

SISTEMAS DE MEDIDA

Capítulo

1



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.

¿Cuántos granos de arena hay en su playa favorita? (Véase el ejemplo 1.6.)

El hombre siempre ha sentido curiosidad por el mundo que le rodea. Como demuestran los primeros documentos gráficos, el hombre siempre ha buscado el modo de imponer orden en la enmarañada diversidad de los sucesos observados. La ciencia es un método de búsqueda de los principios fundamentales y universales que gobiernan las causas y los efectos en el universo. El método científico consiste en construir, probar y relacionar modelos con el objetivo de describir, explicar y predecir la realidad. Esta metodología comporta establecer hipótesis, realizar experimentos que se puedan repetir y observar y formular nuevas hipótesis. El criterio esencial que determina el valor de un modelo científico es su simplicidad y su utilidad para elaborar predicciones o para explicar observaciones referidas a un amplio espectro de fenómenos.

Generalmente consideramos la ciencia como dividida en diversos campos separados, aunque esta división sólo tuvo lugar a partir del siglo XIX. La separación de sistemas complejos en categorías más simples que pueden estudiarse más fácilmente, constituye uno de los mayores éxitos de la ciencia. La biología, por ejemplo, estudia los organismos vivos. La química trata de las interacciones de los elementos y compuestos. La geología es el estudio de la Tierra. La astronomía estudia el sistema solar, las estrellas y las galaxias, y el universo en su conjunto. La física es la ciencia que trata de la materia y de la energía, del espacio y del tiempo. Incluye los principios que gobiernan el movimiento de las partículas y las ondas, las interacciones de las partículas y las propiedades de las moléculas, los átomos y los núcleos atómicos, así como los sistemas de mayor escala, como los gases, los líquidos y los sólidos. Algunos consideran que la física es la más fundamental de las ciencias porque sus principios son la base de los otros campos científicos.

- 1.1 Unidades
- 1.2 Conversión de unidades
- 1.3 Dimensiones de las magnitudes físicas
- 1.4 Notación científica
- 1.5 Cifras significativas y órdenes de magnitud

Figura 1.1 10 cubos de 1 cm de lado se multiplican por 1000 para obtener la medida de 1 m³.

La física es la ciencia de lo exótico y la ciencia de la vida cotidiana. En el extremo de lo exótico, los agujeros negros ponen retos a la imaginación. En la vida diaria, ingenieros, músicos, arquitectos, químicos, biólogos, médicos, etc., controlan temas tales como transmisión del calor, flujo de fluidos, ondas sonoras, radiactividad y fuerzas de tensión en edificios o en huesos para realizar su trabajo diario. Innumerables cuestiones respecto a nuestro mundo pueden responderse con un conocimiento básico de la física. ¿Por qué un helicóptero tiene dos rotores? ¿Por qué los astronautas flotan en el espacio? ¿Por qué los relojes que se mueven van más lentos? ¿Por qué el sonido se propaga alrededor de las esquinas, mientras la luz se propaga en línea recta? ¿Por qué un oboe suena distinto de una flauta? ¿Cómo funcionan los lectores de discos compactos (CD)? ¿Por qué no hay hidrógeno en la atmósfera? ¿Por qué los objetos metálicos parecen más fríos que los objetos de madera a igual temperatura? ¿Por qué el cobre es un conductor eléctrico mientras que la madera es un aislante? ¿Por qué el litio, con sus tres electrones, es enormemente reactivo, mientras que el helio, con dos electrones, es químicamente inerte?

En este capítulo empezaremos a prepararnos para contestar a algunas de estas preguntas examinando las unidades y sus dimensiones. Cada vez que se realiza una medida, debe saberse con qué precisión se ha hecho. Si un indicador del contenido de combustible de un depósito indica que hay 100 litros, ello no significa que haya exactamente 100 litros. Por lo tanto, ¿qué significa en realidad este dato, y cómo tenemos que expresarlo?

Física clásica y moderna

Los primeros esfuerzos registrados por el ser humano para reunir sistemáticamente el conocimiento sobre el movimiento de los cuerpos proceden 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 derrocase 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 extinguío.

Durante los siguientes doscientos años la experimentación aportó innumerables descubrimientos que inspiraron el desarrollo de las teorías físicas 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 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*. Como lo que necesitamos para comprender el mundo macroscópico donde vivimos es la física clásica, ésta domina en las partes I a V de este texto.

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 los años siguientes 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 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 espe-

cial 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 ésta se dedica 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 primamente 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 los reveló Einstein en 1905.

1.1 Unidades

Sabemos bien que no todas las cosas pueden medirse, por ejemplo, la belleza de una flor o de una fuga de Bach. Cualquiera que sea el conocimiento que tengamos de estas cosas, comprendemos fácilmente que este conocimiento no pertenece al campo de la ciencia. La capacidad no sólo de definir, sino también de medir, es un requisito de la ciencia, y en física, más que en cualquier otro campo del conocimiento, la definición precisa de los términos y la medida exacta de las magnitudes ha conducido a grandes descubrimientos. Comenzaremos nuestro estudio de la física estableciendo unas pocas definiciones básicas, introduciendo las unidades y mostrando cómo estas unidades se tratan en las ecuaciones. La “diversión” vendrá más adelante.

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.

El sistema internacional de unidades

Todas las magnitudes físicas pueden expresarse en función de un pequeño número de unidades fundamentales. Muchas de las magnitudes que se estudiarán, tales como velocidad, fuerza, ímpetu o momento lineal, trabajo, energía y potencia, pueden expresarse en función de tres unidades fundamentales: longitud, tiempo y masa. La selección de las unidades patrón o estándar para estas magnitudes fundamentales determina un sistema de unidades. El sistema utilizado universalmente en la comunidad científica es el *Sistema Internacional* (SI). En el SI la unidad patrón de longitud es el metro, la unidad patrón del tiempo es el segundo y la unidad patrón de la masa es el kilogramo. Las definiciones completas de las unidades del SI se dan en el Apéndice B.

Longitud La unidad patrón de longitud, el **metro** (símbolo m), estaba definida originalmente por la distancia comprendida entre dos rayas grabadas sobre una barra de una aleación de platino e iridio que se guarda en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, en Sèvres, Francia. Se escogió esta longitud 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). El metro patrón se define hoy como la distancia recorrida por la luz en el vacío durante un tiempo de $1/299\,792\,458$ segundos. (Esto supone que la velocidad de la luz es exactamente $299\,792\,458$ m/s.)

Ejercicio ¿Cuál es la circunferencia de la tierra en metros? (Respuesta Unos 4×10^7 m.)

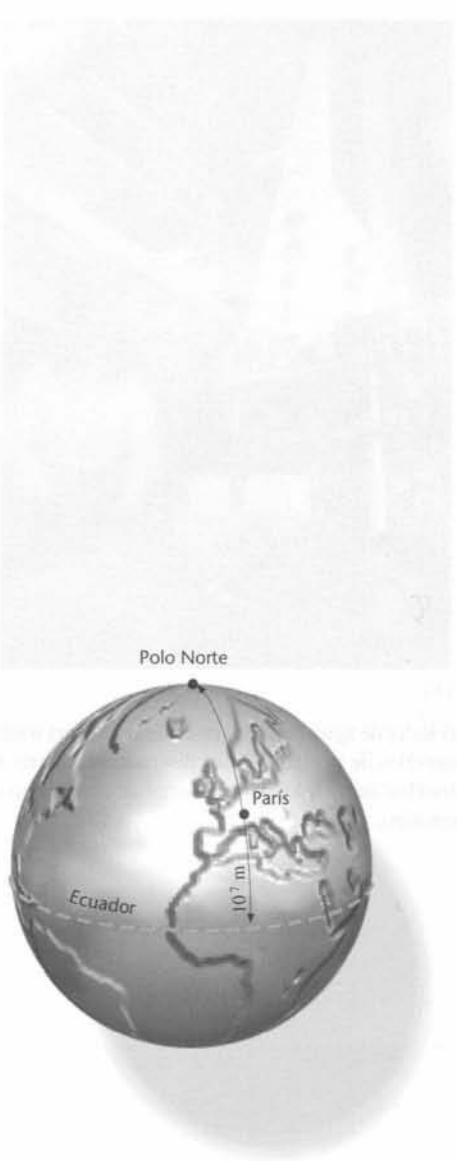
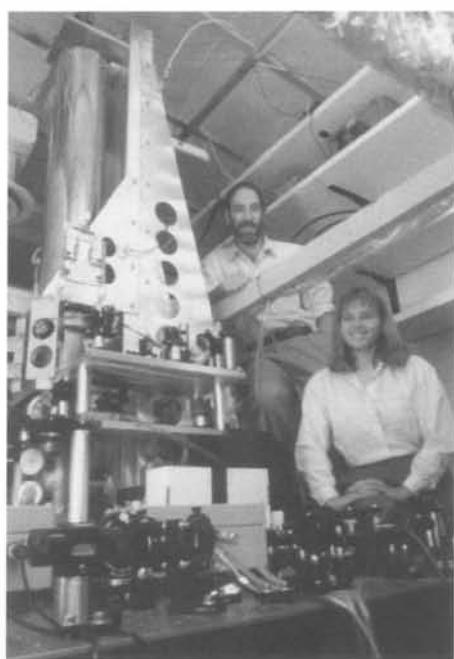


Figura 1.1 El patrón de longitud, el metro, se escogió originalmente de modo que la distancia del Ecuador al Polo Norte a lo largo del meridiano que pasa por París fuese 10^7 m.



(a)



(b)

(a) Reloj de agua utilizado en el siglo XIII para medir intervalos de tiempo. (b) Los diseñadores Jefferts & Meekhof de un reloj de una fuente de cesio junto al prototipo.

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. Actualmente 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 ciclos por segundo. Con estas definiciones, las unidades fundamentales de longitud y de tiempo son accesibles a cualquier laboratorio del mundo.

Masa La unidad de masa, el **kilogramo** (kg), igual a 1000 gramos (g), se define de modo que corresponde a la masa de un cuerpo patrón concreto, también conservado en Sèvres. Un duplicado del patrón de masa 1 kg se guarda en el National Bureau of Standards (NIST) de 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.

Al estudiar termodinámica y electricidad necesitaremos tres unidades físicas fundamentales más, la unidad de temperatura, el kelvin (K) (initialmente llamado grado kelvin); la unidad de cantidad de sustancia, el mol (mol); y la unidad de corriente eléctrica, el amperio (A). Existe otra unidad fundamental, la candela (cd), unidad de intensidad luminosa, que no tendremos ocasión de utilizar en este libro. Estas siete unidades fundamentales, el metro (m), el segundo (s), el kilogramo (kg), el kelvin (K), el amperio (A), el mol (mol) y la candela (cd), constituyen el sistema internacional de unidades (SI).

La unidad de cualquier magnitud física puede expresarse en función de estas unidades del SI fundamentales. Algunas combinaciones importantes reciben nombres especiales. Por ejemplo, la unidad SI de fuerza, $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$, se denomina newton (N). Análogamente, la unidad del SI de potencia, $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3 = \text{N} \cdot \text{m/s}$ se denomina vatio (W). Cuando una unidad como el newton o el vatio corresponde al nombre de una persona, se escribe en minúsculas. En cambio, las abreviaturas de estas unidades se escriben en mayúsculas.

En la tabla 1.1 se relacionan los prefijos de los múltiplos y submúltiplos más corrientes de las unidades del SI. Estos múltiplos son todos potencias de 10 y un sistema así se denomina sistema decimal; el sistema decimal basado en el metro se llama sistema métrico. Los prefijos pueden aplicarse a cualquier unidad del SI; por ejemplo, 0,001 segundos es un milisegundo (ms); 1 000 000 vatios es un megavatio (MW).

TABLA 1.1 Prefijos de las potencias de 10^\dagger

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}	milí	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 10^3 ó 10^{-3} y se utilizan con poca frecuencia. El otro prefijo que no es múltiplo de 10^3 ó 10^{-3} es centi (c). Los prefijos que se usan con más frecuencia en este libro se escriben en rojo. Nótese que todas las abreviaturas de prefijos múltiplos de 10^6 y superiores se escriben en mayúsculas; todos los otros se abrevian con minúsculas.

Otros sistemas de unidades

Otro sistema decimal que aún se utiliza, pero que está siendo reemplazado gradualmente por el sistema del SI, es el sistema cgs, basado en el centímetro, el gramo y el segundo. El centímetro se define ahora como 0,01 m y el gramo como 0,001 kg. Originalmente el gramo se definió como la masa de 1 cm³ de agua a 4 °C. (Según esta definición un kilogramo es la masa de 1000 centímetros cúbicos o un litro de agua.)

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 la libra como unidad fundamental de fuerza. La libra se define en función de la atracción gravitatoria de la Tierra en un lugar determinado sobre un cuerpo patrón. La unidad de masa se define entonces en función de la libra. La unidad fundamental de longitud en este sistema es el pie (ft) y la unidad de tiempo es el segundo con la misma definición que la unidad del SI. El pie se define como un tercio de una yarda (yd), y ésta se define ahora en función del metro como:

$$1 \text{ yd} = 0,9144 \text{ m} \quad (1.1)$$

$$1 \text{ pie} = \frac{1}{3} \text{ yd} = 0,3048 \text{ m} \quad (1.2)$$

Esto hace que la pulgada sea exactamente 2,54 cm. Este sistema no es decimal y es menos conveniente que el SI o cualquier otro sistema decimal, pues los múltiplos comunes de sus unidades no son potencias de 10. Por ejemplo 1 yarda = 3 pies y 1 pie = 12 pulgadas. 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. En el Apéndice A se dan las relaciones entre el sistema técnico inglés y el SI.

1.2 Conversión de unidades

Todas las magnitudes físicas contienen un número y una unidad. Cuando estas magnitudes se suman, se multiplican o se dividen en una ecuación algebraica, la unidad puede tratarse como cualquier otra magnitud algebraica. Por ejemplo, supóngase 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 :

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

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. Supóngase que quisieramos convertir nuestra respuesta de 240 km en millas (mi). Teniendo en cuenta que 1 mi = 1,61 km, si dividimos los dos miembros de esta igualdad por 1,61 km se obtiene

$$\frac{1 \text{ mi}}{1,61 \text{ km}} = 1$$

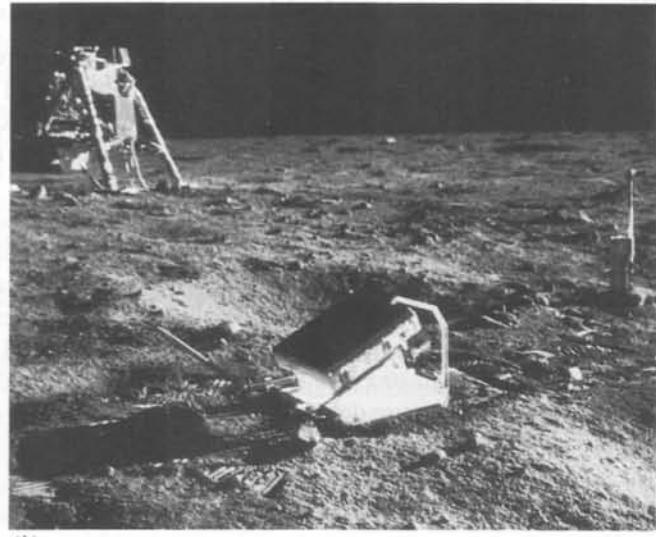
Como toda magnitud puede multiplicarse por 1 sin modificar su valor, podemos cambiar 240 km en millas multiplicando por el factor (1 mi)/(1,61 km):

$$240 \text{ km} = 240 \cancel{\text{km}} \times \frac{1 \text{ mi}}{1,61 \cancel{\text{km}}} = 149 \text{ mi}$$

El factor (1 mi)/(1,61 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. Escribiendo explícitamente las unidades, no es necesario pensar si hay que multiplicar o dividir por 1,61 para pasar de kilómetros a millas, ya que las unidades indican si hemos escogido el factor correcto o el incorrecto.



(a)



(b)

(a) Haces 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.

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 del problema 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 $(1 \text{ mi})/(1,61 \text{ km}) = 1$.

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

$$\frac{90 \text{ km}}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = [25 \text{ m/s}]$$

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

$$\frac{90 \text{ km}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ mi}}{1,61 \text{ km}} = [55,9 \text{ mi/h}]$$

Ejercicio ¿Cuál es el equivalente de 65 mi/h en metros por segundo? (Respuesta 29,1 m/s.)



1.3 Dimensiones de las magnitudes físicas

El área de una figura plana se encuentra multiplicando una longitud por otra. Por ejemplo, el área de un rectángulo de lados 2 m y 3 m es $A = (2 \text{ m})(3 \text{ m}) = 6 \text{ m}^2$. La unidad de esta área es el metro cuadrado. 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 L^2 . La idea de dimensiones se amplía fácilmente a otras magnitudes no geométricas. Por ejemplo, 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 dimensiones. 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 cm^2 y C es 4 m^2 , debemos convertir B en m^2 o C en cm^2 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 $A = 2\pi r$ para el área de un círculo. Veremos inmediatamente que esto no puede ser correcto, ya que $2\pi r$, 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. Una ecuación puede tener las dimensiones correctas en cada término, pero no describir una situación física. La tabla 1.2 relaciona las dimensiones de algunas magnitudes corrientes en física.

TABLA 1.2 Dimensiones de las magnitudes físicas

Magnitud	Símbolo	Dimensión
Área	A	L^2
Volumen	V	L^3
Velocidad	v	L/T
Aceleración	a	L/T^2
Fuerza	F	ML/T^2
Presión (F/A)	p	M/LT^2
Densidad (M/V)	ρ	M/L^3
Energía	E	ML^2/T^2
Potencia (E/T)	P	ML^2/T^3

EJEMPLO 1.2 | Las dimensiones físicas de la presión

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

Planteamiento del problema En la tabla 1.2 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 . Dividamos las unidades de presión por las de densidad e inspeccionemos el resultado.

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 v^2 . Las dimensiones de la presión son las mismas que las de densidad multiplicadas por las de velocidad al cuadrado:

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

Observación Cuando estudiemos los fluidos en el capítulo 13, veremos que según la ley de Bernouilli aplicada a un fluido que se mueve a una altura constante, $p + \frac{1}{2} \rho v^2$ es constante, en donde p es la presión del fluido. Esto también se conoce como el efecto Venturi.

1.4 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 comprendido entre 1 y 10 y una potencia de 10, por ejemplo $10^2 (= 100)$ ó $10^3 (= 1000)$, etc. 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 $1,5 \times 10^{11}$ 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 $0,0001 = 10^{-4}$. Por ejemplo, el diámetro de un virus es aproximadamente igual a 0,0000001 m = 1×10^{-8} m.

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:

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

De igual forma,

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

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

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

EJEMPLO 1.3 | 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 del problema 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 .

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

$$t = \frac{N}{R}$$

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

$$N = \frac{6,02 \times 10^{23} \text{ átomos}}{12 \text{ g}} \times 1 \text{ g} = 5,02 \times 10^{22} \text{ átomos}$$

3. Calcular el número de segundos necesarios para contar los átomos a 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:

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

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:

$$t = 5,02 \times 10^{22} \text{ s} \times \frac{1 \text{ a}}{3,15 \times 10^7 \text{ s/a}}$$

$$= \frac{5,02}{3,15} \times 10^{22-7} \text{ a} = \boxed{1,59 \times 10^{15} \text{ a}}$$

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

Ejercicio 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? (Respuesta $3,19 \times 10^5$ años.)

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 del problema 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 convertir cm^3 en m^3 utilizando el factor de conversión $1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$.

1. Calcular el volumen en cm^3 :

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

2. Convertir a m^3 :

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

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

La suma o resta de dos números escritos en notación científica cuando los exponentes no coinciden es ligeramente más delicada. Consideremos, por ejemplo,

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

Para calcular esta suma sin expresar ambos números en su forma decimal ordinaria, basta con volver a escribirlos de forma que la potencia de 10 sea la misma en ambos. En este caso se puede calcular la suma escribiendo, por ejemplo, $1,200 \times 10^2 = 1200 \times 10^{-1}$ y luego sumando:

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

Si los exponentes son muy diferentes, uno de los números es mucho menor que el otro y frecuentemente puede despreciarse en las operaciones de suma o resta. Por ejemplo,

$$(2 \times 10^6) + (9 \times 10^{-3}) = 2\,000\,000 + 0,009 \\ = 2\,000\,000,009 \approx 2 \times 10^6$$

en donde el símbolo \approx significa “aproximadamente igual a”.

Al elevar una potencia a otra potencia, los exponentes se multiplican. Por ejemplo,

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

1.5 Cifras significativas y órdenes de magnitud

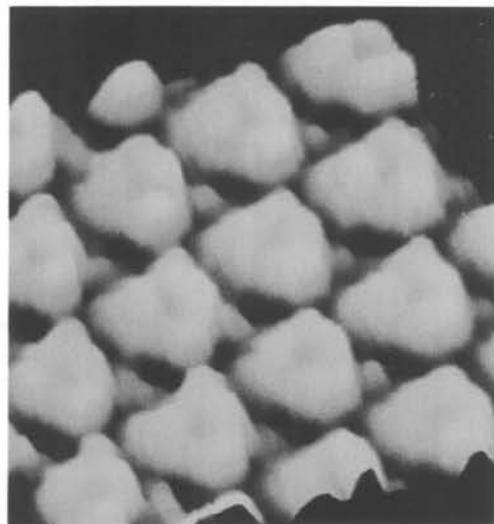
Muchos de los números que se manejan en la ciencia son el resultado de una medida y por lo tanto sólo se conocen con cierta incertidumbre experimental. La magnitud de esta incertidumbre depende de la habilidad del experimentador y del aparato utilizado, y frecuentemente sólo puede estimarse. Se suele 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 $\pm 0,005$ m = $\pm 0,5$ 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 $\pm 0,5$ mm, en lugar de $\pm 0,5$ 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 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 en 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. Si se ha calculado el radio mediante pasos, la exactitud de la medida será tan sólo de 0,5 m. Es decir, la longitud del radio tendrá como máximo un valor de 8,5 m y como mínimo un valor de 7,5 m. Si la longitud del radio es 8,5 m, el valor del área es $\pi(8,5 \text{ m})^2 = 226,9800692 \text{ m}^2$, mientras que si es 7,5 m, el área vale $\pi(7,5 \text{ m})^2 = 176,714587 \text{ m}^2$. 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. Ésta 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.



Moléculas de benceno del orden de 10^{-10} m de diámetro, vistas mediante un microscopio electrónico de barrido.



Cromosomas del orden de 10^{-6} m vistos mediante un microscopio electrónico de barrido.

EJEMPLO 1.5 | Cifras significativas

Determinar la suma $1,040 + 0,21342$.

Planteamiento del problema El primer número, 1,040, tiene sólo tres cifras significativas después de 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.

Sumar los números manteniendo sólo 3 dígitos más allá de la coma decimal: $1,040 + 0,21342 = \boxed{1.253}$

Ejercicio Aplicar la regla apropiada para determinar el número de cifras significativas en las siguientes operaciones: (a) 1.58×0.03 ; (b) $1.4 + 2.53$; y (c) $2.34 \times 10^2 + 4.93$. (Respuestas (a) 0,05, (b) 3,9; (c) 2.39×10^2 .)



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.

Los datos de la mayor parte de los ejemplos y ejercicios de este texto se dan con tres (y en algunas ocasiones cuatro) cifras significativas, pero en ciertos casos éstas no se han especificado y se dice, por ejemplo, que las dimensiones del tablero de una mesa son de 1 y 3 m en lugar de expresar las longitudes como 1,00 m y 3,00 m. A no ser que se indique lo contrario, puede suponerse que cualquier dato que se utilice en un problema o ejercicio se conoce con tres cifras significativas. Esta misma suposición vale para los datos de los problemas de final de capítulo. 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 $\approx 10^{-3}$ 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 de 10^0 m. 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. Debe pensarse 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**.

EXPLORANDO

¿Cuántos afinadores de piano hay en Chicago? Averigüe esto, y más, en www.whfreeman.com/tipler5e.



La Tierra, con un diámetro del orden de 10^7 m, vista desde el espacio.



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

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	10^5
Sol	10^9	Ser humano	10^2	Periodo de revolución terrestre	10^7
Distancia Tierra-Sol	10^{11}	Cohete espacial Saturno 5	10^6	Vida media de un ser humano	10^9
Sistema solar	10^{13}	Pirámide	10^{10}	Periodo de semidesintegración del plutonio 239	10^{12}
Distancia de la estrella más cercana	10^{16}	Tierra	10^{24}	Vida media de una cordillera	10^{15}
Galaxia Vía Láctea	10^{21}	Sol	10^{30}	Edad de la Tierra	10^{17}
Universo visible	10^{26}	Galaxia Vía Láctea	10^{41}	Edad del universo	10^{18}
		Universo	10^{52}		

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 del problema 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.

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

$$\frac{\text{Desgaste de 1 cm}}{60\,000 \text{ km recorridos}} = \frac{\text{Desgaste de } 1,7 \times 10^{-5} \text{ cm}}{1 \text{ km recorrido}}$$

≈ 0,2 μm de desgaste por km recorrido

Ejercicio ¿Cuántos granos de arena hay en un tramo de playa de 0,50 km de largo por 100 m de ancho? *Sugerencia: supóngase que hay arena hasta una profundidad de 3 m. El diámetro de un grano de arena es del orden de 1,00 mm. (Respuesta ≈ 2 × 10¹⁴.)*

Resumen

Las unidades fundamentales del SI son el metro (m), el segundo (s), el kilogramo (kg), el kelvin (K), el amperio (A), el mol (mol) y la candela (cd). La unidad (o las unidades) de cualquier magnitud física siempre puede(n) expresarse en función de estas unidades fundamentales.

TEMA**OBSERVACIONES Y ECUACIONES RELEVANTES****1. Unidades**

La magnitud de una cantidad física (por ejemplo, longitud, tiempo, fuerza y energía) se expresa mediante un número y una unidad.

Unidades fundamentales

Las unidades fundamentales del *Sistema Internacional* (SI) son el (m), el segundo (s), el kilogramo (kg), el kelvin (K), el amperio (A), el mol (mol) y la candela (cd). La unidad (o las unidades) de toda magnitud física puede(n) expresarse en función de estas unidades fundamentales.

Las unidades en las ecuaciones

Las unidades en las ecuaciones se tratan de igual modo que cualquier otra magnitud algebraica.

Conversión

Los factores de conversión, que son siempre igual a 1, proporcionan un método conveniente para convertir un tipo de unidad en otra.

2. Dimensiones	Los dos miembros de una ecuación deben tener las mismas dimensiones.
3. 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.
4. Exponentes	
Multiplicación	Al multiplicar dos números, los exponentes se suman.
División	Al dividir dos números, los exponentes se restan.
Potencia	Cuando un número que contiene un exponente se eleva a otro exponente, los exponentes se multiplican.
5. 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.
6. 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.

Problemas

- 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 *Student Solutions Manual*.

iSOLVE Problemas que pueden encontrarse en el servicio iSOLVE de tareas para casa.

iSOLVE ✓ Estos problemas del servicio “Checkpoint” son problemas de control, que impulsan a los estudiantes a describir cómo se llega a la respuesta y a indicar su nivel de confianza.

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

Problemas conceptuales

1 ● **SSM** **iSOLVE** ¿Cuál de las siguientes magnitudes físicas *no* es una de las fundamentales del Sistema Internacional? (a) Masa. (b) Longitud. (c) Fuerza. (d) Tiempo. (e) Todas ellas son magnitudes físicas fundamentales.

2 ● **iSOLVE** 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.

3 ● **iSOLVE** El prefijo giga significa (a) 10³, (b) 10⁶, (c) 10⁹, (d) 10¹², (e) 10¹⁵.

4 ● **iSOLVE** El prefijo mega significa (a) 10⁻⁹, (b) 10⁻⁶, (c) 10⁻³, (d) 10⁶, (e) 10⁹.

5 ● **SSM** **iSOLVE** El prefijo pico significa (a) 10⁻¹², (b) 10⁻⁶, (c) 10⁻³, (d) 10⁶, (e) 10⁹.

6 ● **iSOLVE** El número 0,0005130 tiene ____ cifras significativas. (a) una, (b) tres, (c) cuatro, (d) siete, (e) ocho.

7 ● **iSOLVE** El número 23,0040 tiene ____ cifras significativas (a) dos, (b) tres, (c) cuatro, (d) cinco, (e) seis.

8 ● **iSOLVE** ¿Cuáles son las ventajas e inconvenientes de utilizar la longitud de un brazo como unidad estándar de longitud?

9 ● Verdadero o falso:

- Para sumar dos magnitudes es condición necesaria que tengan las mismas dimensiones.
- Para multiplicar dos magnitudes es condición necesaria que tengan las mismas dimensiones.
- Todos los factores de conversión tienen el valor 1.

Cálculo y aproximaciones

10 ●● **SSM** El ángulo subtendido por el diámetro de la Luna en un punto de la Tierra es aproximadamente 0,524° (figura 1.2). 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.)

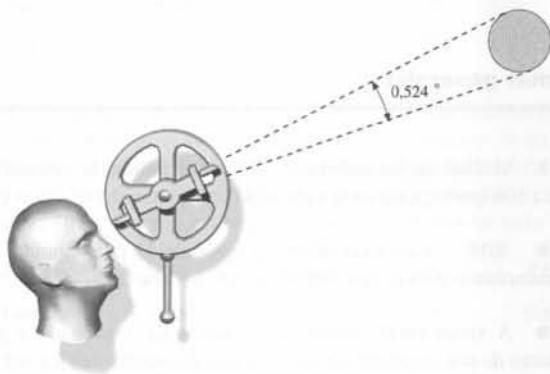


Figura 1.2 Problema 10

- 11 ●● SSM **iSOLVE** El Sol posee una masa de 1.99×10^{30} kg. Fundamentalmente el Sol está compuesto de hidrógeno, con sólo una pequeña cantidad de elementos más pesados. El átomo de hidrógeno tiene una masa de 1.67×10^{-27} kg. Estimar el número de átomos de hidrógeno del Sol.

- 12 ●● Muchas bebidas refrescantes se venden utilizando como envase latas de aluminio. Una lata contiene aproximadamente unos 0,018 kg de aluminio. (a) Estimar cuántas latas se consumen durante un año en los Estados Unidos de Norteamérica. (b) Calcular la masa total de aluminio atribuible al consumo de latas de bebidas refrescantes. (c) Si por cada kilogramo de aluminio, en un centro de reciclaje se obtiene 1 \$, ¿cuál es el valor económico del aluminio acumulado durante un año de las latas usadas?

- 13 ●● Richard Feynman en su ensayo "Hay mucho sitio libre en todas partes" propuso escribir la *Encyclopædia Britannica* completa en la cabeza de un alfiler. (a) Estimar el tamaño que deberían tener las letras si suponemos, al igual que Richard Feynman, que el diámetro de la cabeza del alfiler mide 1,5875 mm. (b) Si en un metal el espacio entre átomos es de 0,5 nm (5×10^{-10} m), ¿cuántos átomos abarca el grosor de cada letra?

- 14 ●● SSM (a) Estimar cuántos litros de gasolina usan los automóviles cada día en los Estados Unidos de Norteamérica 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 de Norteamérica para fabricar la gasolina necesaria para la automoción. ¿Cuántos barriles por día supone esta cifra?

- 15 ●● 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 de Norteamérica. (b) Calcular el volumen de vertedero ocupado por los pañales, suponiendo que 1000 kg de estos residuos ocupan 1 m³. (c) Calcular la superficie que ocuparían anualmente estos residuos si se supone que necesitan una profundidad media en el vertedero de 10 m.

- 16 ●● A cada dígito binario lo denominamos *bit*. Una serie de bits agrupados se denomina *palabra* y una palabra compuesta por ocho bits se denomina *byte*. Supongamos que el disco duro de un ordenador tiene una capacidad de 20 gigabytes. (a) ¿Cuántos bits pueden almacenarse en el disco? (b) Estimar cuántos libros típicos podrían almacenarse en el disco duro suponiendo que cada carácter requiere un byte.

- 17 ●● SSM Estimar cuánto se recauda anualmente en el peaje del puente George Washington en Nueva York. El peaje cuesta 6 \$ en el recorrido de Nueva York a Nueva Jersey y es gratis en el sentido contrario. Los vehículos circulan en un total de 14 carriles.

Unidades

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

- 19 ● Escribir cada una de las siguientes magnitudes sin usar prefijos: (a) 40 μ W, (b) 4 ns, (c) 3 MW, (d) 25 km.

- 20 ● **SSM** Escribir las siguientes magnitudes (que no se expresan en unidades del SI) sin usar abreviaturas. Por ejemplo, 10³ metros = 1 kilómetro: (a) 10⁻¹² abucheos, (b) 10⁹ mugidos, (c) 10⁻⁶ teléfonos, (d) 10⁻¹⁸ chicos, (e) 10⁶ teléfonos, (f) 10⁻⁹ cabras, (g) 10¹² toros.

- 21 ●● **iSOLVE** 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) $v^2 = 2C_1 x$. (d) $x = C_1 \cos C_2 t$. (e) $v^2 = 2C_1 - (C_2 x)^2$.

- 22 ●● **iSOLVE** Si en el problema 21 se expresa x en pies, t en segundos y v en pies por segundos, ¿cuáles son las dimensiones de las constantes C_1 y C_2 ?

Conversión de unidades

- 23 ● 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, (b) el radio de la Tierra. (c) Convertir las respuestas dadas en (a) y (b) de metros a millas.

- 24 ● **iSOLVE** La velocidad del sonido en el aire es 340 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.

- 25 ●● SSM **iSOLVE** Un jugador de baloncesto tiene una altura de 6 pies y 10,5 pulgadas. ¿Cuál es su altura en centímetros?

- 26 ●● Completar las siguientes igualdades: (a) 100 km/h = ____ mi/h. (b) 60 cm = ____ in. (c) 100 yd = ____ m.

- 27 ●● La mayor separación entre dos soportes del puente *Golden Gate* es de 4200 pies. Expressar esta distancia en km.

- 28 ●● **SSM** Hallar el factor de conversión para convertir millas por hora en kilómetros por hora.

- 29 ●● Completar las siguientes expresiones: (a) $1,296 \times 10^5$ km/h² = ____ km/h · s. (b) $1,296 \times 10^5$ km/h² = ____ m/s². (c) 60 mi/h = ____ pies/s. (d) 60 mi/h = ____ m/s.

- 30 ●● En un litro hay 1,057 cuartos y 4 cuartos en un galón. (a) ¿Cuántos litros hay en un galón? (b) Un barril equivale a 42 galones. ¿Cuántos metros cúbicos hay en un barril?

- 31 ●● **iSOLVE** Una milla cuadrada tiene 640 acres. ¿Cuántos metros cuadrados tiene un acre?

- 32 ●● **iSOLVE** Un cilindro circular recto tiene un diámetro de 6,8 pulgadas y una altura de 2 pies. ¿Cuál es el volumen del cilindro en (a) pies cúbicos, (b) metros cúbicos, (c) litros?

- 33 ●● **SSM** 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) $\frac{1}{2} at^2$.

Dimensiones de las magnitudes físicas

34 ● ¿Cuáles son las dimensiones de las constantes que aparecen en cada uno de los apartados del problema 21?

35 ●● La ley de desintegración radiactiva es $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$, en 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 ?

36 ●● **SSM** 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 $F = Gm_1 m_2 / r^2$.

37 ●● Un objeto situado en el extremo de una cuerda se mueve según un círculo. La fuerza ejercida por la cuerda tiene unidades de ML/T^2 y depende de la masa del objeto, de su velocidad y del radio del círculo. ¿Qué combinación de estas variables ofrece las dimensiones correctas de la fuerza?

38 ●● **ISOLVE** Demostrar que el producto de la masa por la aceleración y la velocidad tiene las dimensiones de una potencia.

39 ●● El momento lineal o ímpetu de un objeto es el producto de su masa y velocidad. Demostrar que esta magnitud tiene las dimensiones de una fuerza multiplicada por el tiempo.

40 ●● ¿Qué combinación de la fuerza y otra magnitud física tiene las dimensiones de la potencia?

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

42 ●● La tercera ley de Kepler relaciona el periodo de un planeta con su radio r , la constante G de la ley de gravitación de Newton ($F = Gm_1 m_2 / r^2$) 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

43 ● **SSM** 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) $2,17 \times 10^5$.

44 ● Escribir en notación científica los siguientes valores: (a) $3,1 \text{ GW} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$. (b) $10 \text{ pm} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$. (c) $2,3 \text{ fs} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ s}$. (d) $4 \mu\text{s} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ s}$.

45 ● **ISOLVE** 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) $27,6 + (5,99 \times 10^2)$.

46 ● Calcular las siguientes operaciones redondeando al número correcto de cifras significativas y expresando el resultado en notación científica: (a) $(200,9)(569,3)$. (b) $(0,000000513)(62,3 \times 10^7)$. (c) $28,401 + (5,78 \times 10^4)$. (d) $63,25/(4,17 \times 10^{-3})$.

47 ● **SSM** **ISOLVE** Una membrana celular posee un espesor de 7 mm. ¿Cuántas membranas de este espesor deberían apilarse para conseguir una altura de 1 pulgada?

48 ● Calcular las siguientes operaciones redondeando al número correcto de cifras significativas y expresando el resultado en notación científica: (a) $(2,00 \times 10^4)(6,10 \times 10^{-2})$. (b) $(3,141592)(4,00 \times 10^5)$. (c) $(2,32 \times 10^3)/(1,16 \times 10^8)$. (d) $(5,14 \times 10^3) + (2,78 \times 10^2)$. (e) $(1,99 \times 10^2) + (9,99 \times 10^{-5})$.

49 ● **SSM** Realizar los siguientes cálculos y redondear los resultados con el número correcto de cifras significativas: (a) $3,141592654 \times (23,2)^2$. (b) $2 \times 3,141592654 \times 0,76$. (c) $4/3\pi \times (1,1)^3$. (d) $(2,0)^5/3,141592654$.

Problemas generales

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

51 ● **SSM** Contando dólares a razón de 1\$ por segundo, ¿cuántos años necesitaríamos para contar 1000 millones de dólares?

52 ● A veces puede obtenerse un factor de conversión a partir del conocimiento de una constante en dos sistemas diferentes. (a) La velocidad de la luz en el vacío es $186\,000 \text{ mi/s} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$. Utilizar este hecho para hallar el número de kilómetros que tiene una milla. (b) El peso de un pie³ de agua es 62,4 libras. Utilizar este dato y el hecho de que 1 cm³ de agua tiene una masa de 1 g para hallar el peso en libras de 1 kg de masa.

53 ●● **ISOLVE** 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?

54 ●● **ISOLVE** Durante una tormenta cae un total de 1,4 pulgadas de lluvia. ¿Cuánta agua ha caído sobre un acre de tierra? (1 mi² = 640 acre.)

55 ●● Un núcleo de hierro tiene un radio de $5,4 \times 10^{-15} \text{ m}$ y una masa de $9,3 \times 10^{-26} \text{ kg}$. (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 $5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$.)

56 ●● Calcular las siguientes expresiones. (a) $(5,6 \times 10^{-5})(0,0000075)/(2,4 \times 10^{-12})$. (b) $(14,2)(6,4 \times 10^7)(8,2 \times 10^{-9}) - 4,06$. (c) $(6,1 \times 10^{-6})^2(3,6 \times 10^4)^3/(3,6 \times 10^{-11})^{1/2}$. (d) $(0,000064)^{1/3}/[(12,8 \times 10^{-3})(490 \times 10^{-1})^{1/2}]$.

57 ●● **SSM** La unidad astronómica (UA) se define como la distancia media de la Tierra al Sol, a saber, $1,496 \times 10^{11} \text{ m}$. 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?

58 ●● Para que el universo deje algún dfa de expansionarse y comience a contraerse, su densidad media debe ser al menos de $6 \times 10^{-27} \text{ kg/m}^3$. (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? ($m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$; $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$.)

59 ●● **SSM** 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, lleno 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 oficial del Super-K, según el cual el detector contiene 50.000 toneladas de agua? Densidad del agua: 1000 kg/m^3 .

60 ●● La tabla adjunta da los resultados experimentales correspondientes a una medida del periodo del movimiento T de un objeto de masa m suspendido de un muelle en función de la masa del objeto. Estos datos están de acuerdo con una ecuación sencilla que expresa T en función de m de la forma $T = Cm^n$, en donde C y n son constantes y n no es necesariamente un entero. (a) Hallar n y C . (Para ello existen varios procedimientos. Uno de ellos consiste en suponer un valor de n y comprobarlo representando T en función de m^n en papel milimetrado. Si la suposición es correcta, la representación será una recta. Otro consiste en representar $\log T$ en función de $\log m$. La pendiente