de ellos ha contribuido de un modo fundamental a mejorar la calidad de esta revisión, y merecen por ello nuestro agradecimiento. Nos gustaría dar las gracias a los siguientes revisores:

Ahmad H. Abdelhadi
James Madison University

Edward Adelson
Ohio State University

Royal Albridge
Vanderbilt University

J. Robert Anderson
University of Maryland, College Park

Toby S. Anderson
Tennessee State University

Wickram Ariyasinghe
Baylor University

Yildirim Aktas
University of North Carolina, Charlotte

Eric Ayars
California State University

James Battat
Harvard University

Eugene W. Beier
University of Pennsylvania

Peter Beyersdorf
San Jose State University

Richard Bone
Florida International University

Juliet W. Brosing
Pacific University

Ronald Brown
California Polytechnic State University

Richard L. Cardenas
St. Mary’s University

Troy Carter
University of California, Los Angeles

Alice D. Churukian
Concordia College

N. John DiNardo
Drexel University

Jianjun Dong
Auburn University

Fivos R Drymiotis
Clemson University

Mark A. Edwards
Hofstra University

James Evans
Broken Arrow Senior High

Nicola Fameli
University of British Columbia

N. G. Fazleev
University of Texas at Arlington

Thomas Furtak
Colorado School of Mines

Richard Gelderman
Western Kentucky University

Yuri Gershtein
Florida State University

Paolo Gondolo
University of Utah

Benjamin Grinstein
University of California, San Diego

Parameswar Hari
University of Tulsa

Joseph Harrison
University of Alabama—Birmingham

Patrick C. Hecking
Thiel College

Kristi R. G. Hendrickson
University of Puget Sound

Linnea Hess
Olympic College

Mark Hollabaugh
Normandale Community College

Daniel Holland
Illinois State University

Richard D. Holland II
Southern Illinois University

Eric Hudson
Massachusetts Institute of Technology

David C. Ingram
Ohio University

Colin Inglefield
Weber State University

Nathan Israeloff
Northeastern University

Donald J. Jacobs
California State University, Northridge

Erik L. Jensen
Chemeketa Community College

Colin P Jessop
University of Notre Dame

Ed Kearns
Boston University

Alice K. Kolakowska
Mississippi State University

Douglas Kurtze
Saint Joseph’s University

Eric T. Lane
University of Tennessee at Chattanooga

Christie L. Larochelle
Franklin & Marshall College

Mary Lu Larsen
Towson University

Clifford L. Laurence
Colorado Technical University

Bruce W. Liby
Manhattan College

Ramon E. Lopez
Florida Institute of Technology

Ntungwa Maasha
Coastal Georgia Community Collegee
and University Center

Jane H MacGibbon
University of North Florida

A. James Mallmann
Milwaukee School of Engineering

Rahul Mehta
University of Central Arkansas

R. A. McCorkle
University of Rhode Island

Linda McDonald
North Park University

Kenneth McLaughlin
Loras College

Eric R. Murray
Georgia Institute of Technology

Jeffrey S. Olafsen
University of Kansas

Richard P. Olenick
University of Dallas

Halina Opyrchal
New Jersey Institute of Technology

Russell L. Palma
Minnesota State University—Mankato

Todd K. Pedlar
Luther College

Daniel Phillips
Ohio University

Edward Pollack
University of Connecticut

Michael Politano
Marquette University

Robert L. Pompei
SUNY Binghamton

Damon A. Resnick
Montana State University

Richard Robinett
Pennsylvania State University

John Rollino
Rutgers University

Daniel V. Schroeder
Weber State University

Douglas Sherman
San Jose State University

Christopher Sirola
Marquette University

Larry K. Smith
Snow College

George Smoot
University of California
at Berkeley

Zbigniew M. Stadnik
University of Ottawa

Kenny Stephens
Hardin-Simmons University

Daniel Stump
Michigan State University

Jorge Talamantes
California State University,
Bakersfield

Charles G. Torre
Utah State University

Brad Trees
Ohio Wesleyan University

John K. Vassiliou
Villanova University

Theodore D. Violett
Western State College

Hai-Sheng Wu
Minnesota State University—Mankato

Anthony C. Zable
Portland Community College

Ulrich Zurcher
Cleveland State University

También estamos en deuda con los revisores de ediciones anteriores. Por lo que nos gustaría dar las gracias a los siguientes revisores, quienes nos proporcionaron un apoyo imprescindible mientras realizábamos la cuarta y la quinta ediciones:

Edward Adelson

The Ohio State University

Michael Arnett

Kirkwood Community College

Todd Averett

The College of William and Mary

Yildirim M. Aktas

University of North Carolina at Charlotte

Karamjeet Arya

San Jose State University

Alison Baski

Virginia Commonwealth University

William Bassichis

Texas A&M University

Joel C. Berlinghieri

The Citadel

Gary Stephen Blanpied

University of South Carolina

Frank Blatt

Michigan State University

Ronald Brown

California Polytechnic State University

Anthony J. Buffa

California Polytechnic State University

John E. Byrne

Gonzaga University

Wayne Carr

Stevens Institute of Technology

George Cassidy

University of Utah

Lay Nam Chang

Virginia Polytechnic Institute

I. V. Chivets

Trinity College, University of Dublin

Harry T. Chu

University of Akron

Alan Cresswell

Shippensburg University

Robert Coakley

University of Southern Maine

Robert Coleman

Emory University

Brent A. Corbin

UCLA

Andrew Cornelius

University of Nevada at Las Vegas

Mark W. Coffey

Colorado School of Mines

Peter P. Crooker

University of Hawaii

Jeff Culbert

London, Ontario

Paul Debevec

University of Illinois

Ricardo S. Decca

Indiana University-Purdue University

Robert W. Detenbeck

University of Vermont

N. John DiNardo

Drexel University

Bruce Doak

Arizona State University

Michael Dubson

University of Colorado at Boulder

John Elliott

University of Manchester, England

William Ellis

University of Technology — Sydney

Colonel Rolf Enger

U.S. Air Force Academy

John W. Farley

University of Nevada at Las Vegas

David Faust

Mount Hood Community College

Mirela S. Fetea

University of Richmond

David Flammer

Colorado School of Mines

Philip Fraundorf

University of Missouri, Saint Louis

Tom Furtak

Colorado School of Mines

James Garland

Retired

James Garner

University of North Florida

Ian Gatland

Georgia Institute of Technology

Ron Gautreau

New Jersey Institute of Technology

David Gavenda

University of Texas at Austin

Patrick C. Gibbons

Washington University

David Gordon Wilson

Massachusetts Institute of Technology

Christopher Gould

University of Southern California

Newton Greenberg

SUNY Binghamton

John B. Gruber

San Jose State University

Huidong Guo

Columbia University

Phuoc Ha

Creighton University

Richard Haracz

Drexel University

Clint Harper

Moorpark College

Michael Harris

University of Washington

Randy Harris

University of California at Davis

Tina Harriott

Mount Saint Vincent, Canada

Dieter Hartmann

Clemson University

Theresa Peggy Hartsell

Clark College

Kristi R.G. Hendrickson

University of Puget Sound

Michael Hildreth

University of Notre Dame

Robert Hollebeek

University of Pennsylvania

David Ingram

Ohio University

Shawn Jackson

The University of Tulsa

Madya Jalil

University of Malaya

Monwhea Jeng

University of California — Santa Barbara

James W. Johnson

Tallahassee Community College

Edwin R. Jones

University of South Carolina

Ilon Joseph

Columbia University

David Kaplan

University of California — Santa Barbara

William C. Kerr

Wake Forest University

John Kidder

Dartmouth College

Roger King

City College of San Francisco

James J. Kolata

University of Notre Dame

Boris Korsunsky

Northfield Mt. Hermon School

Thomas O. Krause

Towson University

Eric Lane

University of Tennessee, Chattanooga

Andrew Lang (graduate student)

University of Missouri

David Lange

University of California — Santa Barbara

Donald C. Larson

Drexel University

Paul L. Lee

California State University, Northridge

Peter M. Levy

New York University

Jerome Licini

Lehigh University

Isaac Leichter

Jerusalem College of Technology

William Lichten

Yale University

Robert Lieberman

Cornell University

Fred Lipschultz

University of Connecticut

Graeme Luke

Columbia University

Dan MacIsaac

Northern Arizona University

Edward McCliment

University of Iowa

Robert R. Marchini

The University of Memphis

Peter E. C. Markowitz

Florida International University

Daniel Marlow

Princeton University

Fernando Medina

Florida Atlantic University

Howard McAllister

University of Hawaii

John A. McClelland

University of Richmond

Laura McCullough

University of Wisconsin at Stout

M. Howard Miles

Washington State University

Matthew Moelter

University of Puget Sound

Eugene Mosca

U.S. Naval Academy

Carl Mungan

U.S. Naval Academy

Taha Mzoughi

Mississippi State University

Charles Niederriter

Gustavus Adolphus College

John W. Norbury

University of Wisconsin at Milwaukee

Aileen O'Donoghue

St. Lawrence University

Jack Ord

University of Waterloo

Jeffry S. Olafsen

University of Kansas

Melvyn Jay Oremland

Pace University

Richard Packard

University of California

Antonio Pagnamenta

University of Illinois at Chicago

George W. Parker

North Carolina State University

John Parsons

Columbia University

Dinko Pocanic

University of Virginia

Edward Pollack

University of Connecticut

Robert Pompei

The State University of New York at Bingham-
ton

Bernard G. Pope

Michigan State University

John M. Pratte

Clayton College and State
University

Brooke Pridmore

Clayton State College

Yong-Zhong Qian

University of Minnesota

David Roberts

Brandeis University

Lyle D. Roelofs

Haverford College

R. J. Rollefson

Wesleyan University

Larry Rowan

University of North Carolina at Chapel Hill

Ajit S. Rupaal

Western Washington University

Todd G. Ruskell

Colorado School of Mines

Lewis H. Ryder

University of Kent, Canterbury

Andrew Scherbakov

Georgia Institute of Technology

Bruce A. Schumm

University of California, Santa Cruz

Cindy Schwarz

Vassar College

Mesgun Sebhatsu

Winthrop University

Bernd Schuttler

University of Georgia

Murray Scureman

Amdahl Corporation

Marllin L. Simon

Auburn University

Scott Sinawi

Columbia University

Dave Smith

University of the Virgin Islands

Wesley H. Smith

University of Wisconsin

Kevork Spartalian

University of Vermont

Zbigniew M. Stadnik

University of Ottawa

G. R. Stewart

University of Florida

Michael G. Strauss

University of Oklahoma

Kaare Stegavik

University of Trondheim, Norway

Jay D. Strieb

Villanova University

Dan Styer

Oberlin College

Chun Fu Su

Mississippi State University

Jeffrey Sundquist

Palm Beach Community College — South

Cyrus Taylor

Case Western Reserve University

Martin Tiersten

City College of New York

Chin-Che Tin

Auburn University

Oscar Vilches

University of Washington

D. J. Wagner

Grove City College

Columbia University

George Watson

University of Delaware

Fred Watts

College of Charleston

David Winter

John A. Underwood

Austin Community College

John Weinstein

University of Mississippi

Stephen Weppner

Eckerd College

Suzanne E. Willis

Northern Illinois University

Frank L. H. Wolfe

University of Rochester

Frank Wolfs

University of Rochester

Roy C. Wood

New Mexico State University

Ron Zammit

California Polytechnic State University

Yuriy Zhestkov

Columbia University

Dean Zollman

Kansas State University

Fulin Zuo

University of Miami

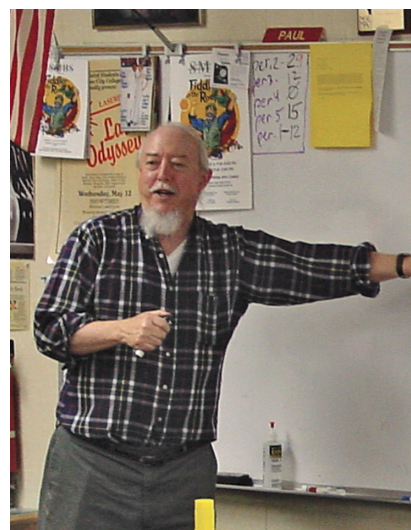
Es obvio que nuestro trabajo no termina nunca; por ello, esperamos recibir comentarios y sugerencias de nuestros lectores para poder mejorar el texto y corregir cualquier error. Si usted cree que ha hallado un error, o tiene cualquier otro comentario, sugerencia o pregunta, envíenos una nota a producción@reverte.com. Incorporaremos las correcciones en el texto en posteriores reimpresiones.

Por último, nos gustaría agradecer a nuestros amigos de W. H. Freeman and Company su ayuda y aliento. Susan Brennan, Clancy Marshall, Kharissia Pettus, Georgia Lee Hadler, Susan Wein, Trumbull Rogers, Connie Parks, John Smith, Dena Digilio Betz, Ted Szczepanski y Liz Geller, quienes fueron muy generosos con su creatividad y duro trabajo en cada etapa del proceso.

También estamos agradecidos por las contribuciones y ayuda de nuestros colegas Larry Tankersley, John Ertel, Steve Montgomery y Don Treacy.

Acerca de los autores

Paul Tipler nació en la pequeña ciudad agrícola de Antigo, Wisconsin, en 1933. Realizó sus estudios medios en Oshkosh, Wisconsin, en donde su padre era superintendente de las Escuelas Públicas. Recibió el título de Bachelor of Science en la Universidad de Purdue en 1955 y obtuvo su Ph.D. en la Universidad de Illinois, en donde estudió la estructura del núcleo. Impartió la enseñanza durante un año en la Wesleyan University de Connecticut mientras redactaba su tesis. Después se trasladó a la Universidad de Oakland en Michigan, donde fue uno de los primeros miembros del Departamento de Física, y desempeñó un papel importante en el desarrollo de los planes de estudio. Durante los siguientes 20 años, enseñó casi todas las disciplinas de la física y escribió la primera y segunda ediciones de sus ampliamente difundidos textos *Física Moderna* (1969, 1978) y *Física* (1976, 1982). En 1982, se mudó a Berkeley, California, donde ahora reside y donde escribió *Física preuniversitaria* (1987) y la tercera edición de *Física* (1991). Además de la física, sus aficiones incluyen la música, excursionismo y camping. Es un excelente pianista de jazz y un buen jugador de póker.



Gene Mosca nació en la ciudad de Nueva York y se crió en Shelter Island, en el Estado de Nueva York. Estudió en la Universidad de Villanova, en la Universidad de Michigan y en la Universidad de Vermont, donde obtuvo su Ph.D. en física. Recientemente jubilado, Gene Mosca ha sido profesor en la U.S. Naval Academy, donde fue el impulsor de numerosas mejoras en la enseñanza de la Física, tanto en los laboratorios como en las aulas. Proclamado por Paul Tipler como "el mejor crítico que he tenido", Mosca se ha convertido en coautor del libro a partir de su quinta edición.





Medida y vectores

- 1.1 La naturaleza de la física
- 1.2 Unidades
- 1.3 Conversión de unidades
- 1.4 Dimensiones de las magnitudes físicas
- 1.5 Cifras significativas y órdenes de magnitud
- 1.6 Vectores
- 1.7 Propiedades generales de los vectores

La humanidad siempre ha sentido curiosidad por el mundo que le rodea. Como demuestran los primeros documentos gráficos, siempre hemos buscado el modo de imponer orden en la enmarañada diversidad de los sucesos observados, el color del cielo, el cambio del sonido de un coche cuando pasa, el balanceo de un árbol, la salida y la puesta del Sol, el vuelo de un ave o de un avión. Esta búsqueda para entender ha adoptado distintas formas: una es la religión, otra es el arte y otra es la ciencia. Aunque el vocablo *ciencia* viene del latín y significa “saber”, la ciencia no sólo es saber sino, especialmente, comprensión del mundo natural. La Física pretende describir los fundamentos del universo y cómo funciona. Es la ciencia de la materia y de la energía, del espacio y del tiempo.

Como toda ciencia, la Física se estructura de una forma específica y racional. Los físicos construyen, prueban y relacionan modelos con el objetivo de describir, explicar y predecir la realidad. Este proceso comporta elaborar hipótesis, llevar a cabo repetidamente experimentos y observaciones y, en consecuencia, elaborar nuevas hipótesis. El resultado final es un conjunto de principios fundamentales y de leyes que describen el mundo. Estas leyes y principios se aplican tanto a fenómenos exó-

EN UNA PLAYA HAY DEMASIADOS GRANOS DE ARENA PARA CONTARLOS UNO POR UNO, PERO SE PUEDE OBTENER EL NÚMERO APROXIMADO POR MEDIO DE HIPÓTESIS RAZONABLES Y CÁLCULOS SENCILLOS. (Corbis.)



¿Cuántos granos de arena hay en su playa favorita?

(Véase el ejemplo 17.)

ticos como los agujeros negros, la energía oscura y partículas con nombres tan peculiares como leptosquarks o bosones como a la vida cotidiana. Como veremos, hay innumerables cuestiones de nuestro entorno cotidiano que pueden explicarse con un conocimiento básico de física. ¿Por qué el cielo es azul? ¿Por qué los astronautas flotan en el espacio? ¿Cómo funcionan los reproductores de discos compactos? ¿Por qué un oboe suena distinto de una flauta? ¿Por qué un helicóptero debe tener dos rotores? ¿Por qué los objetos metálicos parecen más fríos que los objetos de madera a igual temperatura? ¿Por qué los relojes que se mueven van más lentos?

En este libro, aplicaremos los principios de la física para contestar estas y otras cuestiones. Estudiaremos los temas clásicos de la física, la mecánica, el sonido, la luz, el calor, la electricidad, el magnetismo, la física atómica y nuclear. También aprenderemos algunas técnicas útiles para la resolución de problemas. En este proceso esperamos que el lector tome conciencia de la importancia de la física y aprecie toda su belleza.

En este capítulo, empezaremos a prepararnos estudiando algunos conceptos previos que se necesitan para el estudio de la física. Examinaremos brevemente la naturaleza de la física, estableceremos algunas definiciones básicas, introduciremos los sistemas de unidades y aprenderemos a usarlos y presentaremos una introducción a la matemática de los vectores. También trataremos de la exactitud de las medidas, las cifras significativas y las estimaciones.

1.1 LA NATURALEZA DE LA FÍSICA

El vocablo *física* procede del griego y significa el conocimiento del mundo natural. Por lo tanto, no nos ha de sorprender que los primeros esfuerzos registrados por el ser humano para reunir sistemáticamente el conocimiento sobre el movimiento de los cuerpos procedan de la antigua Grecia. En la filosofía natural establecida por Aristóteles (384–322 a.C.), las explicaciones de los fenómenos físicos se deducían de hipótesis sobre el mundo y no de la experimentación. Por ejemplo, una hipótesis fundamental afirmaba que toda sustancia tenía un “lugar natural” en el universo. Se estableció que el movimiento era el resultado del intento de una sustancia de alcanzar su lugar natural. El acuerdo entre las deducciones de la física aristotélica y los movimientos observados en el universo físico, y la falta de una tradición experimental que derrocara la física antigua, hizo que el punto de vista de los griegos fuera aceptado durante casi dos mil años. Fue el científico italiano Galileo Galilei (1564–1642) quien, con sus brillantes experimentos sobre el movimiento, estableció para siempre la absoluta necesidad de la experimentación en la física e inició la desintegración de la física de Aristóteles. Unos cien años después, Isaac Newton generalizó los resultados experimentales de Galileo en sus tres leyes fundamentales del movimiento, y el reino de la filosofía natural de Aristóteles se extinguió.

Durante los siguientes doscientos años la experimentación aportó innumerables descubrimientos y surgieron nuevas preguntas. Se descubrieron los fenómenos térmicos y eléctricos, y algunos relacionados con la expansión y la compresión de los gases. Estos descubrimientos y las nuevas preguntas que planteaban inspiraron el desarrollo de nuevos modelos para su explicación. A finales del siglo XIX, las leyes de Newton referentes a los movimientos de los sistemas mecánicos se asociaron a las igualmente impresionantes leyes de James Maxwell, James Joule, Sadi Carnot y otros científicos, para describir el electromagnetismo y la termodinámica. Los temas que ocuparon a los físicos durante la última parte del siglo XIX —mecánica, luz, calor, sonido, electricidad y magnetismo— constituyen lo que se denomina *física clásica*. Dado que necesitamos la física clásica para comprender el mundo macroscópico donde vivimos, le dedicaremos las partes I a V de este libro.

El notable éxito alcanzado por la física clásica llevó a muchos científicos al convencimiento de que la descripción del universo físico se había completado. Sin embargo, el descubrimiento de los rayos X realizado por Wilhelm Roentgen en 1895 y el de la radiactividad por Antoine Becquerel y Marie y Pierre Curie poco

después parecían estar fuera del marco de la física clásica. La teoría de la relatividad especial propuesta por Albert Einstein en 1905 contradecía las ideas de espacio y tiempo de Galileo y Newton. En el mismo año, Einstein sugirió que la energía luminosa estaba cuantizada; es decir, que la luz se propaga en paquetes discretos de energía y no en forma ondulatoria y continua como suponía la física clásica. La generalización de esta idea a la cuantización de todos los tipos de energía es un concepto fundamental de la mecánica cuántica, con sorprendentes e importantes consecuencias. La aplicación de la relatividad especial y, particularmente, la teoría cuántica a sistemas microscópicos, tales como átomos, moléculas y núcleos, ha conducido a una comprensión detallada de sólidos, líquidos y gases, y constituye lo que generalmente se denomina *física moderna*, a la que dedicamos la parte VI de este texto.

Comenzaremos nuestro estudio de la física con los temas clásicos. Sin embargo, de vez en cuando elevaremos nuestra mirada para analizar la relación entre la física clásica y la física moderna. Así, por ejemplo, en el capítulo 2 dedicaremos un espacio a las velocidades próximas a la de la luz, atravesando brevemente el universo relativista imaginado primeramente por Einstein. Igualmente, después de abordar la conservación de la energía en el capítulo 7, trataremos de la cuantización de la energía y de la famosa relación de Einstein entre la masa y la energía, $E = mc^2$. Unos capítulos más adelante, en el capítulo R, estudiaremos la naturaleza del espacio y del tiempo, tal como fue desvelada por Einstein en 1905.

1.2 UNIDADES

Las leyes de la Física expresan relaciones entre magnitudes físicas. Las **magnitudes físicas** son números que se obtienen a partir de medir fenómenos físicos. Por ejemplo, las páginas que ocupa este libro, el tiempo que se necesita para leer un párrafo o la temperatura de la clase son magnitudes físicas.

La medida de toda magnitud física exige compararla con cierto valor unitario de la misma. Así, para medir la distancia entre dos puntos, la comparamos con una unidad estándar de distancia tal como el metro. La afirmación de que una cierta distancia es de 25 metros significa que equivale a 25 veces la longitud de la unidad metro; es decir, una regla métrica patrón se ajusta 25 veces en dicha distancia. Es importante añadir la unidad metros junto con el número 25 al expresar una distancia debido a que existen otras unidades de longitud de uso común. Decir que una distancia es 25 carece de significado. Toda magnitud física debe expresarse con una cifra y una unidad.

Algunas de las magnitudes físicas más básicas, como el tiempo, la distancia y la masa, se definen mediante los procesos que las miden. Una magnitud física se define frecuentemente de **forma operacional**, es decir, de una forma que define la magnitud física mediante el procedimiento que debe realizarse para medirla. Otras magnitudes físicas se definen haciendo explícito el procedimiento de cálculo a partir de las magnitudes fundamentales. La velocidad de un cuerpo, por ejemplo, se calcula dividiendo la distancia por el tiempo invertido en recorrerla. Muchas de las magnitudes físicas que se estudiarán, como la velocidad, la fuerza, el momento, el trabajo, la energía y la potencia, pueden expresarse en función de tres magnitudes fundamentales: la longitud, el tiempo y la masa. En consecuencia, basta con pocas magnitudes básicas para poder expresar todas las demás magnitudes físicas. La elección de las unidades estándar para expresar estas magnitudes fundamentales determina un sistema de unidades.

EL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

En física es importante usar un conjunto consistente de unidades. En el año 1960 un comité internacional estableció un conjunto estándar para la comunidad científica, denominado SI (a partir de *Système International*). En este sistema hay siete magnitudes fundamentales: longitud, masa, tiempo, intensidad eléctrica, tempera-

! Cuando se usa una cifra para determinar una magnitud física, el número debe ir acompañado siempre de una unidad.



El reloj de agua usado para medir intervalos de tiempo durante el siglo XIII. (The Granger Collection.)

tura termodinámica, cantidad de sustancia e intensidad luminosa. Cada magnitud fundamental tiene su unidad. Para el tiempo es el segundo, para la longitud el metro y para la masa el kilogramo. Más adelante, cuando estudiemos la termodinámica y la electricidad, necesitaremos usar la unidad fundamental en el SI para la temperatura (el kelvin, K), para la cantidad de sustancia (el mol) y para la intensidad de corriente eléctrica (el ampere, A). La séptima unidad fundamental es la candela (cd) que determina la intensidad luminosa, aunque no tendremos ocasión de utilizarla en este libro. Las definiciones completas de las unidades del SI se dan en el Apéndice A donde se incluyen, además, otras unidades que se usan habitualmente en función de las unidades fundamentales.

Tiempo La unidad de tiempo, el **segundo** (s), se definió originalmente en función de la rotación de la Tierra, de modo que correspondía a $(1/60)(1/60)(1/24)$ del día solar medio. Sin embargo, los científicos han advertido que el periodo de rotación de la Tierra varía continuamente. Actualmente, el segundo se define en función de una frecuencia característica asociada con el átomo de cesio. Todos los átomos, después de absorber energía, emiten luz con longitudes de onda y frecuencias características del elemento considerado. Existe una frecuencia y una longitud de onda particulares asociadas a cada transición energética dentro del átomo de un elemento y todas las experiencias manifiestan que estas magnitudes son constantes. El segundo se define de modo que la frecuencia de la luz emitida en una determinada transición del cesio es de 9 192 631 770 por segundo.

Longitud La unidad patrón de longitud es el **metro** (m), que estaba definida originalmente de modo que la distancia entre el Ecuador y el polo Norte a lo largo del meridiano que pasa por París fuese igual a diez millones de metros (figura 1.1). La distancia resultó difícil de medir con exactitud. Por lo tanto, en 1899 se definió como la distancia comprendida entre dos rayas grabadas sobre una barra de una aleación de platino e iridio que se guarda a una temperatura determinada. Con el tiempo, también se vio que la precisión de este estándar era insuficiente y se adoptaron nuevas definiciones del metro patrón. Actualmente, la definición del metro utiliza la velocidad de la luz en el vacío, que se define como 299 792 458 m/s. El metro, por tanto, es la distancia que recorre la luz en el vacío durante $1/299\,792\,458$ segundos. Con estas definiciones, las unidades de longitud y de tiempo son accesibles a cualquier laboratorio del mundo.

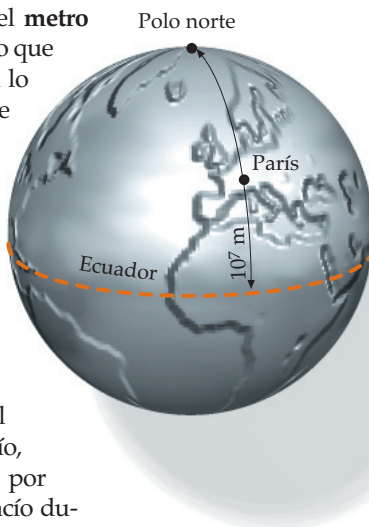
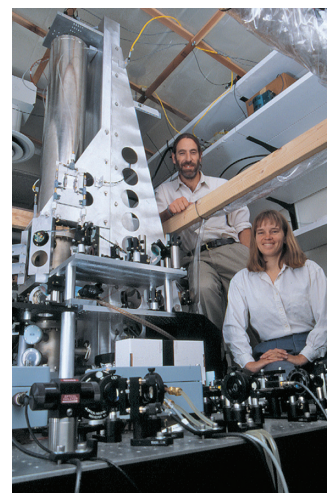


FIGURA 1.1 El patrón de longitud, el metro, se escogió originalmente de modo que la distancia del Ecuador al polo Norte a lo largo del meridiano que pasa por París fuese 10^7 m.

Masa La unidad de masa, el **kilogramo** (kg), se definió como la masa de un litro de agua a 4°C . (El volumen de un litro es el mismo que el de un cubo de 10 cm de arista.) Al igual que los patrones de tiempo y de longitud, la definición de kilogramo ha cambiado, y ahora se define como la masa de un cilindro de una aleación específica de platino e iridio. Este cilindro, denominado masa patrón, se conserva en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas en Sèvres, Francia. Un duplicado se guarda en el National Institute of Standards and Technology (NIST) en Gaithersburg, Maryland (EE.UU.). Estudiaremos con más detalle el concepto de masa en el capítulo 4. Como veremos, el peso de un objeto en un punto determinado de la Tierra es proporcional a su masa. Así, las masas de tamaño ordinario pueden compararse a partir de su peso.



La masa patrón es la masa de un cilindro de una aleación específica de iridio y platino que está guardado en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas en Sèvres, Francia. (© BIPM; www.bipm.org.)



Reloj de una fuente de cesio junto a los diseñadores del prototipo, Steve Jefferts y Dawn Meekhof. (© 1999 Geoffrey Wheeler.)

Tabla 1.1

Prefijos de las potencias de 10*

Múltiplo	Prefijo	Abreviatura
10 ¹⁸	exa	E
10 ¹⁵	peta	P
10 ¹²	tera	T
10 ⁹	giga	G
10 ⁶	mega	M
10 ³	kilo	k
10 ²	hecto	h
10 ¹	deca	da
10 ⁻¹	deci	d
10 ⁻²	centi	c
10 ⁻³	mili	m
10 ⁻⁶	micro	μ
10 ⁻⁹	nano	n
10 ⁻¹²	pico	p
10 ⁻¹⁵	femto	f
10 ⁻¹⁸	atto	a

* Los prefijos hecto (h), deca (da) y deci (d) no son múltiplos de 10³ ó 10⁻³ y se utilizan con poca frecuencia. El otro prefijo que no es múltiplo de 10³ ó 10⁻³ es centi (c). Los prefijos que se usan con más frecuencia en este libro se escriben en rojo. Obsérvese que todos los símbolos de prefijos múltiplos de 10⁶ y superiores se escriben en mayúsculas; las demás se escriben con minúsculas.

PREFIJOS

Muchas veces es necesario trabajar con medidas que son mucho más pequeñas o mucho mayores que la unidad estándar del SI. En estas situaciones, se pueden usar otras unidades que son múltiplos o submúltiplos (potencias de 10) de las unidades SI estándar. Estas unidades se expresan mediante un prefijo como, por ejemplo, el prefijo “kilo” que significa 1000, o 10³, o el prefijo “micro” que significa 0,000 001, o 10⁻⁶. En la tabla 1.1 se relacionan los prefijos de los múltiplos y submúltiplos más corrientes de las unidades del SI. Los prefijos pueden aplicarse a cualquier unidad del SI; por ejemplo, 0,001 segundos es un milisegundo (ms); 1 000 000 watts es un megawatt (MW).

PROBLEMA PRÁCTICO 1.1

Use los prefijos para describir: (a) el retraso de la señal al propagarse por el cable de la televisión por cable que es de 0,000 000 3 segundos o (b) la longitud de la circunferencia de un meridiano terrestre que es de 40 000 000 metros.

OTROS SISTEMAS DE UNIDADES

Además del SI, en determinadas circunstancias se usan otros sistemas de unidades. Uno de estos sistemas es el *sistema cgs*, basado en el centímetro, el gramo y el segundo. Otras unidades cgs son la dina (unidad de fuerza) y el erg (unidad de energía). Existen otros sistemas de unidades como el sistema técnico inglés utilizado en los EE.UU. y otros países de habla inglesa, en el que se toma el pie como unidad de longitud, el segundo como unidad de tiempo y la libra como unidad funda-

mental de fuerza. En el capítulo 4, veremos que la masa es una elección mejor que la fuerza como unidad fundamental, por tratarse de una propiedad intrínseca de un objeto que es independiente de su localización. Actualmente, el sistema técnico inglés se define en base a las unidades del SI.

1.3 CONVERSIÓN DE UNIDADES

Cuando se usan distintos sistemas de unidades es importante saber cómo convertir magnitudes expresadas en una unidad de un sistema en unidades de otro sistema. Cuando estas magnitudes se suman, se multiplican o se dividen en una ecuación algebraica, las unidades pueden tratarse como cualquier otra magnitud algebraica. Por ejemplo, supongamos que deseamos hallar la distancia recorrida en 3 horas (h) por un coche que se mueve con una velocidad constante de 80 kilómetros por hora (km/h). La distancia x es precisamente la velocidad v multiplicada por el tiempo t :

$$x = vt = \frac{80 \text{ km}}{\text{h}} \times 3 \text{ h} = 240 \text{ km}$$

Eliminamos la unidad de tiempo, la hora, igual que haríamos con cualquier otra magnitud algebraica para obtener la distancia en la unidad de longitud correspondiente, el kilómetro. Este método permite fácilmente pasar de una unidad de distancia a otra. A continuación, supongamos que queremos convertir los kilómetros (km) en millas (mi). Teniendo en cuenta que $1 \text{ mi} = 1,609 \text{ km}$ (véase el apéndice A). Si dividimos los dos miembros de esta igualdad por 1,609 km se obtiene

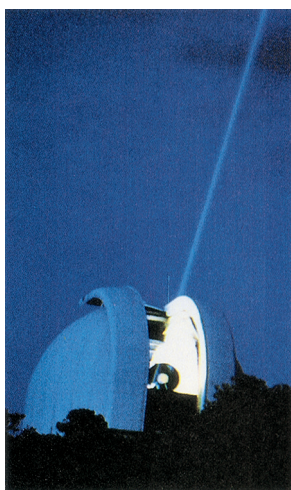
$$\frac{1 \text{ mi}}{1,609 \text{ km}} = 1$$

Obsérvese que el factor anterior es una fracción igual a 1. El factor $(1 \text{ mi})/(1,609 \text{ km})$ se denomina **factor de conversión**. Todos los factores de conversión tienen el valor de 1 y se utilizan para pasar una magnitud expresada en una unidad de medida a su equivalente en otra unidad de medida.

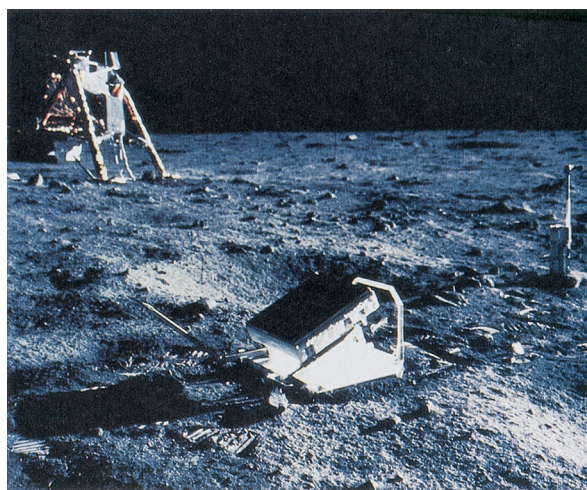
$$240 \text{ km} = 240 \cancel{\text{ km}} \times \frac{1 \text{ mi}}{1,609 \cancel{\text{ km}}} = 149 \text{ mi}$$

Escribiendo de forma explícita las unidades, no es necesario pensar si hay que multiplicar o dividir por 1,609 para pasar de kilómetros a millas, ya que las unidades indican si hemos escogido el factor correcto o el incorrecto.

! Si las unidades de una cantidad y el factor de conversión no se simplifican para dar las unidades deseadas, significa que la conversión no se ha realizado correctamente.



(a)



(b)

(a) Hazes de láser emitidos desde el Observatorio Macdonald para medir la distancia hasta la Luna. Esta distancia se mide con un error de pocos centímetros midiendo el tiempo transcurrido en el viaje de ida y vuelta del rayo láser a la Luna después de reflejarse en un espejo (b) allí emplazado por los astronautas del Apolo 14. (a, McDonald Observatory; b, Bruce Coleman).

Ejemplo 1.1 Uso de los factores de conversión

Un empleado de una empresa con sede en Estados Unidos ha de viajar, por encargo de su empresa, a un país donde las señales de tráfico muestran la distancia en kilómetros y los velocímetros de los coches están calibrados en kilómetros por hora. Si con su vehículo viaja a 90 km por hora, ¿a cuánto equivale su velocidad expresada en metros por segundo y en millas por hora?

PLANTEAMIENTO Utilizaremos el hecho de que $1000 \text{ m} = 1 \text{ km}$, $60 \text{ s} = 1 \text{ min}$ y $60 \text{ min} = 1 \text{ h}$ para convertir los kilómetros por hora en metros por segundo. Se multiplica la magnitud 90 km/h por una serie de factores de conversión de valor 1 de modo que el valor de la velocidad no varía. Para convertir la velocidad en millas por hora, se utiliza el factor de conversión $(1 \text{ mi})/(1,609 \text{ km}) = 1$.

SOLUCIÓN

1. Multiplicar 90 km/h por los factores de conversión que transforman los kilómetros en metros y las horas en segundos:

$$\frac{90 \text{ km}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = \boxed{25 \text{ m/s}}$$

2. Multiplicar 90 km/h por $1 \text{ mi}/1,61 \text{ km}$:

$$\frac{90 \text{ km}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ mi}}{1,609 \text{ km}} = \boxed{56 \text{ mi/h}}$$

COMPROBACIÓN Verificar que las unidades, al final de cada paso, son las correctas. Si no se han tenido en cuenta los factores de conversión de forma correcta, por ejemplo si se multiplica por $1 \text{ km}/1000 \text{ m}$ en vez de por $1000 \text{ m}/1 \text{ km}$, las unidades al final no son las correctas.

OBSERVACIÓN El primer paso puede simplificarse sustituyendo $1 \text{ h}/3600 \text{ s}$ por $1 \text{ h}/3,6 \text{ ks}$ y eliminando los prefijos en ks y km. Es decir

$$\frac{90 \text{ km}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3,6 \text{ ks}} = \boxed{25 \text{ m/s}}$$

Eliminar estos prefijos equivale a dividir el numerador y el denominador por 1000.

Puede resultar útil memorizar los resultados de este ejemplo, ya que puede facilitar la conversión de velocidades habituales rápidamente

$$25 \text{ m/s} = 90 \text{ km/h} \approx (60 \text{ mi/h})$$

Conocer estos valores puede ser útil para convertir de forma más rápida las velocidades a unidades con las que esté más familiarizado.



(Eunice Harris/Photo Researchers.)

1.4 DIMENSIONES DE LAS MAGNITUDES FÍSICAS

Dar un valor de una magnitud física comporta dar un número y la unidad en que está expresado. La unidad indica el estándar que se usa para la medida y la cifra nos muestra la comparación con una cantidad estándar. No obstante, para saber lo que se está midiendo hay que conocer la dimensión de la magnitud física. La longitud, el tiempo y la masa son dimensiones. La distancia entre dos objetos tiene dimensiones de longitud y expresamos esta relación como $[d] = L$, donde $[d]$ representa la dimensión de la distancia d y L es la dimensión de la longitud. Todas las dimensiones se representan con una letra mayúscula; así, T y M representan, respectivamente, las dimensiones del tiempo y de la masa. Las dimensiones de muchas magnitudes físicas pueden expresarse en función de estas tres dimensiones fundamentales. Por ejemplo, el área A de una superficie. Puesto que el área es el producto de dos longitudes, se dice que tiene dimensiones de longitud por longitud, o longitud al cuadrado, que suele escribirse $[A] = L^2$. En esta ecuación, $[A]$ representa la dimensión de A , y L es la dimensión de la longitud. La velocidad tiene dimensiones de longitud dividida por tiempo o L/T . Las dimensiones de otras magnitudes, tales como fuerza o energía, se escriben en función de las magnitudes fundamentales longitud, tiempo y masa. La suma de dos magnitudes físicas sólo tiene sentido si ambas tienen las mismas di-

mensiones. Por ejemplo, no podemos sumar un área a una velocidad y obtener una suma que signifique algo. Si tenemos una ecuación como

A = B + C

las magnitudes A, B y C deben tener las tres las mismas dimensiones. La suma de B y C exige que las dos magnitudes estén además expresadas en las mismas unidades. Por ejemplo, si B es un área de 500 cm² y C es 4 m², debemos convertir B en m² o C en cm² para hallar la suma de las dos áreas.

A veces pueden detectarse errores en un cálculo comprobando las dimensiones y unidades de las magnitudes que intervienen en él. Supóngase, por ejemplo, que estamos utilizando erróneamente la fórmula A = 2πr para el área de un círculo. Veremos inmediatamente que esto no puede ser correcto, ya que 2πr, tiene dimensiones de longitud, mientras que el área tiene dimensiones de longitud al cuadrado.

! La coherencia dimensional es una condición necesaria, pero no suficiente, para que una ecuación sea correcta. Al expresar el área de un círculo el análisis dimensional no indicará si la expresión correcta es πr² o 2πr². (La expresión correcta es πr².)

Ejemplo 1.2 Las dimensiones físicas de la presión

La presión de un fluido en movimiento depende de su densidad ρ y de su velocidad v. Determinar una combinación sencilla de densidad y velocidad que nos dé las dimensiones correctas de la presión.

PLANTEAMIENTO En la tabla 1.2 se ve que la presión tiene dimensiones de M/(LT²), la densidad es M/L³ y la velocidad L/T. Además, se observa que tanto la presión como la densidad tienen unidades de masa en el numerador, mientras que la velocidad no contiene la dimensión M. Por lo tanto, tenemos que multiplicar o dividir dimensiones de densidad y dimensiones de velocidad para obtener la masa en las dimensiones de la presión. Para determinar con exactitud la relación comenzaremos dividiendo las unidades de presión por las de densidad e inspeccionemos el resultado con respecto a las dimensiones de la velocidad.

SOLUCIÓN

1. Se dividen las unidades de presión por las de densidad:

$$\frac{[P]}{[\rho]} = \frac{M/LT^2}{M/L^3} = \frac{L^2}{T^2}$$
2. El resultado tiene dimensiones de v². Las dimensiones de la presión son las mismas que las de densidad multiplicadas por las de velocidad al cuadrado:

$$[P] = [\rho][v^2] = \frac{M}{L^3} \times \left(\frac{L}{T}\right)^2 = \frac{M}{L^3} \times \frac{L^2}{T^2} = \boxed{\frac{M}{LT^2}}$$

COMPROBACIÓN Dividir las dimensiones de la presión por las dimensiones de la velocidad al cuadrado y el resultado tiene dimensiones de densidad [P]/[v²] = (M/LT²)/(L²/T²) = M/L³ = [ρ].

1.5 CIFRAS SIGNIFICATIVAS Y ÓRDENES DE MAGNITUD

Muchos de los números que se manejan en la ciencia son el resultado de una medida y, por lo tanto, sólo se conocen con cierta incertidumbre experimental. La magnitud de esta incertidumbre, que depende de la habilidad del científico y del aparato utilizado, frecuentemente sólo puede estimarse. Se suele dar una indicación aproximada de la incertidumbre de una medida mediante el número de dígitos que se utilizan. Por ejemplo, si decimos que la longitud de una mesa es 2,50 m, queremos indicar que probablemente su longitud se encuentra entre 2,495 m y 2,505 m; es decir, conocemos su longitud con una exactitud aproximada de ±0,005 m = ±0,5 cm de la longitud establecida. Si utilizamos un metro en el que se puede apreciar el milímetro y medimos esta misma longitud de la mesa cuidadosamente, podemos estimar que hemos medido la longitud con una precisión de ±0,5 mm, en lugar de ±0,5 cm. Indicamos esta precisión utilizando cuatro dígitos, como por ejemplo, 2,503 m, para expresar la longitud. Recibe el nombre de **cifra significativa** todo dígito (exceptuando el cero cuando

Tabla 1.2 Dimensiones de las magnitudes físicas

Magnitud	Símbolo	Dimensión
Área	A	L²
Volumen	V	L³
Velocidad	v	L/T
Aceleración	a	L/T²
Fuerza	F	ML/T²
Presión (F/A)	p	M/LT²
Densidad (M/V)	ρ	M/L³
Energía	E	ML²/T²
Potencia (E/T)	P	ML²/T³

se utiliza para situar el punto decimal) cuyo valor se conoce con seguridad. El número 2,50 tiene tres cifras significativas; 2,503 tiene cuatro. El número 0,00103 tiene tres cifras significativas. (Los tres primeros ceros no son cifras significativas, ya que simplemente sitúan la coma decimal.) En notación científica, este número se escribiría como $1,03 \times 10^{-3}$. Un error muy común entre los estudiantes, particularmente desde que se ha generalizado el uso de calculadoras de bolsillo, es arrastrar en el cálculo muchos más dígitos de los que en realidad se requieren.

Supongamos, por ejemplo, que medimos el área de un campo de juego circular midiendo el radio en pasos y utilizando la fórmula del área $A = \pi r^2$. Si estimamos que la longitud del radio es 8 m y utilizamos una calculadora de 10 dígitos para determinar el valor del área, obtenemos $\pi(8 \text{ m})^2 = 201,0619298 \text{ m}^2$. Los dígitos situados detrás del punto decimal no sólo dificultan el cálculo sino que inducen a confusión respecto a la exactitud con la que conocemos el área. Una regla general válida cuando se manejan diferentes números en una operación de multiplicación o división es:

El número de cifras significativas del resultado de una multiplicación o división no debe ser mayor que el menor número de cifras significativas de cualesquiera de los factores.

En el ejemplo anterior sólo se conoce una cifra significativa del radio; por lo tanto, sólo se conoce una cifra significativa del área. Esta se debe expresar como $2 \times 10^2 \text{ m}^2$, lo que implica que el área está comprendida entre 150 m^2 y 250 m^2 .

La precisión de la suma o resta de dos medidas depende de la precisión menor de estas medidas. Una regla general es:

El resultado de la suma o resta de dos números carece de cifras significativas más allá de la última cifra decimal en que ambos números originales tienen cifras significativas.



COMPROBACIÓN CONCEPTUAL 1.1

¿Cuántas cifras significativas tiene el número 0,010 457?

Los valores exactos tienen un número ilimitado de cifras significativas. Por ejemplo, un valor obtenido tras contar mesas no tiene incertidumbre, es un resultado exacto. Además, el factor de conversión $1 \text{ m}/100 \text{ cm}$ es un valor exacto porque 1 m es exactamente igual a 100 cm .

Cuando trabajamos con números con incertidumbres debemos asegurarnos de no incluir más dígitos de los que incluye la precisión de las medidas.

Ejemplo 1.3

Cifras significativas

Determinar la resta de 1,040 de 1,21342.

PLANTEAMIENTO El primer número, 1,040, tiene sólo tres cifras significativas tras la coma decimal, mientras que el segundo, 0,21342, tiene cinco. De acuerdo con la regla anterior, la suma sólo puede tener tres cifras significativas después de la coma decimal.

SOLUCIÓN

Restar los números manteniendo sólo 3 dígitos más allá de la coma decimal: $1,21342 - 1,040 = 0,17342 = \boxed{0,173}$

COMPROBACIÓN La respuesta no puede tener una precisión mayor que la cifra menos precisa de la operación, es decir, 1,040 y, por lo tanto, la respuesta tiene, más allá de la coma, tres cifras significativas.

OBSERVACIÓN En este ejemplo, los números tienen cuatro y seis cifras significativas, pero la diferencia tiene sólo tres. La mayoría de los ejemplos y ejercicios de este libro tienen dos, tres o, excepcionalmente, cuatro cifras significativas.

PROBLEMA PRÁCTICO 1.2 Aplicar la regla apropiada para determinar el número de cifras significativas en las operaciones: (a) $1,58 \times 0,03$, (b) $1,4 + 2,53$, (c) $2,456 - 2,453$.

NOTACIÓN CIENTÍFICA

El manejo de números muy grandes o muy pequeños se simplifica utilizando la notación científica. En esta notación, el número se escribe como el producto de un número entre 1 y 10 y una potencia de 10, por ejemplo $10^2 (= 100)$ ó $10^3 (= 1000)$. Por ejemplo, el número 12 000 000 se escribe $1,2 \times 10^7$; la distancia entre la Tierra y el Sol, 150 000 000 000 m, aproximadamente, se escribe $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$, donde hemos supuesto que ninguno de los ceros que sigue al cinco es una cifra significativa. Si alguno de los ceros que sigue al cinco fuera significativo escribiríamos el número

como $1,500 \times 10^{11}$ m. El número 11 en 10^{11} se llama **exponente**. Cuando los números son menores que 1, el exponente es negativo. Por ejemplo, $0,1 = 10^{-1}$, y $0,0001 = 10^{-4}$. El diámetro de un virus es, aproximadamente, igual a $0,000\,000\,01$ m $= 1 \times 10^{-8}$ m. Observemos que al escribir los números de esta forma se identifican claramente las cifras significativas. Por ejemplo, en $1,5 \times 10^{11}$ m hay sólo dos cifras significativas (el 1 y el 5).

PROBLEMA PRÁCTICO 1.3

Aplicar la regla apropiada para las cifras significativas y calcular $2,34 \times 10^2 + 4,93$.

Utilice la siguiente estrategia de resolución de problemas para hacer cálculos con notación científica.

ESTRATEGIA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Notación científica

PLANTEAMIENTO Si las cifras de un determinado cálculo son muy grandes o muy pequeñas, es conveniente escribirlas en notación científica. Esta notación permite determinar fácilmente el número de cifras significativas que tiene una cantidad y hace más fácil llevar a cabo los cálculos.

SOLUCIÓN Use las siguientes recomendaciones para resolver problemas con notación científica.

1. Al multiplicar dos números con notación científica, los exponentes se suman; en la división, se restan. Estas reglas pueden comprobarse fácilmente en los siguientes ejemplos:

Ejemplo: $10^2 \times 10^3 = 100 \times 1000 = 100\,000 = 10^5$

Ejemplo: $\frac{10^2}{10^3} = \frac{100}{1000} = \frac{1}{10} = 10^{-1}$

2. En la notación científica, 10^0 se define como 1. En efecto, dividamos por ejemplo 1000 por sí mismo. Resulta

Ejemplo: $\frac{1000}{1000} = \frac{10^3}{10^3} = 10^{3-3} = 10^0 = 1$

3. Vaya con cuidado al sumar o restar números en notación científica si los exponentes no coinciden

Ejemplo: $(1,200 \times 10^2) + (8 \times 10^{-1}) = 120,0 + 0,8 = 120,8$

4. Para hacer el cálculo anterior sin convertir las cifras a la forma decimal hay que reescribirlas de forma que tengan el mismo exponente

Ejemplo: $(1200 \times 10^{-1}) + (8 \times 10^{-1}) = 1208 \times 10^{-1} = 120,8$

5. Cuando se eleva una potencia a otra potencia los exponentes se multiplican

Ejemplo: $(10^2)^4 = 10^2 \times 10^2 \times 10^2 \times 10^2 = 10^8$

COMPROBACIÓN Al convertir a notación científica cifras inferiores a uno asegúrese que el exponente sea negativo. Compruebe con atención cuándo los exponentes se suman, se restan o se multiplican, ya que si se realiza la operación equivocada se obtiene una respuesta incorrecta a nivel de potencias de 10.

OBSERVACIÓN Al resolver un problema evite introducir en la calculadora resultados intermedios; es preferible conservar estos resultados en la memoria de la calculadora. Cuando se tengan que introducir los resultados intermedios en la calculadora, añada uno o dos dígitos más (no significativos). Esta técnica sirve para minimizar errores de redondeo.



Véase el
Apéndice de matemáticas
para más información sobre

Potencias

! Todos los exponentes son adimensionales y no tienen unidades.

Ejemplo 1.4 ¿Cuánta agua?

Un litro (L) es el volumen de un cubo de $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$. Si una persona bebe 1 L de agua, ¿qué volumen en centímetros cúbicos y en metros cúbicos ocupará este líquido en su estómago?

PLANTEAMIENTO El volumen de un cubo de lado ℓ es $V = \ell^3$. El volumen en cm^3 se determina directamente a partir de $\ell = 10\text{ cm}$. Para determinar el volumen en m^3 hay que transformar los cm^3 en m^3 utilizando el factor de conversión $1\text{ cm} = 10^{-2}\text{ m}$.

SOLUCIÓN

1. Calcular el volumen en cm^3 :

$$V = \ell^3 = (10\text{ cm})^3 = 1000\text{ cm}^3 = \boxed{10^3\text{ cm}^3}$$

2. Convertir a m^3 :

$$\begin{aligned} 10^3\text{ cm}^3 &= 10^3\text{ cm}^3 \times \left(\frac{10^{-2}\text{ m}}{1\text{ cm}}\right)^3 \\ &= 10^3\text{ cm}^3 \times \frac{10^{-6}\text{ m}^3}{1\text{ cm}^3} = \boxed{10^{-3}\text{ m}^3} \end{aligned}$$

El factor de conversión (igual a 1) puede elevarse a la tercera potencia sin modificar su valor, permitiéndonos cancelar las unidades implicadas.

COMPROBACIÓN Obsérvese que las respuestas se dan en m^3 y en cm^3 . Estas respuestas son consistentes con el hecho de que el volumen es una longitud elevada al cubo. Obsérvese también que 10^3 es mayor que 10^{-3} , lo cual es consistente con que el metro es mayor que el centímetro.

Ejemplo 1.5 Recuento de átomos

En 12 g de carbono existen $N_A = 6,02 \times 10^{23}$ átomos de esta sustancia (número de Avogadro). Si contáramos un átomo por segundo, ¿cuánto tiempo tardaríamos en contar los átomos de 1 g de carbono? Expresar el resultado en años.

PLANTEAMIENTO Necesitamos determinar el número total de átomos, N , que hemos de contar y tener en cuenta que el número contado es igual a la tasa de recuento R multiplicada por el tiempo t .

SOLUCIÓN

1. El tiempo es igual al número total de átomos N dividido por la tasa de recuento $R = 1\text{ átomo/s}$:

$$N = Rt$$

2. Determinar el número de átomos de carbono en 1 g:

$$N = \frac{6,02 \times 10^{23}\text{ átomos}}{12,0\text{ g}} = 5,02 \times 10^{22}\text{ átomos}$$

3. Calcular el número de segundos necesarios para contar los átomos si contamos 1 por segundo:

$$t = \frac{N}{R} = \frac{5,02 \times 10^{22}\text{ átomos}}{1\text{ átomo/s}} = 5,02 \times 10^{22}\text{ s}$$

4. Calcular el número de segundos que contiene un año:

$$n = \frac{365\text{ d}}{1,00\text{ a}} \times \frac{24\text{ h}}{1\text{ d}} \times \frac{3600\text{ s}}{1\text{ h}} = 3,15 \times 10^7\text{ s/a}$$

5. Utilizar el factor de conversión $3,15 \times 10^7\text{ s/a}$ (una magnitud que conviene recordar) y convertir la respuesta del paso 3 en años:

$$\begin{aligned} t &= 5,02 \times 10^{22}\text{ s} \times \frac{1,00\text{ a}}{3,15 \times 10^7\text{ s}} \\ &= \frac{5,02}{3,15} \times 10^{22-7}\text{ a} = \boxed{1,59 \times 10^{15}\text{ a}} \end{aligned}$$

COMPROBACIÓN La respuesta puede verificarse estimando que si se necesitan aproximadamente 10^{22} segundos para contar los átomos en un gramo de carbono y un año son unos 10^7 segundos, se necesitarían $10^{22}/10^7 = 10^{15}$ años.

OBSERVACIÓN El tiempo requerido es, aproximadamente, 100 000 veces la edad del universo.

PROBLEMA PRÁCTICO 1.4 Si dividiéramos esta tarea de modo que cada persona contase átomos diferentes, ¿cuántos años tardaría un equipo formado por 5000 millones (5×10^9) de personas para contar los átomos que contiene 1 g de carbono?

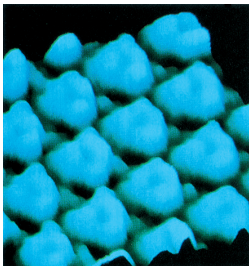
Tabla 1.3 El universo por órdenes de magnitud

Tamaño o distancia	(m)	Masa	(kg)	Intervalo de tiempo	(s)
Protón	10^{-15}	Electrón	10^{-30}	Tiempo invertido por la luz en atravesar un núcleo	10^{-23}
Átomo	10^{-10}	Protón	10^{-27}	Periodo de la radiación de luz visible	10^{-15}
Virus	10^{-7}	Aminoácido	10^{-25}	Periodo de las microondas	10^{-10}
Ameba gigante	10^{-4}	Hemoglobina	10^{-22}	Periodo de semidesintegración de un muón	10^{-6}
Nuez	10^{-2}	Virus de la gripe	10^{-19}	Periodo del sonido audible más alto	10^{-4}
Ser humano	10^0	Ameba gigante	10^{-8}	Periodo de las pulsaciones del corazón humano	10^0
Montaña más alta	10^4	Gota de lluvia	10^{-6}	Periodo de semidesintegración de un neutrón libre	10^3
Tierra	10^7	Hormiga	10^{-4}	Periodo de rotación terrestre	10^3
Sol	10^9	Ser humano	10^2	Periodo de revolución terrestre	
Distancia Tierra-Sol	10^{11}	Cohete espacial Saturno 5	10^6	alrededor del Sol	10^7
Sistema solar	10^{13}	Pirámide	10^{10}	Vida media de un ser humano	10^9
Distancia de la estrella más cercana	10^{16}	Tierra	10^{24}	Periodo de semidesintegración del plutonio 239	10^{12}
		Sol	10^{30}	Vida media de una cordillera	10^{15}
Galaxia Vía Láctea	10^{21}	Galaxia Vía Láctea	10^{41}	Edad de la Tierra	10^{17}
Universo visible	10^{26}	Universo	10^{52}	Edad del universo	10^{18}

ORDEN DE MAGNITUD

Cuando se realizan cálculos aproximados o comparaciones se suele redondear un número hasta la potencia de 10 más próxima. Tal número recibe el nombre de **orden de magnitud**. Por ejemplo, la altura de un pequeño insecto, digamos un hormiga, puede ser 8×10^{-4} m ó, aproximadamente, 10^{-3} m. Diremos que el orden de magnitud de la altura de una hormiga es de 10^{-3} m. De igual modo, como la altura de la mayoría de las personas se encuentra próxima a 2 m, podemos redondear este número y decir que el orden de magnitud de la altura de una persona es $h \sim 10^0$, donde el símbolo $\sim$ significa “es del orden de magnitud de”. Esto no quiere decir que la altura típica de una persona sea realmente de 1 m, sino que está más próxima a 1 m que a 10 m ó $10^{-1} = 0,1$ m. Podemos decir que una persona típica es tres órdenes de magnitud más alta que una hormiga típica, queriendo decir con esto que el cociente entre las alturas es, aproximadamente, igual a 10^3 (relación 1000 a 1). Un orden de magnitud no proporciona cifras que se conozcan con precisión; es decir, debemos considerar que no tiene cifras significativas. La tabla 1.3 especifica los valores de los órdenes de magnitud de algunas longitudes, masas y tiempos relacionados con la Física.

En muchos casos, el orden de magnitud de una cantidad puede estimarse mediante hipótesis razonables y cálculos simples. El físico Enrico Fermi era un maestro en el cálculo de respuestas aproximadas a cuestiones ingeniosas que parecían a primera vista imposibles de resolver por la limitada información disponible. El siguiente es un ejemplo de problema de Fermi.



Moléculas de benceno del orden de 10^{-10} m de diámetro, vistas mediante un microscopio electrónico de barrido. (IBM Research, Almaden Research Center.)



El diámetro de la galaxia Andrómeda es del orden de 10^{21} m. (Smithsonian Institution.)



Distancias familiares en nuestro mundo cotidiano. La altura de la muchacha es del orden de 10^0 m y la de la montaña de 10^4 m. (Kent and Donnan Dannon/Photo Researchers.)

Ejemplo 1.6

Desgaste de los neumáticos

¿Qué espesor de la banda de caucho de un neumático de automóvil se ha desgastado en un recorrido de 1 km?

PLANTEAMIENTO Supongamos que el espesor de la banda de un neumático nuevo es de 1 cm. Quizás varíe en un factor de 2, pero desde luego no es 1 mm, ni tampoco 10 cm. Como los neumáticos deben reemplazarse cada 60 000 km, podemos admitir que la banda está gastada completamente después de recorrer esta distancia, es decir, que su espesor disminuye a razón de 1 cm cada 60 000 km.

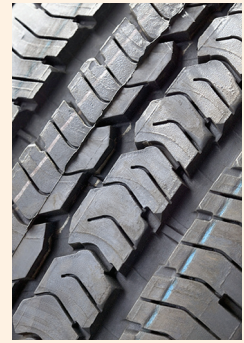
SOLUCIÓN

Utilizar la estimación de desgaste de 1 cm por cada 60 000 km de recorrido para calcular la disminución de espesor en 1 km:

$$\frac{\text{desgaste de 1 cm}}{60\,000 \text{ km recorrido}} = \frac{\text{desgaste de } 1,7 \times 10^{-5} \text{ cm}}{1 \text{ km recorrido}} \approx 2 \times 10^{-7} \text{ m de desgaste por km recorrido}$$

COMPROBACIÓN Si se multiplica $1,7 \times 10^{-5} \text{ cm/km}$ por 60 000 km se obtiene, aproximadamente, 1 cm, que es el espesor de la banda de un neumático nuevo.

OBSERVACIÓN El diámetro de los átomos es de unos $2 \times 10^{-10} \text{ m}$. Así, el grosor desgastado por cada kilómetro de recorrido es equivalente a 1000 diámetros atómicos.



(Corbis.)

Ejemplo 1.7

¿Cuántos granos de arena hay en una playa?

Póngalo en su contexto

Para evitar caer en la somnolencia durante una clase después de un día cargado de actividades, no hay nada mejor que este reto que propone un profesor de física a sus alumnos consistente en estimar cuántos granos de arena hay en una playa.

PLANTEAMIENTO Primero tenemos que plantearnos qué características asumimos que tiene la playa y su arena. Suponemos que la playa ocupa una zona de forma rectangular de 500 m de largo, 100 de ancho y que la arena tiene unos 3 m de profundidad. Una búsqueda intensa mediante Internet nos lleva a estimar que los granos de arena tienen diámetros que oscilan entre 0,04 mm y 2 mm, pero en nuestro problema consideramos que los granos de arena son esferas con un diámetro medio de 1 mm. Por otra parte, suponemos que los granos están tan juntos entre ellos, que el volumen del espacio entre ellos es despreciable comparado con el volumen de la arena.

SOLUCIÓN

1. El volumen V_B de la playa es igual al número N de granos por el volumen de un grano V_G :
2. Usando la fórmula del volumen de una esfera, se calcula el volumen de un grano de arena:
3. Se despeja el número de granos. En nuestro cálculo los números tienen una cifra significativa únicamente, por lo que la respuesta también viene expresada con esta precisión:

$$V_B = NV_G$$

$$V_G = \frac{4}{3} \pi R^3$$

$$V_B = NV_G = N \frac{4}{3} \pi R^3$$

por lo tanto

$$N = \frac{3V_B}{4\pi R^3} = \frac{3(500 \text{ m})(100 \text{ m})(3 \text{ m})}{4\pi(0,5 \times 10^{-3} \text{ m})^3} = 2,9 \times 10^{14} \approx 3 \times 10^{14}$$



(Corbis.)

COMPROBACIÓN Para comprobar la respuesta, divídase el volumen de la playa por el número de granos que se ha calculado. El resultado es $1,5 \times 10^5 \text{ m}^3 / 3 \times 10^{14} \text{ granos} = 5 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{grano}$. Este resultado coincide con el volumen estimado de un grano de arena o $\frac{4}{3} \pi (0,5 \times 10^{-3})^3$.

OBSERVACIÓN Una forma de determinar el volumen del espacio entre los granos consiste en llenar un recipiente de un litro con arena seca. Una vez lleno echar agua en el recipiente hasta que la arena esté saturada de agua. Si suponemos que con 100 cm^3 de agua la arena del recipiente se satura, el volumen real de la arena es de 900 cm^3 . Por lo tanto, hemos sobreestimado el número de granos de la playa. Teniendo en cuenta que la arena ocupa el 90% del volumen de su contenedor, en la playa hay un 90% de los granos calculados en el paso 3 de la solución del problema.

EJERCICIO PRÁCTICO 1.5 ¿Cuántos granos de arena hay en una playa que ocupa una zona de 2 km de longitud y de 500 m de anchura? Suponer que la arena ocupa un espesor de 3,00 m y que el diámetro medio de los granos de arena es de 1,0 mm.

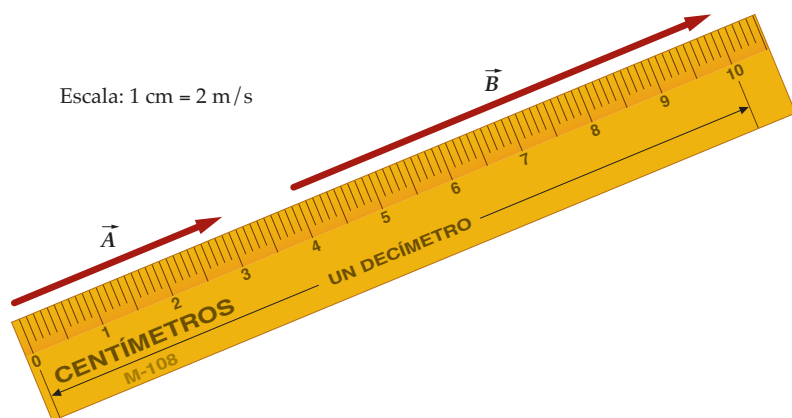


FIGURA 1.2 Los vectores velocidad $\vec{A}$ y $\vec{B}$ tienen módulos de 6 m/s y 12 m/s, respectivamente. Las flechas que los representan están dibujadas usando una escala de 1 cm = 2 m/s, por lo que las flechas tienen longitudes de 3 y 6 cm, respectivamente.

1.6 VECTORES

Si un objeto se mueve siguiendo una línea recta, su movimiento queda descrito por la distancia que recorre o por la velocidad con que lo hace, e indicando si lo hace de derecha a izquierda o de izquierda a derecha de un punto de referencia, el origen. Pero cuando seguimos el movimiento en dos o tres dimensiones de un objeto para indicar la dirección, necesitamos algo más que simplemente un signo. Las magnitudes que tienen módulo y dirección, como la velocidad, la aceleración y la fuerza se denominan **vectores**. Aquellas magnitudes que no tienen dirección asociada, como la masa, el volumen y el tiempo, se denominan **escalares**.

Gráficamente representamos un vector usando una flecha. La longitud de la flecha, dibujada a escala, indica el módulo de la magnitud vectorial. La dirección de la flecha indica la dirección de la magnitud vectorial. En la figura 1.2 se muestra, por ejemplo, la representación gráfica de dos vectores velocidad, en la que un vector tiene el módulo doble del otro. Designaremos los vectores con letras negritas, como en $\vec{A}$. El módulo de $\vec{A}$ se escribe $|\vec{A}|$, $\|\vec{A}\|$, o simplemente A . En los vectores de la figura 1.2, $A = |\vec{A}| = 6 \text{ m/s}$ y $B = |\vec{B}| = 12 \text{ m/s}$.

! Cuando se trabaja con vectores hay que incluir siempre una flecha sobre la letra para indicar que se trata de un vector. Una letra sin la flecha representa el módulo de la magnitud vectorial. Obsérvese que el módulo de un vector nunca puede ser negativo.

1.7 PROPIEDADES GENERALES DE LOS VECTORES

Al igual que las magnitudes escalares, los vectores pueden sumarse, sustraerse y multiplicarse. Sin embargo, la tarea de manipular vectores algebraicamente requiere también tener en consideración su dirección. En esta sección, se examinan algunas de las propiedades generales de los vectores y cómo se trabaja con ellos (la multiplicación de dos vectores se tendrá en cuenta en los capítulos 6 y 9). A lo largo de la mayor parte de esta sección se consideran vectores desplazamiento, es decir, los vectores que representan un cambio en la posición, porque son los vectores más básicos. No obstante, estas propiedades no son exclusivas de los vectores desplazamiento sino que se aplican a todos los vectores.

DEFINICIONES BÁSICAS

Si un objeto se mueve desde A a B, tal como se muestra en la figura 1.3a, representamos su movimiento mediante una flecha que va desde A a B. La longitud de la flecha representa la distancia entre los dos puntos y la dirección de la flecha representa la dirección de A a B. El vector desplazamiento es un segmento de línea recta que une la posición inicial A con la posición final B y que representa el cambio en

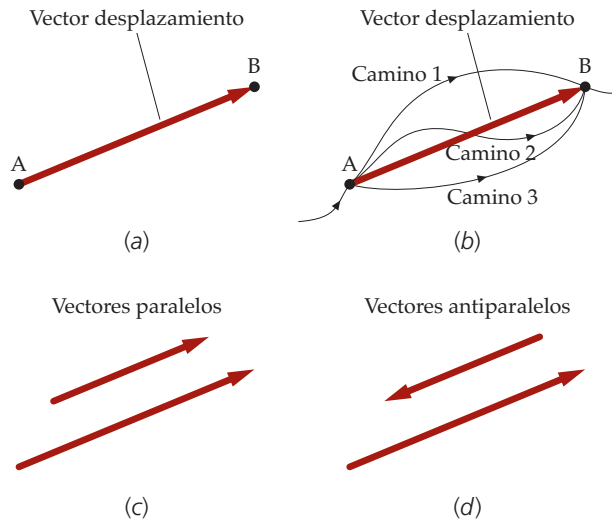


FIGURA 1.3 (a) Vector desplazamiento desde el punto A al punto B; (b) el mismo vector desplazamiento con tres caminos diferentes; (c) el mismo vector desplazamiento junto a un segundo vector desplazamiento paralelo pero de distinta longitud; (d) el mismo vector desplazamiento junto a un vector que es antiparalelo y que tiene distinta longitud.

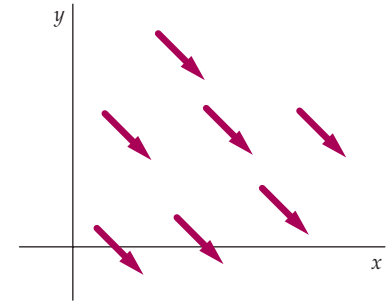


FIGURA 1.4 Los vectores son iguales si sus módulos y direcciones son los mismos. Todos los vectores de esta figura son iguales.

la posición de un objeto, aunque no representa el camino real que el objeto sigue. Por ejemplo, en la figura 1.3b, el mismo vector desplazamiento corresponde a los tres caminos distintos 1, 2 y 3 que unen el punto A con el B.

Si, tal como se muestra en la figura 1.3c, dos vectores desplazamiento tienen la misma dirección, son **paralelos**. Por el contrario, si tienen direcciones opuestas (figura 1.3d) son **antiparalelos**. Si dos vectores tienen el mismo módulo y la misma dirección se dice que son iguales. Gráficamente, esto significa que tienen la misma longitud y que son paralelos entre sí. Un vector puede dibujarse en distintos puntos siempre y cuando se dibuje con el módulo (la longitud) correcto y la dirección adecuada. Así, todos los vectores de la figura 1.4 son iguales. Si trasladamos o giramos el sistema de coordenadas, todos los vectores de la figura 1.4 permanecen iguales. Un *sistema de coordenadas* está formado por dos o tres ejes coordenados perpendiculares entre sí. Por tanto, un vector no depende del sistema de coordenadas utilizado para su representación (excepto los vectores de posición, que introduciremos en el capítulo 3).

SUMAY SUSTRACCIÓN DE VECTORES

Supongamos que vamos de excursión a un bosque y que la figura 1.5 muestra nuestra trayectoria cuando nos movemos desde el punto P_1 hasta un segundo punto P_2 y luego a un tercer punto P_3 . El desplazamiento de P_1 a P_2 viene representado por el vector $\vec{A}$ y el desplazamiento de P_2 a P_3 por $\vec{B}$. Obsérvese que el vector desplazamiento depende sólo de los puntos extremos y no de la trayectoria real que seguimos. El desplazamiento resultante de P_1 a P_3 , llamado $\vec{C}$ es la suma de los dos desplazamientos sucesivos $\vec{A}$ y $\vec{B}$:

$$\vec{C} = \vec{A} + \vec{B} \quad 1.1$$

La suma de los dos vectores se denomina suma, el **vector suma**, o la **resultante**.

El signo + en la ecuación 1.1 se refiere al proceso denominado adición de vectores. Determinamos la suma geoméricamente, ya que se tienen en cuenta tanto el módulo como la dirección de los vectores. Dos vectores desplazamiento se suman gráficamente situando el origen de uno en el extremo del otro (figura 1.6). El vector resultante se extiende desde el origen del primer vector al extremo final del segundo. Este método para la suma de vectores se denomina “**uno a continuación del otro**”.

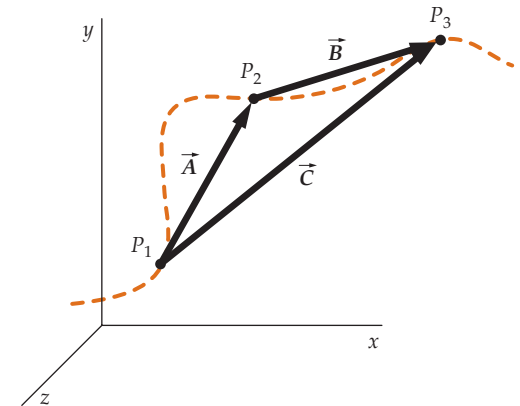


FIGURA 1.5

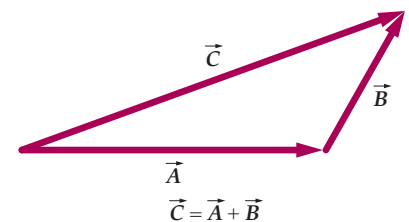


FIGURA 1.6 Método para la suma de vectores que consiste en situar los dos vectores uno a continuación del otro.

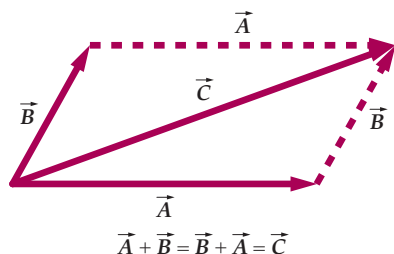


FIGURA 1.7 Método del paralelogramo para la suma de vectores.

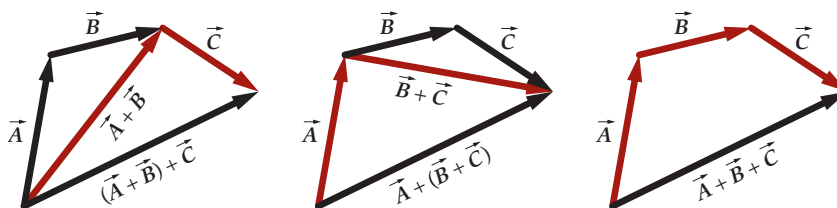


FIGURA 1.8 La suma de vectores es asociativa $(\vec{A} + \vec{B}) + \vec{C} = \vec{A} + (\vec{B} + \vec{C})$.

Una forma equivalente de sumar vectores es el llamado **método del paralelogramo**, que consiste en desplazar $\vec{B}$ hasta que coincida su origen con el de $\vec{A}$ (figura 1.7). La diagonal del paralelogramo formado por $\vec{A}$ y $\vec{B}$ es igual a $\vec{C}$. Como puede verse en la figura 1.7, no existe diferencia en el orden en que sumemos los vectores; es decir, $\vec{A} + \vec{B} = \vec{B} + \vec{A}$. Por lo tanto, la suma de vectores obedece la propiedad conmutativa.

La suma de más de dos vectores, por ejemplo $\vec{A}$, $\vec{B}$, y $\vec{C}$, se lleva a cabo sumando primero dos de ellos (figura 1.8) y sumando el resultado al tercero. El orden en que se agrupan los vectores para sumarlos no importa, ya que la suma de vectores es asociativa, es decir, $(\vec{A} + \vec{B}) + \vec{C} = \vec{A} + (\vec{B} + \vec{C})$.

Si los vectores $\vec{A}$ y $\vec{B}$ tienen el mismo módulo pero tienen la dirección opuesta, el vector $\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$ es un vector de módulo cero. Esto se puede demostrar utilizando el método geométrico para construir gráficamente el vector suma $\vec{A} + \vec{B}$. Cualquier vector de módulo cero se denomina vector $\vec{0}$. No tiene sentido hablar de la dirección de un vector de módulo cero, por lo que a lo largo de este libro no hablaremos ni usaremos notación vectorial para el vector cero. Por lo tanto, si $\vec{A} + \vec{B} = \vec{0}$, $\vec{B} = -\vec{A}$, y viceversa, donde el negativo de $\vec{A}$ se escribe como $-\vec{A}$. Por tanto, ambos vectores $\vec{A}$ y $\vec{B}$ son uno el negativo del otro sólo si tienen el mismo módulo y direcciones opuestas.

La sustracción del vector $\vec{B}$ del $\vec{A}$, consiste en sumar a $\vec{A}$ el negativo de $\vec{B}$. El resultado es $\vec{C} = \vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B})$ (figura 1.10a). Un método alternativo de sustraer $\vec{B}$ de $\vec{A}$ consiste en sumar $\vec{B}$ a los dos lados de la ecuación $\vec{C} = \vec{A} + (-\vec{B})$ con lo que se obtiene $\vec{B} + \vec{C} = \vec{A}$, y gráficamente sumar $\vec{B}$ con $\vec{C}$. Para ello, se dibuja $\vec{A}$ y $\vec{B}$ de modo que coincida su origen y luego se dibuja $\vec{C}$ del extremo de $\vec{B}$ al de $\vec{A}$.

! Obsérvese que C no es igual a $A + B$ a menos que $\vec{A}$ y $\vec{B}$ estén en la misma dirección. Es decir, $\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$ no implica que $C = A + B$.

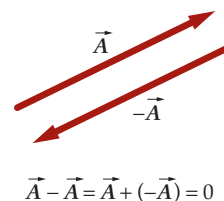


FIGURA 1.9

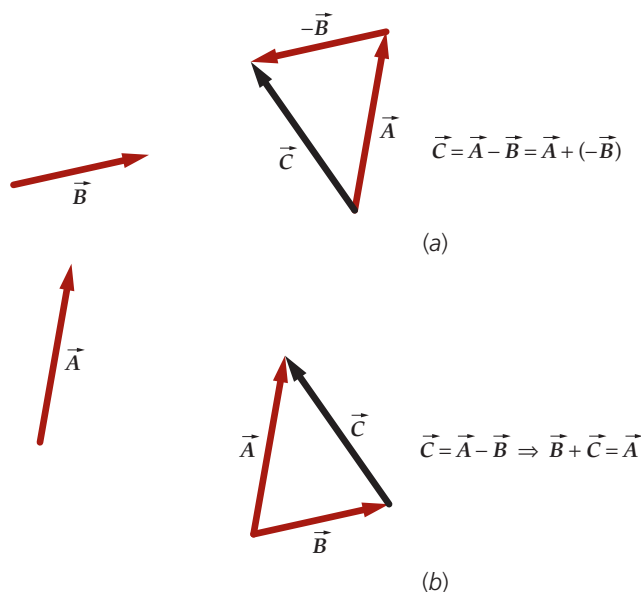


FIGURA 1.10 Formas alternativas de restar vectores. Sea $\vec{C} = \vec{A} - \vec{B}$. (a) Para obtener $\vec{C}$, sumamos $-\vec{B}$ a $\vec{A}$. (b) Primero dibujamos $\vec{A}$ y $\vec{B}$ con sus orígenes unidos. $\vec{C}$ es el vector que sumamos a $\vec{B}$ para obtener $\vec{A}$.

Ejemplo 1.8

Desplazamiento

Conceptual

Una persona se mueve 3 km hacia el este y luego 4 km hacia el norte. ¿Cuál es el desplazamiento resultante?

PLANTEAMIENTO El desplazamiento de la persona es el vector que va desde la posición inicial a la posición final. Para encontrar el desplazamiento resultante, se suman gráficamente los dos vectores desplazamiento. Para dibujar la resultante con exactitud, usamos una escala tal que 1 cm corresponda a un desplazamiento de 1 km.

SOLUCIÓN

- Sean $\vec{A}$ y $\vec{B}$ los desplazamientos de 3,00 km hacia el este y de 4,00 km hacia el norte, respectivamente, y sea $\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$. Dibuje $\vec{A}$ y $\vec{B}$ con el origen de $\vec{B}$ en el extremo de $\vec{A}$, como se muestra en la figura 1.11. Usar la escala 1 cm = 1 km e incluir los ejes que señalan al norte y al este.
- Determinar el módulo y la dirección de $\vec{C}$ usando el dibujo, teniendo en cuenta la escala 1 cm = 1 km, y un transportador.

La flecha que representa a $\vec{C}$ mide 5,00 cm, por lo que el módulo de $\vec{C}$ es de 5,00 km. La dirección de $\vec{C}$ es, aproximadamente, de 53° al noreste.

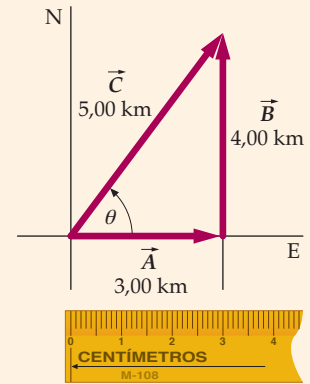


FIGURA 1.11

COMPROBACIÓN La distancia recorrida es 3,00 km + 4,00 km = 7,00 km y el módulo del desplazamiento neto es de 5 km. Este resultado es consistente con la frase “la distancia más corta entre dos puntos es la línea recta”. Igualmente, si nos movemos 3 km hacia el este y después 4 km hacia el norte es de esperar que estemos más de 45° al norte de nuestro punto de partida.

OBSERVACIÓN Un vector viene descrito por su módulo y dirección. En este ejemplo el desplazamiento resultante es un vector de longitud 5 km en una dirección $53,1^\circ$ al norte del este.

PRODUCTO DE UN VECTOR POR UN ESCALAR

La expresión $s\vec{A}$, donde $\vec{A}$ es un vector arbitrario, corresponde a la suma $\vec{A} + \vec{A} + \dots + \vec{A}$, es decir, $\vec{A} + \vec{A} + \dots + \vec{A} = s\vec{A}$. Un vector $\vec{A}$ multiplicado por un escalar s es el vector $s\vec{A}$, que tiene de módulo $|s|\vec{A}$ y es paralelo a $\vec{A}$ si s es positivo, y antiparalelo a $\vec{A}$ si s es negativo. Las dimensiones de $s\vec{A}$ son las de s multiplicadas por las de $\vec{A}$. (Además, dividir $\vec{A}$ por un escalar s equivale a multiplicar $\vec{A}$ por $1/s$.)

COMPONENTES DE UN VECTOR

La suma y la resta algebraica de vectores se lleva a cabo expresando los vectores en función de sus componentes. La **componente** de un vector a lo largo de una línea en el espacio es la longitud de la proyección del vector sobre dicha línea. Se obtiene trazando una línea perpendicular a la línea desde el extremo o flecha de un vector, como indica la figura 1.12. Cuando se determinan las componentes x , y y z de un

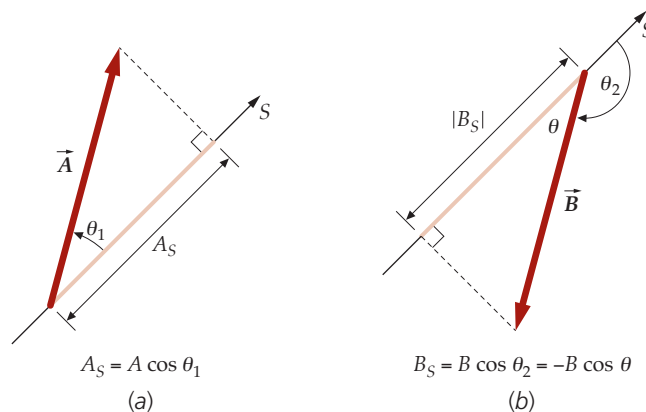


FIGURA 1.12 La componente de un vector en una dirección especificada es igual al módulo del vector multiplicado por el coseno del ángulo entre la dirección del vector y la dirección especificada. La componente del vector $\vec{A}$ en la dirección positiva de S es A_S siendo A_S positiva. La componente del vector $\vec{B}$ en la dirección positiva de S es B_S siendo B_S negativa.

vector se dice que se **descompone el vector** en sus componentes. Las componentes de un vector a lo largo de las direcciones x , y y z , ilustradas en la figura 1.13 para un vector en el plano xy , se denominan componentes rectangulares o cartesianas. Obsérvese que las componentes de un vector dependen del sistema de coordenadas utilizado para su representación, aunque el mismo vector no dependa de ello.

Para determinar las componentes de un vector usamos los triángulos rectángulos (véase la figura 1.13). Si θ es el ángulo comprendido entre $\vec{A}$ y el eje x , resulta

$$A_x = A \cos \theta \quad 1.2$$

COMPONENTE x DE UN VECTOR

y

$$A_y = A \sin \theta \quad 1.3$$

COMPONENTE y DE UN VECTOR

donde A es el módulo del vector $\vec{A}$.

Si conocemos A_x y A_y podemos obtener el ángulo θ a partir de

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{A_y}{A_x} \quad \theta = \operatorname{arctg} \frac{A_y}{A_x} \quad 1.4$$

y el módulo A a partir del teorema de Pitágoras:

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} \quad 1.5a$$

En tres dimensiones

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \quad 1.5b$$

Las componentes pueden ser positivas o negativas. La componente x de un vector es positiva si cuando nos movemos del origen hacia el extremo la coordenada x del vector aumenta. Por ejemplo, si $\vec{A}$ apunta en la dirección positiva de x , A_x es positiva y si $\vec{A}$ apunta en la dirección negativa de x , A_x es negativa.

Obsérvese que en la ecuación 1.4 la función inversa arctg no tiene un valor único. Este aspecto se practica en el ejemplo 1.9.

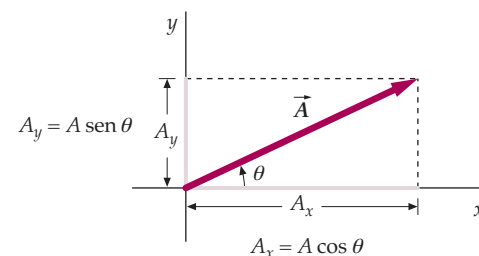


FIGURA 1.13 Componentes rectangulares de un vector. θ es el ángulo entre la dirección del vector y el sentido positivo de la dirección x . El ángulo comprendido entre el eje x y A es positivo si se recorre en el sentido contrario a las agujas de un reloj.

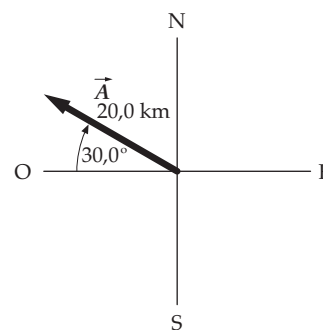


FIGURA 1.14

PROBLEMA PRÁCTICO 1.6

Un coche recorre 20,0 km en dirección 30° noroeste. Se supone que el eje x apunta al este y el eje y al norte, como en la figura 1.14. Determinar las componentes x y y del vector desplazamiento del coche.

Cuando ya hemos expresado un vector en sus componentes, podemos manipular cada una de ellas individualmente. Consideremos dos vectores $\vec{A}$ y $\vec{B}$ en el plano xy . Las componentes rectangulares de cada vector y las de la suma $\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$ se muestran en la figura 1.15. Como puede verse, la ecuación vectorial $\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$ es equivalente a las dos ecuaciones de las componentes:

$$C_x = A_x + B_x \quad 1.6a$$

y

$$C_y = A_y + B_y \quad 1.6b$$

En otras palabras, la suma de las componentes x es la componente x del vector resultante. El ángulo y el módulo del vector resultante se determinan, respectivamente, a partir de las ecuaciones 1.4 y 1.5a.

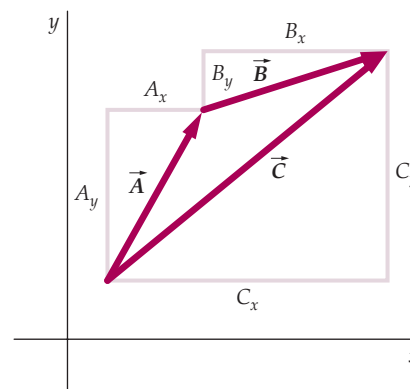


FIGURA 1.15

Ejemplo 1.9

El mapa del tesoro

Póngalo en su contexto

Suponga que usted trabaja en un centro turístico en una isla tropical y está encargado de diseñar una actividad para los turistas de búsqueda de un tesoro. Dispone de un mapa que le indica las direcciones a seguir para enterrar un “tesoro” en un lugar determinado. Usted no desea malgastar el tiempo dando vueltas por la isla, porque quiere acabar pronto para ir a la playa y hacer surfing. Las instrucciones son ir 3,00 km en dirección hacia el noreste con un ángulo de 60° respecto del este y después moverse 4,00 km en dirección noroeste con un ángulo de 40° respecto del oeste. ¿En qué dirección debe moverse y cuánto tendrá que caminar para cumplir su objetivo con la máxima rapidez? Determine la respuesta (a) gráficamente y (b) usando componentes vectoriales.

PLANTEAMIENTO En ambos casos hay que determinar la resultante del desplazamiento. En el apartado (a) use el método gráfico dibujando a escala cada uno de los desplazamientos y midiendo el desplazamiento resultante. Para el apartado (b) hay que descomponer cada vector en sus componentes individuales y utilizarlas para calcular el desplazamiento resultante.

SOLUCIÓN

- (a) 1. Dibujamos el diagrama de suma de vectores a escala (figura 1.16). Primero trazamos los ejes coordenados correspondientes de modo que el eje x señale hacia el este y la dirección del eje y hacia el norte. A continuación, trazamos el primer vector desplazamiento $\vec{A}$ de 3,00 cm de largo formando un ángulo de 60° con el eje x , es decir, apuntando hacia el noreste. Luego, a partir del extremo de $\vec{A}$ dibujamos el segundo vector $\vec{B}$ de 4,00 cm de largo, con un ángulo de 40° con la dirección oeste. (Necesitará un transportador para medir los ángulos). Finalmente, dibuje el vector resultante $\vec{C}$ uniendo el origen de $\vec{A}$ con el extremo de $\vec{B}$:
2. Determine la longitud de $\vec{C}$. Usando un transportador, mida el ángulo entre la dirección de $\vec{C}$ y la dirección $-x$:

- (b) 1. Para resolver el problema utilizando las componentes vectoriales, sea $\vec{A}$ el primer desplazamiento y elegimos el eje x positivo en la dirección este y el eje y positivo en la dirección norte. Calculamos A_x y A_y de las ecuaciones 1.2 y 1.3:
2. De igual modo calculamos las componentes del segundo desplazamiento $\vec{B}$. El ángulo entre la dirección de $\vec{B}$ y la dirección $+x$ es $180,0^\circ - 40,0^\circ = 140^\circ$
3. Las componentes del desplazamiento resultante $\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$ se obtienen por suma:
4. El teorema de Pitágoras nos permite obtener la magnitud de $\vec{C}$:
5. El cociente entre C_y y C_x es igual a la tangente del ángulo θ entre $\vec{C}$ y la dirección positiva de x . Al hacer los cálculos vaya con cuidado, ya que al valor de $\arctg$ que le devuelve la calculadora podría tener que sumarle 180° :
6. C_y es positiva y C_x es negativa; por lo tanto, el ángulo θ nos lleva al segundo cuadrante:

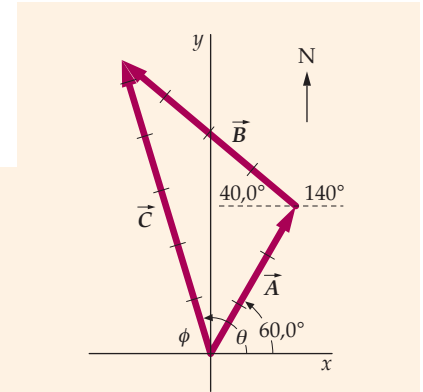


FIGURA 1.16

$\vec{C}$ mide 5,40 cm de longitud. Por lo tanto, el módulo del desplazamiento resultante es de **5,40 km**. El ángulo entre el vector $\vec{C}$ y el eje $-x$ es, aproximadamente, de $73,2^\circ$. Por consiguiente, hay que caminar 5,40 km hacia el noroeste con un ángulo de **$73,2^\circ$ respecto a la dirección noroeste**.

$$A_x = (3,00 \text{ km}) \cos 60^\circ = 1,50 \text{ km}$$

$$A_y = (3,00 \text{ km}) \sin 60^\circ = 2,60 \text{ km}$$

$$B_x = (4,00 \text{ km}) \cos 140^\circ = -3,06 \text{ km}$$

$$B_y = (4,00 \text{ km}) \sin 140^\circ = +2,57 \text{ km}$$

$$C_x = A_x + B_x = 1,50 \text{ km} - 3,06 \text{ km} = -1,56 \text{ km}$$

$$C_y = A_y + B_y = 2,60 \text{ km} + 2,57 \text{ km} = 5,17 \text{ km}$$

$$C^2 = C_x^2 + C_y^2 = (-1,56 \text{ km})^2 + (5,17 \text{ km})^2 = 29,2 \text{ km}^2$$

$$C = \sqrt{29,2 \text{ km}^2} = \mathbf{5,40 \text{ km}}$$

$$\tan \theta = \frac{C_y}{C_x} \quad \text{por lo tanto,}$$

$$\theta = \arctg \frac{5,17 \text{ km}}{-1,56 \text{ km}} = \arctg(-3,31)$$

$$= \text{o bien } -73,2^\circ \quad \text{o } (-73,2^\circ + 180^\circ)$$

$$= \text{o bien } -73,2^\circ \quad \text{o } +107^\circ$$

$$\theta = \mathbf{107^\circ \text{ en la dirección contraria a las agujas de un reloj}}$$

$$\phi = \mathbf{73,2^\circ \text{ hacia el noroeste}}$$

COMPROBACIÓN El paso 4 del apartado (b) da de módulo 5,40 km y el apartado 6 concluye que la dirección es de $73,2^\circ$ hacia el noroeste. Estos resultados están de acuerdo con los resultados del apartado (a) dentro de la exactitud de nuestras medidas.

OBSERVACIÓN Para especificar un vector se necesita saber el módulo y la dirección o todas sus componentes. En este ejemplo precisamente se ha practicado como calcularlas.

VECTORES UNITARIOS

Un vector unitario es un vector sin dimensiones de módulo unidad. El vector $\hat{A} = \vec{A}/A$ es un ejemplo de vector unitario que apunta en la dirección de $\vec{A}$. Los vectores unitarios se escriben en negritas con un pequeño ángulo o acento circunflejo en su parte superior. Los vectores unitarios que apuntan en las direcciones x , y y z son adecuados para expresar los vectores en función de sus componentes rectangulares. Normalmente, se escriben $\hat{i}$, $\hat{j}$, y $\hat{k}$, respectivamente. Así, el vector $A_x \hat{i}$ tiene módulo $|A_x|$ y apunta en la dirección x positiva si A_x es positiva (o la dirección x negativa si A_x es negativa). Un vector A , en general, puede escribirse como suma de tres vectores, cada uno de ellos paralelo a un eje coordenado (figura 1.17):

$$\vec{A} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z \hat{k}$$

1.7

La suma de dos vectores $\vec{A}$ y $\vec{B}$ puede escribirse en función de vectores unitarios en la forma

$$\begin{aligned} \vec{A} + \vec{B} &= (A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z \hat{k}) + (B_x \hat{i} + B_y \hat{j} + B_z \hat{k}) \\ &= (A_x + B_x) \hat{i} + (A_y + B_y) \hat{j} + (A_z + B_z) \hat{k} \end{aligned}$$

1.8

Las propiedades generales de los vectores se resumen en la tabla 1.4.

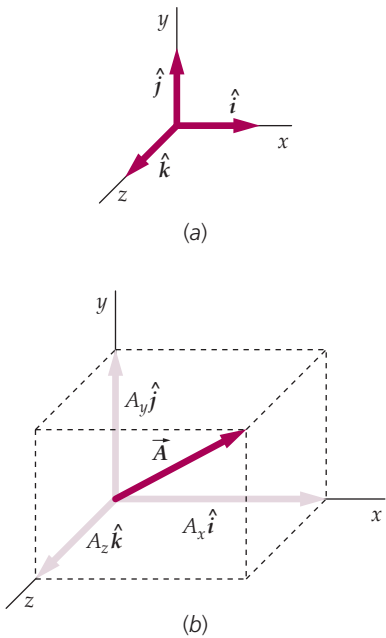


FIGURA 1.17 (a) Los vectores unitarios $\hat{i}$, $\hat{j}$, y $\hat{k}$ en un sistema de coordenadas cartesiano (rectangular). (b) El vector $\vec{A}$ en función de los vectores unitarios: $\vec{A} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z \hat{k}$.

PROBLEMA PRÁCTICO 1.7

Dados dos vectores $\vec{A} = (4,00 \text{ m})\hat{i} + (3,00 \text{ m})\hat{j}$ y $\vec{B} = (2,00 \text{ m})\hat{i} - (3,00 \text{ m})\hat{j}$, determinar (a) A , (b) B , (c) $\vec{A} + \vec{B}$, y (d) $\vec{A} - \vec{B}$.

Tabla 1.4 Propiedades de los vectores

Propiedad	Explicación	Figura	Representación de las componentes
Igualdad	$\vec{A} = \vec{B}$ si $ \vec{A} = \vec{B} $ y sus direcciones y sentidos son iguales		$A_x = B_x$ $A_y = B_y$ $A_z = B_z$
Adición	$\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$		$C_x = A_x + B_x$ $C_y = A_y + B_y$ $C_z = A_z + B_z$
Negativo de un vector	$\vec{A} = -\vec{B}$ si $ \vec{B} = \vec{A} $ y su sentido es opuesto		$A_x = -B_x$ $A_y = -B_y$ $A_z = -B_z$
Sustracción	$\vec{C} = \vec{A} - \vec{B}$		$C_x = A_x - B_x$ $C_y = A_y - B_y$ $C_z = A_z - B_z$
Multiplicación por un escalar	$\vec{B} = s\vec{A}$ tiene el módulo $ \vec{B} = s \vec{A} $ y la misma dirección que $\vec{A}$ si s es positivo o $-\vec{A}$ si s es negativo		$B_x = sA_x$ $B_y = sA_y$ $B_z = sA_z$

El año 2005: bisiesto por un segundo

El calendario del año 2005 fue un segundo más largo de lo habitual. Ese año fue entonces bisiesto por un segundo. Este ajuste fue necesario para sincronizar dos sistemas de medir el tiempo, uno basado en la rotación de la Tierra y el otro basado en un grupo seleccionado de relojes atómicos.

A lo largo de la historia, la medida del tiempo se ha relacionado con la posición del Sol en el cielo, determinada por la rotación de la Tierra alrededor de su eje y por su movimiento de traslación alrededor del Sol. Este tiempo astronómico, denominado actualmente el Tiempo Universal (UT1), asumía que el movimiento de rotación de la Tierra es uniforme. Sin embargo, a medida que se ha dispuesto de métodos de medida más precisos se ha hecho patente que la velocidad de rotación de la Tierra presenta ligeras irregularidades, lo cual implica también que se da una cierta variabilidad en la unidad estándar de medida científica del tiempo, el segundo, definido como $(1/60)(1/60)(1/24)$ de un día solar medio.

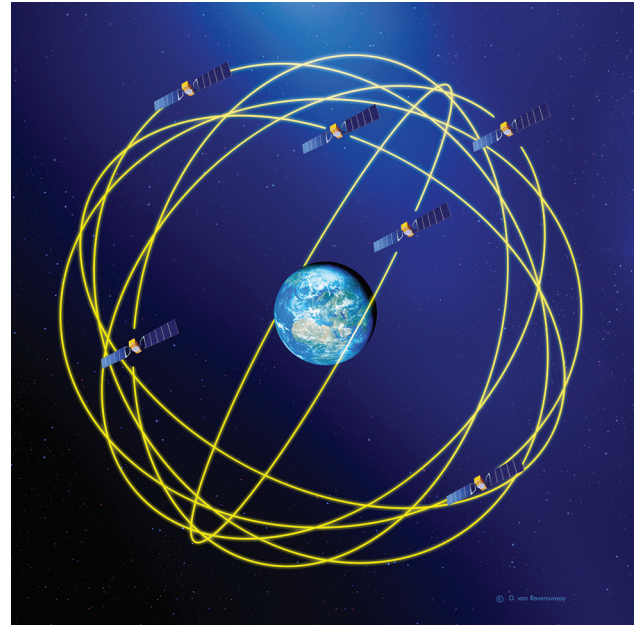
En 1955, el National Physical Laboratory en Gran Bretaña desarrolló el primer reloj atómico de cesio, un dispositivo que tenía una exactitud mucho mayor que cualquier otro reloj que hubiera existido antes. La medida del tiempo se convirtió en un proceso independiente de las observaciones astronómicas y, en consecuencia, se consiguió una definición de segundo mucho más precisa basada en la frecuencia de la radiación emitida durante la transición entre dos niveles de energía del átomo cesio-133. Sin embargo, el sistema más familiar UT1 sigue siendo importante para sistemas de navegación y astronómicos. Por ello, es importante que ambos sistemas de medir el tiempo se sincronicen.

Según el National Physical Laboratory, "...la solución adoptada para la sincronización ha sido construir una escala de tiempo atómica que sea la base para medir el tiempo denominada Tiempo Universal Coordinado (UTC). Esta escala combina la regularidad del tiempo atómico con la comodidad del UT1, y muchos países la han adoptado como la base legal para las medidas del tiempo."¹ La Oficina Internacional de Pesas y Medidas de Sèvres, Francia, recoge datos de una selección de laboratorios que miden el tiempo repartidos por todo el mundo para proporcionar el tiempo internacional estándar, UTC.

Cuando se dan pequeñas diferencias entre el UTC y el UT1 a causa de las fluctuaciones en la rotación de la Tierra (normalmente son retrasos), se añade un segundo para corregir el desajuste. Es un concepto similar a los años bisiestos que se usan para corregir el calendario. Efectivamente, un año no son exactamente 365 días sino 365,242 días. Para tener en cuenta el desfase producido al considerar el año de 365 días, cada cuatro años el calendario incluye un 29 de febrero.

Desde 1972, la medida del tiempo se realiza por medio de relojes atómicos, y desde entonces, en 23 ocasiones se ha añadido un segundo al tiempo UTC. Por un acuerdo internacional, se añade un segundo cuando la diferencia entre el UT1 y el UTC alcanza los 0,9 segundos. Previamente, la International Earth Rotation and Reference System (IERS) anuncia la necesidad de este cambio con unos meses de antelación.

En un año normal, el último segundo del año es el 23:59:59 UTC del 31 de diciembre, en tanto que el primer segundo del nuevo año es el 00:00:00 UTC del 1 de enero. Sin embargo, el año 2005 se añadió un segundo a la hora 23:59:59 UTC del 31 de diciembre, por lo que los relojes antes de cambiar a 00:00:00 UTC señalaron la hora 23:59:60 UTC.



El sistema de posicionamiento global, GPS, requiere que haya 24 satélites básicos en servicio al menos el 70% del tiempo. Cada satélite básico tiene una órbita con un periodo de $1/2$ de un día sideral (1 día sideral ≈ 23 h 56 min) y con un radio aproximadamente igual a cuatro veces el radio terrestre. Hay 6 planos orbitales, inclinados 55° con respecto al plano ecuatorial de la Tierra, cada uno de los cuales tiene cuatro satélites básicos. Además, hay otros satélites GPS que se utilizan en órbitas de reserva cuando alguno de los satélites básicos falla. Cuando este apartado se escribió (mayo del 2006) había 29 satélites operacionales en órbita. (Detlev Van Ravenswaay/Photo Researchers.)

¹ http://www.npl.co.uk/time/leap_second.html

TEMA	OBSERVACIONES Y ECUACIONES RELEVANTES
1. Unidades	Las cantidades físicas son números que se obtienen a partir de medidas de los objetos físicos. También se pueden definir de forma práctica a partir de operaciones y procedimientos que, si se siguen, las determinan sin ambigüedad.
2. Unidades fundamentales	Las unidades fundamentales del Sistema Internacional (SI) son el metro (m), el segundo (s), el kilogramo (kg), el kelvin (K), el ampere (A), el mol (mol) y la candela (cd). Las unidades de cualquier magnitud física se pueden expresar en función de estas unidades fundamentales.
3. Las unidades en las ecuaciones	Las unidades en las ecuaciones se tratan de igual modo que cualquier otra magnitud algebraica.
4. Conversión	Los factores de conversión , que son siempre igual a 1, proporcionan un método adecuado para convertir un tipo de unidad en otra.
5. Dimensiones	Los dos miembros de una ecuación deben tener las mismas dimensiones.
6. Notación científica	Por conveniencia, los números muy grandes y muy pequeños se escriben por medio de un factor que multiplica a una potencia de 10.
7. Exponentes	
Multiplicación	Al multiplicar dos números en notación científica, los exponentes se suman.
División	Al dividir dos números en notación científica, los exponentes se restan.
Potencia	Cuando un número que contiene un exponente se eleva a otro exponente, los exponentes se multiplican.
8. Cifras significativas	
Multiplicación y división	El número de cifras significativas en el resultado de una multiplicación o división nunca será mayor que el menor número de cifras significativas de cualquiera de los factores.
Adición y sustracción	El resultado de la suma o resta de dos números no tiene cifras significativas más allá de la última cifra decimal en que ambos números originales tienen cifras significativas.
9. Orden de magnitud	Un número redondeado a la potencia más próxima de 10 se denomina orden de magnitud. El orden de magnitud puede estimarse mediante hipótesis razonables y cálculos simples.
10. Vectores	
Definición	Los vectores son magnitudes que tienen módulo y dirección. Se suman como los desplazamientos.
Componentes	La componente de un vector a lo largo de una línea en el espacio es su proyección sobre dicha línea. Si $\vec{A}$ forma un ángulo θ con el eje x , sus componentes x e y son $A_x = A \cos \theta \qquad 1.2$$A_y = A \sin \theta \qquad 1.3$
Módulo	$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} \qquad 1.5a$
Suma gráfica de vectores	Dos vectores cualesquiera cuyos módulos poseen las mismas unidades pueden sumarse gráficamente situando la cola de la flecha que representa a uno de ellos en el extremo o cabeza del otro.
Suma de vectores mediante componentes	Si $\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$, entonces $C_x = A_x + B_x \qquad 1.6a$y $C_y = A_y + B_y \qquad 1.6b$
Vectores unitarios	Un vector $\vec{A}$ puede escribirse en función de los vectores unitarios $\hat{i}$, $\hat{j}$, y $\hat{k}$, de módulo unidad, dirigidos a lo largo de los ejes x , y y z , respectivamente $\vec{A} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z \hat{k} \qquad 1.7$

Respuestas a las comprobaciones conceptuales

1.1 5

Respuestas a los problemas prácticos

- 1.1 (a) 300 ns, (b) 40 Mm
 1.2 (a) 0,05, (b) 3,9, (c) 0,003
 1.3 $2,39 \times 10^2$
 1.4 $3,2 \times 10^5$ años
 1.5 $\approx 6 \times 10^{15}$
 1.6 $A_x = -17,3$ km, $A_y = 10,0$ km
 1.7 (a) $A = 5,00$ m, (b) $B = 3,61$ m, (c) $\vec{A} + \vec{B} = (6,00 \text{ m})\hat{i}$,
 (d) $\vec{A} - \vec{B} = (2,00 \text{ m})\hat{i} + (6,00 \text{ m})\hat{j}$

Problemas

En algunos problemas se dan más datos de los realmente necesarios; en otros pocos, deben aportarse algunos datos a partir de conocimientos generales, fuentes externas o estimaciones lógicas.

En los datos numéricos sin coma decimal se deben considerar significativos todos los dígitos, incluidos los ceros a la derecha del último diferente de cero.

- Concepto simple, un solo paso, relativamente fácil
 - Nivel intermedio, puede exigir síntesis de conceptos
 - Desafiante, para alumnos avanzados
 - SSM La solución se encuentra en el *Manual de soluciones*
- Los problemas consecutivos que están sombreados son problemas relacionados.

PROBLEMAS CONCEPTUALES

- ¿Cuál de las siguientes magnitudes físicas no es una de las fundamentales del Sistema Internacional (SI)? (a) Masa. (b) Longitud. (c) Energía. (d) Tiempo. (e) Todas ellas son magnitudes físicas fundamentales. **SSM**
- Al hacer un cálculo, el resultado final tiene las dimensiones m/s en el numerador y m/s² en el denominador. ¿Cuáles son las unidades finales? (a) m²/s³, (b) 1/s, (c) s³/m², (d) s, (e) m/s.
- El prefijo giga significa: (a) 10³, (b) 10⁶, (c) 10⁹, (d) 10¹², (e) 10¹⁵.
- El prefijo mega significa: (a) 10⁻⁹, (b) 10⁻⁶, (c) 10⁻³, (d) 10⁶, (e) 10⁹.
- Demostrar que un pie equivale a 30,48 cm. ¿Cuántos centímetros hay en una milla? **SSM**
- El número 0,000 513 0 tiene _____ cifras significativas. (a) una, (b) tres, (c) cuatro, (d) siete, (e) ocho.
- El número 23,0040 tiene _____ cifras significativas. (a) dos, (b) tres, (c) cuatro, (d) cinco, (e) seis.
- Una fuerza tiene dimensiones de masa por aceleración. La aceleración tiene dimensiones de velocidad dividida por tiempo. La presión es una fuerza dividida por un área. ¿Cuáles son las dimensiones de la presión?
- Verdadero o falso: para multiplicar dos magnitudes es condición necesaria que tengan las mismas dimensiones.
- Un vector tiene la componente x negativa y la componente y positiva. Su ángulo medido en la dirección contraria a las agujas del reloj desde el eje x está (a) entre cero y 90 grados, (b) entre 90 y 180 grados, (c) más allá de los 180 grados.
- Un vector $\vec{A}$ señala en la dirección positiva del eje x. Mostrar gráficamente tres posibles elecciones para un vector $\vec{B}$ de forma que $\vec{B} + \vec{A}$ señale en la dirección positiva del eje y. **SSM**

- Un vector $\vec{A}$ señala en la dirección positiva del eje y. Mostrar gráficamente tres elecciones para un vector $\vec{B}$ de forma que $\vec{B} - \vec{A}$ señale en la dirección positiva del eje x.
- ¿Es posible que tres vectores del mismo módulo sumen cero? Si lo es, muestre la respuesta gráficamente. En caso contrario, explique por qué no es posible. **SSM**

CÁLCULO Y APROXIMACIONES

- El ángulo subtendido por el diámetro de la Luna en un punto de la Tierra es aproximadamente 0,524° (figura 1.18). Con este dato y sabiendo que la Luna dista 384 Mm de la Tierra, hallar su diámetro. (El ángulo θ subtendido por la Luna es, aproximadamente, igual a D/r_L donde D es el diámetro de la Luna y r_L es la distancia a la misma.)

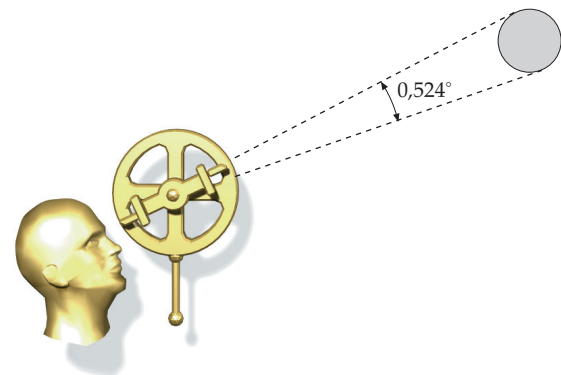
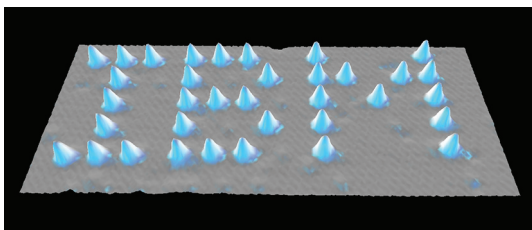


FIGURA 1.18 Problema 14

- **APLICACIÓN BIOLÓGICA** Si se supone que el cuerpo humano está formado esencialmente de agua se puede hacer una sencilla estimación. La masa de una molécula de agua es $29,9 \times 10^{-27}$ kg. Estimar las moléculas de agua que forman una persona de 60 kg de masa. **SSM**

16 •• APLICACIÓN A LA INGENIERÍA En 1989, científicos de la compañía IBM consiguieron mover átomos con un microscopio de barrido de efecto túnel (STM). El público pudo apreciar esta tecnología cuando vio las letras IBM formadas a partir de átomos de xenón sobre una superficie de níquel. Las letras IBM se extendían una distancia que equivalía a unos 15 átomos de xenón. Si el espacio entre los centros de átomos de xenón adyacentes es de 5 nm (5×10^{-9} m), estimar cuántas veces puede escribirse la palabra "IBM" en una página de 21,6 cm de ancho.



(Gentileza de IBM Research, Almaden Research Center.)

17 •• Se ha debatido públicamente con frecuencia cuáles son las consecuencias ambientales de usar pañales desechables o pañales reutilizables de tela. (a) Supóngase que un bebé, desde que nace y hasta los 2,5 años, usa tres pañales al día. Estimar cuántos pañales desechables se usan cada año en los Estados Unidos. (b) Calcular el volumen de vertedero ocupado por los pañales, suponiendo que 1000 kg de estos residuos ocupan 1 m^3 . (c) Calcular la superficie que ocuparían anualmente estos residuos si se supone que necesitan una profundidad media en el vertedero de 10 m.

18 •• (a) Estimar cuántos litros de gasolina usan los automóviles cada día en los Estados Unidos y el coste asociado. (b) Si de un barril de crudo se obtienen 73,45 L de gasolina, calcular cuántos barriles de petróleo deben importarse en un año en los Estados Unidos para fabricar la gasolina necesaria para la automoción. ¿Cuántos barriles por día supone esta cifra?

19 •• APLICACIÓN A LA INGENIERÍA Un megabyte (MB) es una unidad de almacenamiento en la memoria de los ordenadores. Un CD tiene una capacidad de almacenamiento de 700 MB y puede almacenar 70 minutos de música de alta calidad. (a) Si una canción típica dura 5 minutos, ¿cuántos megabytes ocupa una canción? (b) Si una página de texto impreso ocupa aproximadamente 5 kilobytes, estimar cuántas novelas se pueden guardar en un CD. **SSM**

UNIDADES

20 • Expresar las siguientes magnitudes usando los prefijos que se recogen en la tabla 1.1 y las abreviaturas de la página 5 (tabla 1.1); por ejemplo, 10 000 metros = 10 km. (a) 1 000 000 watts, (b) 0,002 gramos, (c) 3×10^{-6} metros, (d) 30 000 segundos.

21 • Escribir cada una de las siguientes magnitudes sin usar prefijos: (a) $40 \mu\text{W}$, (b) 4 ns, (c) 3 MW, (d) 25 km.

22 • Escribir las siguientes magnitudes (que no se expresan en unidades del SI) usando prefijos (pero no sus abreviaturas). Por ejemplo, 10^3 metros = 1 kilómetro: (a) 10^{-12} abucheos, (b) 10^9 mugidos, (c) 10^{-6} teléfonos, (d) 10^{-18} chicos, (e) 10^6 teléfonos, (f) 10^{-9} cabras, (g) 10^{12} toros.

23 •• En las ecuaciones siguientes, la distancia x está en metros, el tiempo t en segundos y la velocidad v en metros por segundo. ¿Cuáles son las unidades del SI de las constantes C_1 y C_2 ? (a) $x = C_1 + C_2 t$, (b) $x = \frac{1}{2} C_1 t^2$, (c) $v^2 = 2 C_1 x$, (d) $x = C_1 \cos C_2 t$, (e) $v^2 = 2 C_1 v - (C_2 x)^2$. **SSM**

24 •• Si en el problema 23 se expresa x en pies, t en segundos y v en pies por segundo, ¿cuáles son las dimensiones de las constantes C_1 y C_2 ?

CONVERSIÓN DE UNIDADES

25 • MÚLTIPLES PASOS A partir de la definición original de metro en función de la distancia del Ecuador al polo Norte hallar en metros (a) la circunferencia de la Tierra y (b) el radio de la Tierra. (c) Convertir las respuestas dadas en (a) y (b) de metros a millas.

26 • La velocidad del sonido en el aire es 343 m/s. ¿Cuál es la velocidad de un avión supersónico que se mueve con una velocidad doble a la del sonido? Dar la respuesta en kilómetros por hora y millas por hora.

27 • Un jugador de baloncesto tiene una altura de 6 ft y 10,5 in. ¿Cuál es su altura en centímetros?

28 • Completar las siguientes igualdades: (a) $100 \text{ km/h} = \text{mi/h}$, (b) $60 \text{ cm} = \text{in}$, (c) $100 \text{ yd} = \text{m}$.

29 • La mayor separación entre dos soportes del puente Golden Gate es de 4200 pies. Expresar esta distancia en kilómetros.

30 • Hallar el factor de conversión para convertir millas por hora en kilómetros por hora.

31 • Completar las siguientes expresiones: (a) $1,296 \times 10^5 \text{ km/h}^2 = \text{km}/(\text{h} \cdot \text{s})$, (b) $1,296 \times 10^5 \text{ km/h}^2 = \text{m/s}^2$, (c) $60 \text{ mi/h} = \text{ft/s}$, (d) $60 \text{ mi/h} = \text{m/s}$.

32 • Una milla cuadrada tiene 640 acres. ¿Cuántos metros cuadrados tiene un acre?

33 •• PÓNGALO EN SU CONTEXTO Supongamos que usted es un repartidor de una compañía que comercializa agua mineral. Su camión transporta 4 palés cada uno de los cuales contiene 60 cajas de agua. Cada caja contiene 24 botellas de agua de un litro y la carretilla que usa para transportar el agua a los comercios tiene un límite de peso de 250 lb (114 kg.) (a) Si un mililitro de agua tiene una masa de 1 g, y un kilogramo pesa 2,2 libras, ¿cuál es el peso en libras de toda el agua del camión? (b) ¿Cuántas cajas llenas de agua puede transportar en la carretilla? **SSM**

34 •• Un cilindro circular recto tiene un diámetro de 6,8 in y una altura de 2 ft. ¿Cuál es el volumen del cilindro en (a) pies cúbicos, (b) metros cúbicos, (c) litros?

35 •• En las siguientes expresiones, x está en metros, t en segundos, v en metros por segundo y la aceleración a en metros por segundo cuadrado. Determinar las unidades del SI de cada combinación: (a) v^2/x , (b) $\sqrt{x/a}$, (c) $\frac{1}{2}at^2$. **SSM**

DIMENSIONES DE LAS MAGNITUDES FÍSICAS

36 • ¿Cuáles son las dimensiones de las constantes que aparecen en cada uno de los apartados del problema 23?

37 • La ley de desintegración radiactiva es $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$, donde N_0 es el número de núcleos radiactivos en el instante $t = 0$, $N(t)$ es el número que permanece sin desintegrar en el tiempo t , y λ es la llamada constante de desintegración. ¿Qué dimensiones tiene λ ?

38 •• La unidad del SI de fuerza, el kilogramo-metro por segundo cuadrado ($\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$), se denomina newton (N). Hallar las dimensiones y las unidades del SI de la constante G en la ley de Newton de la gravitación $F = Gm_1 m_2 / r^2$.

39 •• Cuando un muelle se estira una distancia x a partir de su posición de equilibrio, el módulo de la fuerza (F) viene dado por $F = kx$ (ley de Hooke). (a) ¿Cuáles son las dimensiones de la constante k ? (b) ¿Cuáles son las dimensiones y las unidades SI de kx^2 ?

40 •• Demostrar que el producto de la masa por la aceleración y la velocidad tiene las dimensiones de una potencia.

41 •• El momento lineal o ímpetu de un objeto es el producto de su masa por su velocidad. Demostrar que esta magnitud tiene las dimensiones de una fuerza multiplicada por el tiempo. **SSM**

42 •• ¿Qué combinación de la fuerza y otra magnitud física tiene las dimensiones de la potencia?

43 •• Cuando un objeto cae a través del aire, se produce una fuerza de arrastre que depende del producto del área superficial del objeto y del cuadrado de su velocidad, es decir, $F_{\text{aire}} = CAv^2$, donde C es una constante. Determinar las dimensiones de C . **SSM**

44 •• La tercera ley de Kepler relaciona el periodo de un planeta con el radio de su órbita r , la constante G de la ley de gravitación de Newton ($F = Gm_1m_2/r^2$), y la masa del Sol, M_s . ¿Qué combinación de estos factores ofrece las dimensiones correctas para el periodo de un planeta?

NOTACIÓN CIENTÍFICA Y CIFRAS SIGNIFICATIVAS

45 • Expresar los siguientes números como números decimales sin utilizar la notación de potencias de diez: (a) 3×10^4 , (b) $6,2 \times 10^{-3}$, (c) 4×10^{-6} , (d) $2,17 \times 10^5$. **SSM**

46 • Escribir en notación científica los siguientes valores: (a) $1345100 \text{ m} = \text{_____ km}$, (b) $12340 \text{ kW} = \text{_____ MW}$, (c) $54,32 \text{ ps} = \text{_____ s}$, (d) $3,0 \text{ m} = \text{_____ mm}$.

47 • Realizar las siguientes operaciones, redondeando hasta el número correcto de cifras significativas, y expresar el resultado en notación científica: (a) $(1,14)(9,99 \times 10^4)$, (b) $(2,78 \times 10^{-8}) - (5,31 \times 10^{-9})$, (c) $12\pi / (4,56 \times 10^{-3})$, (d) $27,6 + (5,99 \times 10^2)$. **SSM**

48 • Efectuar las siguientes operaciones redondeando al número correcto de cifras significativas y expresando el resultado en notación científica: (a) $(200,9)(569,3)$, (b) $(0,000\,000\,513)(62,3 \times 10^7)$, (c) $28,401 + (5,78 \times 10^4)$, (d) $63,25 / (4,17 \times 10^{-3})$.

49 • **APLICACIÓN BIOLÓGICA** Una membrana celular posee un espesor de 7 nm. ¿Cuántas membranas de este espesor deberían apilarse para conseguir una altura de 1 pulgada? **SSM**

50 •• **APLICACIÓN A LA INGENIERÍA** Hay que perforar un agujero circular de $8,470 \times 10^{-1} \text{ cm}$ de radio en el panel frontal de un monitor. La tolerancia es de $1,0 \times 10^{-3} \text{ cm}$, lo cual significa que el radio del agujero real no puede diferir en una magnitud superior a esta cantidad. Si el agujero real excede al radio deseado precisamente en el margen de tolerancia, ¿cuál es la diferencia entre el área real del agujero y el área requerida para el mismo?

51 •• **APLICACIÓN A LA INGENIERÍA** Un taco cuadrado debe ajustarse a un orificio de forma cuadrada. El lado del taco mide 42,9 mm y el del orificio 43,2 mm. (a) ¿Cuál es el área del espacio entre el taco y el orificio? (b) Si se hace el taco de forma rectangular limando 0,10 mm de material de un lado, ¿cuál es ahora el área vacía entre el taco y el orificio? **SSM**

VECTORES Y SUS PROPIEDADES

52 • **MÚLTIPLES PASOS** Se suman dos vectores de 7,0 y 5,5 unidades de longitud. El resultado es un vector de 10,0 unidades. (a) Mostrar gráficamente al menos una forma mediante la cual puede llevarse a cabo la suma. (b) Use el diagrama del apartado anterior para determinar el ángulo entre los dos vectores originales.

53 • Determinar las componentes x e y de los tres vectores siguientes del plano xy . (a) Un vector desplazamiento de 10 m que forma un ángulo de 30° en la dirección de las agujas de un reloj con la dirección positiva del eje y . (b) Un vector velocidad de 25 m/s que forma un ángulo de 40° contrario a las agujas del reloj con la dirección $-x$. (c) Un vector fuerza de 40 lb que forma un ángulo de 120° en la dirección contraria a las agujas de un reloj con la dirección $-y$. **SSM**

54 • Reescriba los vectores siguientes en función de su magnitud y su ángulo (en el sentido contrario a las agujas del reloj con respecto a la dirección $+x$). (a) Un vector desplazamiento con 8,5 m de componente x , y $-5,5 \text{ m}$ de componente y . (b) Un vector velocidad con -75 m/s de componente x y 35 m/s de componente y . (c) Un vector fuerza de 50 lb de módulo situado en el tercer cuadrante con una componente x cuyo módulo es de 40 lb.

55 • **CONCEPTUAL** Una persona camina 100 m siguiendo una línea recta sobre el plano horizontal. Si la persona se mueve 50 m hacia el este, ¿cuáles son los movimientos posibles de la persona hacia el norte o hacia el sur? ¿Cuáles son los ángulos posibles con respecto de la dirección este que el camino recorrido por la persona puede haber alcanzado?

56 • **APROXIMACIÓN** El destino final de un paseo está a 300 m en la dirección este considerada a partir del punto de partida. La primera etapa coincide con el paseo descrito en el problema anterior. La segunda etapa se desarrolla a lo largo de una línea recta. Estimar gráficamente la longitud y dirección de esta segunda etapa.

57 •• Dados los vectores siguientes: $\vec{A} = 3,4\hat{i} + 4,7\hat{j}$, $\vec{B} = (-7,7)\hat{i} + 3,2\hat{j}$, y $\vec{C} = 5,4\hat{i} + (-9,1)\hat{j}$. (a) Determinar el vector $\vec{D}$ en función de los vectores unitarios, de modo que $\vec{D} + 2\vec{A} - 3\vec{C} + 4\vec{B} = 0$. (b) Expresar la respuesta del apartado anterior en función del módulo y del ángulo con respecto la dirección positiva del eje x .

58 •• Dados los vectores siguientes: $\vec{A}$ de 25 lb de módulo y que forma un ángulo de 30° en el sentido de las agujas del reloj con la dirección positiva del eje x , y $\vec{B}$ de 42 lb de módulo y que forma un ángulo de 50° en el sentido de las agujas del reloj con la dirección positiva del eje y , (a) construir un esquema y estimar visualmente el módulo y el ángulo del vector $\vec{C}$ de forma que $2\vec{A} + \vec{C} - \vec{B}$ sea un vector de 35 lb de módulo orientado según la dirección positiva del eje x . (b) Repetir el cálculo del apartado (a) usando el método de las componentes y comparar el resultado con el estimado a partir del apartado (a).

59 •• Expresar en función de $\hat{i}$ y $\hat{j}$ el vector de módulo unidad opuesto a la dirección de cada uno de los vectores $\vec{A}$, $\vec{B}$ y $\vec{C}$ del problema 57. **SSM**

60 •• Los vectores unitarios $\hat{i}$ y $\hat{j}$ señalan al este y al norte, respectivamente. Calcular expresándolo en función de ellos, el vector unitario en las direcciones siguientes: (a) nordeste (b) 70° en la dirección de las agujas del reloj contados a partir de la dirección del eje $-y$; (c) sudoeste.

PROBLEMAS GENERALES

61 • En las misiones *Apolo* a la Luna durante los años 60 y 70, el viaje de la Tierra a la Luna duraba unos tres días desde el momento en que la cápsula abandonaba la órbita terrestre. Estimar la velocidad media del vehículo espacial en kilómetros por hora, millas por hora y metros por segundo. **SSM**

62 • Muchas de las carreteras de Canadá limitan la velocidad de los vehículos a 100 km/h. ¿Cuál es la velocidad límite en mi/h?

63 • Contando dólares a razón de 1 \$ por segundo, ¿cuántos años necesitaríamos para contar 1000 millones de dólares?

64 • (a) La velocidad de la luz en el vacío es $186\,000 \text{ mi/s} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$. Utilizar este dato para hallar el número de kilómetros que tiene una milla. (b) El peso de un pie cúbico de agua es 62,4 libras y 1,00 pie = 30,5 cm. Utilizar este dato y el hecho de que 1 cm^3 de agua tiene una masa de 1 g para hallar el peso en libras de 1 kg de masa.

65 • La masa de un átomo de uranio es $4,0 \times 10^{-26} \text{ kg}$. ¿Cuántos átomos de uranio hay en 8 g de uranio puro?

66 •• Durante una tormenta cae un total de 1,4 pulgadas de lluvia. ¿Cuánta agua ha caído sobre un acre de tierra? ($1 \text{ mi}^2 = 640 \text{ acres}$.) Expresar la respuesta en: (a) pulgadas cúbicas, (b) pies cúbicos, (c) metros cúbicos, y (d) kilogramos. Obsérvese que la densidad del agua es 1000 kg/m^3 .

67 •• Un núcleo de hierro tiene un radio de $5,4 \times 10^{-15}$ m y una masa de $9,3 \times 10^{-26}$ kg. (a) ¿Cuál es su masa por unidad de volumen en kilogramos por metro cúbico? (b) Si la Tierra tuviera la misma masa por unidad de volumen, ¿cuál sería su radio? (La masa de la Tierra es $5,98 \times 10^{24}$ kg.)

68 •• **APLICACIÓN A LA INGENIERÍA** La compañía canadiense Canadian Norman Wells Oil Pipeline opera desde Norman Wells, en los Territorios del Noroeste, hasta Zama, en Alberta. El oleoducto de $8,68 \times 10^5$ m de longitud tiene un diámetro interno de 12 pulgadas y puede transportar petróleo a 35 L/s. (a) Si en un determinado momento el oleoducto está lleno, ¿cuál es el volumen total de petróleo en la instalación? (b) Si inicialmente el oleoducto estaba vacío, ¿cuánto tiempo cuesta llenarlo?

69 •• La unidad astronómica (UA) se define como la distancia media de la Tierra al Sol, a saber, $1,496 \times 10^{11}$ m. El parsec es la longitud radial desde la cual una UA de longitud de arco subtende un ángulo de 1 segundo. El año luz es la distancia que la luz recorre en un año. (a) ¿Cuántos parsecs están contenidos en una unidad astronómica? (b) ¿Cuántos metros tiene un parsec? (c) ¿Cuántos metros existen en un año luz? (d) ¿Cuántas unidades astronómicas existen en un año luz? (e) ¿Cuántos años luz contiene un parsec?

70 •• Para que el universo deje algún día de expandirse y comience a contraerse, su densidad media debe ser al menos de 6×10^{-27} kg/m³. (a) ¿Cuántos electrones por metro cúbico deberían existir en el universo para alcanzar esta densidad crítica? (b) ¿Cuántos protones por metro cúbico producirían la densidad crítica? ($m_e = 9,11 \times 10^{-31}$ kg; $m_p = 1,67 \times 10^{-27}$ kg.)

71 ••• **PÓNGALO EN SU CONTEXTO, APLICACIÓN A LA INGENIERÍA, HOJA DE CÁLCULO** Imagínese que usted es un astronauta que realiza experimentos de física en la Luna. En uno de estos experimentos analiza la caída de varios objetos, desde el reposo, y relaciona la distancia caída y con el tiempo t . Para una moneda ha obtenido los siguientes resultados

(a) y (m)	10	20	30	40	50
(b) t (s)	3,5	5,2	6,0	7,3	7,9

Usted espera obtener una relación general entre la distancia y y el tiempo t de la forma $y = Bt^C$, donde B y C son constantes que hay que determinar experimentalmente. Para ello, (a) represente los datos en un gráfico logarítmico (log-log), representando $\log(y)$ (ordenadas) respecto $\log(t)$ (abscisas). (b) Demuestre que si se toman logaritmos en la expresión $y = Bt^C$, se obtiene $\log(y) = \log(B) + C \log(t)$. (c) Compare esta relación lineal con el gráfico de los datos y estime los valores de B y C . (d) Si se deja caer una moneda desde 1,0 m de altura, ¿cuánto tiempo tardará en llegar al suelo? (e) En el capítulo siguiente se verá como la relación entre y y t es $y = 1/2at^2$, donde a es la aceleración del objeto. ¿Cuál es la aceleración de los objetos que caen en la Luna? **SSM**

72 ••• **HOJA DE CÁLCULO** El valor de las acciones de una compañía que cotiza en el mercado de valores varía dependiendo del mercado y del tipo de actividad de la empresa y, aparentemente, puede ser muy impredecible, pero la gente a menudo intenta encontrar patrones del comportamiento en bolsa de los valores a partir de fórmulas matemáticas. El valor de las acciones de una compañía de ingeniería de materiales denominada Corning, situada en el estado de Nueva York, cada día 3 de agosto, cada cinco años en el periodo 1981–2001 evoluciona según la tabla. Supongamos que el precio P de las acciones (en dólares) sigue una ley de potencias $P = Bt^C$, donde t se expresa en años. (a) Evalúe las constantes B y C (véase el método sugerido en el problema anterior). (b) De acuerdo con esta ley de potencias, ¿cuál fue el precio de las acciones de la compañía el 3 de agosto del año 2000? (El precio alcanzado en realidad fue 82,83 \$.)

(a) Precio (en dólares)	2,10	4,19	9,14	10,82	16,85
(b) Años desde 1980	1	6	11	16	21

73 ••• **APLICACIÓN A LA INGENIERÍA** El detector japonés de neutrinos Super-Kamiokande está formado por un largo cilindro transparente de 39,3 m de diámetro y 41,4 m de alto, relleno de agua extremadamente

pura. Calcular la masa de agua que hay en el interior del cilindro. ¿Se corresponde la cifra obtenida con el dato que consta en el sitio web oficial del Super-K, según el cual el detector contiene 50 000 toneladas de agua? Densidad del agua: 1000 kg/m³. **SSM**

74 ••• **PÓNGALO EN SU CONTEXTO** Imagínese que va de excursión con un amigo a una zona llana y que deciden estimar la altura del pico de una montaña distante (figura 1.19) y la distancia horizontal que hay que caminar hasta el pico. Para ello, desde el punto en que están, miden que el ángulo que forma con la horizontal la línea imaginaria que apunta hacia el pico es de $7,5^\circ$ y que la misma línea está orientada 13° hacia el este. Mientras que usted se queda en el punto de observación, su amigo camina en dirección oeste 1,5 km. Desde la nueva posición su amigo sitúa el pico y observa que la línea imaginaria que apunta hacia el pico forma un ángulo de 15° con el norte. Calcule a qué distancia está la montaña de su posición y qué altura tiene el pico.

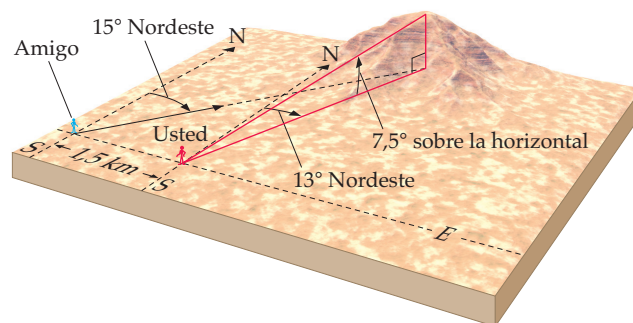


FIGURA 1.19 Problema 74

75 ••• **HOJA DE CÁLCULO** La tabla adjunta da el periodo T y el radio r de las órbitas correspondientes a los movimientos de cuatro satélites que giran alrededor de un asteroide pesado y denso. (a) Estos datos se relacionan mediante la fórmula $T = Cr^n$. Hallar C y n . (b) Se descubre un quinto satélite que tiene un periodo de 6,20 años. Determinar la órbita de este satélite que se ajuste a la misma fórmula.

(a) Periodo T , años	0,44	1,61	3,88	7,89
(b) Radio r , Gm	0,088	0,208	0,374	0,600

76 ••• **MÚLTIPLES PASOS** El periodo T de un péndulo simple depende de la longitud L del péndulo y de la aceleración g de la gravedad (dimensiones L/T^2). (a) Hallar una combinación sencilla de L y g que tenga las dimensiones de tiempo. (b) Comprobar la dependencia existente entre el periodo T y la longitud L midiendo el periodo (tiempo para una ida y vuelta completa) de un péndulo para dos valores diferentes de L . (c) En la fórmula correcta que relaciona T con L y g interviene una constante que es un múltiplo de π y que no puede obtenerse mediante el análisis dimensional de la parte (a). Puede hallarse experimentalmente como en la parte (b) si se conoce g . Utilizando el valor $g = 9,81$ m/s² y los resultados experimentales de la parte (b), hallar la fórmula que relaciona T con L y g .

77 ••• Un trineo está en reposo y tres amigos tiran de él sin conseguir moverlo. Paul tira en dirección nordeste con una fuerza de 50 lb. Johnny tira con una fuerza de 65 lb con un ángulo de 35° en dirección sudoeste y Connie tira del trineo con una fuerza que queremos determinar. (a) Expresar la fuerza ejercida tanto por Paul como por Johnny en función de los vectores unitarios. (b) Determinar la fuerza que realiza Connie primero expresándola en función de los vectores unitarios y después en forma de módulo y dirección (ángulo).

78 ••• La posición de un avión que vuela a 5,0 km de altura, la situamos a 1,5 km norte y 2,5 km este. (a) ¿Qué distancia hay desde el punto de observación hasta el avión? (b) ¿Con qué ángulo (respecto del norte en el plano horizontal) lo vemos? (c) Expresar el vector posición del avión desde nuestra situación en función de los vectores unitarios, si $\hat{i}$ se orienta hacia el este, $\hat{j}$ hacia el norte y $\hat{k}$ verticalmente hacia el cenit. (d) ¿Con qué ángulo de elevación (por encima del plano horizontal de nuestra posición) vemos el avión?