

**I. DISPOSICIONES GENERALES****MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO**

**2625** *Corrección de errores y erratas del Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida.*

Advertidos errores y erratas relativos a la escritura de símbolos y caracteres en el Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida, publicado en el «Boletín Oficial del Estado» número 18, de 21 de enero de 2010, se procede a publicar de nuevo el anexo completo:

**ANEXO**

## Capítulo I

**Unidades básicas del SI**

## 1. Enumeración de las unidades básicas del SI

1. Las magnitudes a las que se refieren y el nombre y símbolo de las unidades básicas del SI son los siguientes:

*Tabla 1*

Unidades SI básicas

Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad
longitud	metro	m
masa	kilogramo	kg
tiempo, duración	segundo	s
corriente eléctrica	amperio	A
temperatura termodinámica	kelvin	K
cantidad de sustancia	mol	mol
intensidad luminosa	candela	cd

## 2. Definiciones de las unidades básicas del SI

Las definiciones de las unidades básicas del SI son las siguientes:

2.1. Unidad de longitud (metro, m): el metro es la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un tiempo de  $1/299\,792\,458$  de segundo.

De aquí resulta que la velocidad de la luz en el vacío es igual a  $299\,792\,458$  metros por segundo exactamente,  $c_0 = 299\,792\,458$  m/s.

2.2. Unidad de masa (kilogramo, kg): el kilogramo es la unidad de masa; es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo, adoptado por la tercera Conferencia General de Pesas y Medidas en 1901.

2.3. Unidad de tiempo (segundo, s): el segundo es la duración de  $9\,192\,631\,770$  periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133.

De aquí resulta que la frecuencia de la transición hiperfina del estado fundamental del átomo de cesio es igual a  $9\,192\,631\,770$  hercios,  $\nu(\text{hfs Cs}) = 9\,192\,631\,770$  Hz. Esta definición se refiere a un átomo de cesio en reposo, a una temperatura de 0 K.

2.4. Unidad de intensidad de corriente eléctrica (amperio, A): el amperio es la intensidad de una corriente constante que, manteniéndose en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y situados a una distancia

de 1 metro uno del otro, en el vacío, produciría entre estos conductores una fuerza igual a  $2 \times 10^{-7}$  newtons por metro de longitud.

De aquí resulta que la constante magnética,  $\mu_0$ , también conocida como permeabilidad del vacío, es exactamente igual a  $4\pi \times 10^{-7}$  henrios por metro,  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m.

2.5. Unidad de temperatura termodinámica (kelvin, K): el kelvin, unidad de temperatura termodinámica, es la fracción  $1/273,16$  de la temperatura termodinámica del punto triple del agua. Esta definición se refiere a un agua de una composición isotópica definida por las siguientes relaciones de cantidad de sustancia: 0,000 155 76 moles de  $^2\text{H}$  por mol de  $^1\text{H}$ , 0,000 379 9 moles de  $^{17}\text{O}$  por mol de  $^{16}\text{O}$  y 0,002 005 2 moles de  $^{18}\text{O}$  por mol de  $^{16}\text{O}$ .

De aquí resulta que la temperatura termodinámica del punto triple del agua es igual a 273,16 kelvin exactamente,  $T_{\text{tpw}} = 273,16$  K.

2.6. Unidad de cantidad de sustancia (mol, mol): el mol es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012 kilogramos de carbono 12. Esta definición se refiere a átomos de carbono 12 no ligados, en reposo y en su estado fundamental.

Cuando se emplee el mol, deben especificarse las entidades elementales, que pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones u otras partículas o grupos especificados de tales partículas.

De aquí resulta que la masa molar del carbono 12 es igual a 12 g por mol, exactamente,  $M(^{12}\text{C}) = 12$  g/mol.

2.7. Unidad de intensidad luminosa (candela, cd): la candela es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  hercios y cuya intensidad energética en dicha dirección es de  $1/683$  vatios por estereorradián.

De aquí resulta que la eficacia luminosa espectral de una radiación monocromática de frecuencia igual a  $540 \times 10^{12}$  hercios es igual a 683 lúmenes por vatio, exactamente,  $K = 683$  lm/W = 683 cd sr/W.

## Capítulo II

### Unidades SI derivadas

1. Las unidades derivadas se forman a partir de productos de potencias de unidades básicas. Las unidades derivadas coherentes son productos de potencias de unidades básicas en las que no interviene ningún factor numérico más que el 1. Las unidades básicas y las unidades derivadas coherentes del SI forman un conjunto coherente, denominado conjunto de unidades SI coherentes.

2. El número de magnitudes utilizadas en el campo científico no tiene límite; por tanto no es posible establecer una lista completa de magnitudes y unidades derivadas. Sin embargo, la tabla 2 presenta algunos ejemplos de magnitudes derivadas y las unidades derivadas coherentes correspondientes, expresadas directamente en función de las unidades básicas.

Tabla 2

Ejemplos de unidades SI derivadas coherentes expresadas a partir de las unidades básicas

Magnitud derivada		Unidad SI derivada coherente	
Nombre	Símbolo	Nombre	Símbolo
área, superficie	A	metro cuadrado	m <sup>2</sup>
volumen	V	metro cúbico	m <sup>3</sup>
velocidad	v	metro por segundo	m/s
aceleración	a	metro por segundo cuadrado	m/s <sup>2</sup>

Magnitud derivada		Unidad SI derivada coherente	
Nombre	Símbolo	Nombre	Símbolo
número de ondas	$\sigma, \tilde{\nu}$	metro a la potencia menos uno	$m^{-1}$
densidad, masa en volumen	$\rho$	kilogramo por metro cúbico	$kg/m^3$
densidad superficial	$\rho_A$	kilogramo por metro cuadrado	$kg/m^2$
volumen específico	$\nu$	metro cúbico por kilogramo	$m^3/kg$
densidad de corriente	$j$	amperio por metro cuadrado	$A/m^2$
campo magnético	$H$	amperio por metro	$A/m$
concentración de cantidad de sustancia <sup>(a)</sup> , concentración	$c$	mol por metro cúbico	$mol/m^3$
concentración másica	$\rho, \gamma$	kilogramo por metro cúbico	$kg/m^3$
luminancia	$L_v$	candela por metro cuadrado	$cd/m^2$
índice de refracción <sup>(b)</sup>	$N$	uno	1
permeabilidad relativa <sup>(b)</sup>	$\mu_r$	uno	1

(a) En el campo de la química clínica, esta magnitud se llama también concentración de sustancia.

(b) Son magnitudes adimensionales o magnitudes de dimensión uno. El símbolo «1» de la unidad (el número «uno») generalmente se omite cuando se indica el valor de las magnitudes adimensionales.

3. Por conveniencia, ciertas unidades derivadas coherentes han recibido nombres y símbolos especiales. Se recogen en la tabla 3. Estos nombres y símbolos especiales pueden utilizarse con los nombres y los símbolos de las unidades básicas o derivadas para expresar las unidades de otras magnitudes derivadas. Algunos ejemplos de ello figuran en la tabla 4. Los nombres y símbolos especiales son una forma compacta de expresar combinaciones de unidades básicas de uso frecuente, pero en muchos casos sirven también para recordar la magnitud en cuestión. Los prefijos SI pueden emplearse con cualquiera de los nombres y símbolos especiales, pero al hacer esto la unidad resultante no será una unidad coherente. En la última columna de las tablas 3 y 4 se muestra cómo pueden expresarse las unidades SI mencionadas en función de las unidades SI básicas. En esta columna, los factores de la forma  $m^0$ ,  $kg^0$ , etc., que son iguales a 1, no se muestran explícitamente.

Tabla 3

Unidades SI derivadas coherentes con nombres y símbolos especiales

Magnitud derivada	Unidad SI derivada coherente <sup>(a)</sup>			
	Nombre	Símbolo	Expresión mediante otras unidades SI	Expresión en unidades SI básicas
ángulo plano	radián <sup>(b)</sup>	rad	1 <sup>(b)</sup>	$m/m$
ángulo sólido	estereorradián <sup>(b)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	$m^2/m^2$
frecuencia	hercio <sup>(d)</sup>	Hz	--	$s^{-1}$
fuerza	newton	N	--	$m\ kg\ s^{-2}$
presión, tensión	pascal	Pa	$N/m^2$	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
energía, trabajo, cantidad de calor	julio	J	$N\ m$	$m^2\ kg\ s^{-2}$
potencia, flujo energético	vatio	W	$J/s$	$m^2\ kg\ s^{-3}$
carga eléctrica, cantidad de electricidad	culombio	C	--	$s\ A$
diferencia de potencial eléctrico, fuerza electromotriz	voltio	V	$W/A$	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$

Magnitud derivada	Unidad SI derivada coherente <sup>(a)</sup>			
	Nombre	Símbolo	Expresión mediante otras unidades SI	Expresión en unidades SI básicas
capacidad eléctrica	faradio	F	C/V	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$
resistencia eléctrica	ohmio	$\Omega$	V/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-2}$
conductancia eléctrica	siemens	S	A/V	$m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2$
flujo magnético <sup>(g)</sup>	weber	Wb	V s	$m^2 kg s^{-2} A^{-1}$
densidad de flujo magnético <sup>(h)</sup>	tesla	T	Wb/m <sup>2</sup>	$kg s^{-2} A^{-1}$
inductancia	henrio	H	Wb/A	$m^2 kg s^{-2} A^{-2}$
temperatura Celsius	grado Celsius <sup>(e)</sup>	°C	--	K
flujo luminoso	lumen	lm	cd sr <sup>(c)</sup>	cd
iluminancia	lux	lx	lm/m <sup>2</sup>	$m^{-2} cd$
actividad de un radionucleido <sup>(f)</sup>	becquerel <sup>(d)</sup>	Bq	--	$s^{-1}$
dosis absorbida, energía másica (comunicada), kerma	gray	Gy	J/kg	$m^2 s^{-2}$
dosis equivalente, dosis equivalente ambiental, dosis equivalente direccional, dosis equivalente individual	sievert	Sv	J/kg	$m^2 s^{-2}$
actividad catalítica	katal	kat	--	$s^{-1} mol$

(a) Los prefijos SI pueden emplearse con cualquiera de los nombres y símbolos especiales, pero en este caso la unidad resultante no es una unidad coherente.

(b) El radián y el estereorradián son nombres especiales del número uno, que pueden usarse para proporcionar información respecto a la magnitud a que afectan. En la práctica, los símbolos rad y sr se emplean donde sea apropiado, mientras que el símbolo de la unidad derivada «uno» generalmente no se menciona cuando se dan valores de magnitudes adimensionales.

(c) En fotometría, se mantiene generalmente el nombre estereorradián y el símbolo sr, en la expresión de las unidades.

(d) El hercio sólo se utiliza para los fenómenos periódicos y el becquerel para los procesos estocásticos relacionados con la actividad de un radionucleido.

(e) El grado Celsius es el nombre especial del kelvin empleado para expresar las temperaturas Celsius. El grado Celsius y el kelvin tienen la misma magnitud, por lo que el valor numérico de una diferencia de temperatura o de un intervalo de temperatura es idéntico cuando se expresa en grados Celsius o en kelvin. La temperatura Celsius  $t$  viene definida por la diferencia  $t = T - T_0$ , entre dos temperaturas termodinámicas  $T$  y  $T_0$ , siendo  $T_0 = 273,15$  K.

(f) La actividad de un radionucleido se llama a veces de forma incorrecta radioactividad.

(g) Al flujo magnético también se le conoce como flujo de inducción magnética.

(h) A la densidad de flujo magnético también se la conoce como inducción magnética.

Tabla 4

Ejemplos de unidades SI derivadas coherentes cuyos nombres y símbolos contienen unidades SI derivadas coherentes con nombres y símbolos especiales

Magnitud derivada	Unidad SI derivada coherente		
	Nombre	Símbolo	Expresión en unidades SI básicas
viscosidad dinámica	pascal segundo	Pa s	$m^{-1} kg s^{-1}$
momento de una fuerza	newton metro	N m	$m^2 kg s^{-2}$
tensión superficial	newton por metro	N/m	$kg s^{-2}$
velocidad angular	radián por segundo	rad/s	$m m^{-1} s^{-1} = s^{-1}$
aceleración angular	radián por segundo cuadrado	rad/s <sup>2</sup>	$m m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
densidad superficial de flujo térmico, irradiancia	vatio por metro cuadrado	W/m <sup>2</sup>	$kg s^{-3}$
capacidad térmica, entropía	julio por kelvin	J/K	$m^2 kg s^{-2} K^{-1}$
capacidad térmica másica, entropía másica	julio por kilogramo y kelvin	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
energía másica	julio por kilogramo	J/kg	$m^2 s^{-2}$

Magnitud derivada	Unidad SI derivada coherente		
	Nombre	Símbolo	Expresión en unidades SI básicas
conductividad térmica	vatio por metro y kelvin	W/(m K)	$\text{m kg s}^{-3} \text{K}^{-1}$
densidad de energía	julio por metro cúbico	J/m <sup>3</sup>	$\text{m}^{-1} \text{kg s}^{-2}$
campo eléctrico	voltio por metro	V/m	$\text{m kg s}^{-3} \text{A}^{-1}$
densidad de carga eléctrica	culombio por metro cúbico	C/m <sup>3</sup>	$\text{m}^{-3} \text{s A}$
densidad superficial de carga eléctrica	culombio por metro cuadrado	C/m <sup>2</sup>	$\text{m}^{-2} \text{s A}$
densidad de flujo eléctrico, desplazamiento eléctrico	culombio por metro cuadrado	C/m <sup>2</sup>	$\text{m}^{-2} \text{s A}$
permitividad	faradio por metro	F/m	$\text{m}^{-3} \text{kg}^{-1} \text{s}^4 \text{A}^2$
permeabilidad	henrio por metro	H/m	$\text{m kg s}^{-2} \text{A}^{-2}$
energía molar	julio por mol	J/mol	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{mol}^{-1}$
entropía molar, capacidad calorífica molar	julio por mol y kelvin	J/(mol K)	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1} \text{mol}^{-1}$
exposición (rayos x y $\gamma$ )	culombio por kilogramo	C/kg	$\text{Kg}^{-1} \text{s A}$
tasa de dosis absorbida	gray por segundo	Gy/s	$\text{m}^2 \text{s}^{-3}$
intensidad radiante	vatio por estereorradián	W/sr	$\text{m}^4 \text{m}^{-2} \text{kg s}^{-3} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3}$
radiancia	vatio por metro cuadrado y estereorradián	W/(m <sup>2</sup> sr)	$\text{m}^2 \text{m}^{-2} \text{kg s}^{-3} = \text{kg s}^{-3}$
concentración de actividad catalítica	katal por metro cúbico	kat/m <sup>3</sup>	$\text{m}^{-3} \text{s}^{-1} \text{mol}$

4. Los valores de varias magnitudes diferentes pueden expresarse mediante el mismo nombre y símbolo de unidad SI. De esta forma el julio por kelvin es el nombre de la unidad SI para la magnitud capacidad térmica así como para la magnitud entropía. Igualmente, el amperio es el nombre de la unidad SI tanto para la magnitud básica intensidad de corriente eléctrica como para la magnitud derivada fuerza magnetomotriz. Por lo tanto no basta con utilizar el nombre de la unidad para especificar la magnitud. Esta regla es aplicable no sólo a los textos científicos y técnicos sino también, por ejemplo, a los instrumentos de medida (es decir, deben indicar tanto la unidad como la magnitud medida).

5. Una unidad derivada puede expresarse de varias formas diferentes utilizando unidades básicas y unidades derivadas con nombres especiales: el julio, por ejemplo, puede escribirse newton metro o bien kilogramo metro cuadrado por segundo cuadrado. Esta libertad algebraica queda en todo caso limitada por consideraciones físicas de sentido común y, según las circunstancias, ciertas formas pueden resultar más útiles que otras. En la práctica, para facilitar la distinción entre magnitudes diferentes que tienen la misma dimensión, se prefiere el uso de ciertos nombres especiales de unidades o combinaciones de nombres. Usando esta libertad, se pueden elegir expresiones que recuerden cómo está definida la magnitud. Por ejemplo, la magnitud momento de una fuerza puede considerarse como el resultado del producto vectorial de una fuerza por una distancia, lo que sugiere emplear la unidad newton metro, la energía por unidad de ángulo aconseja emplear la unidad julio por radián, etc. La unidad SI de frecuencia es el hercio, que implica ciclos por segundo, la unidad SI de velocidad angular es el radián por segundo y la unidad SI de actividad es el becquerel, que implica cuentas por segundo. Aunque sería formalmente correcto escribir estas tres unidades como segundo a la potencia menos uno, el empleo de nombres diferentes sirve para subrayar la diferente naturaleza de las magnitudes consideradas. El hecho de utilizar la unidad radián por segundo para expresar la velocidad angular y el hercio para la frecuencia, indica también que debe multiplicarse por  $2\pi$  el valor numérico de la frecuencia en hercio para obtener el valor numérico de la velocidad angular correspondiente en radianes por segundo. En el campo de las radiaciones ionizantes, la unidad SI de actividad es el becquerel en vez del segundo elevado a la potencia menos uno, y las unidades SI de dosis absorbida y dosis equivalente, respectivamente, son gray y sievert, en vez de julio por kilogramo. Los nombres especiales becquerel, gray y sievert se han introducido específicamente en atención a los peligros para la salud humana que podrían resultar de errores en el caso de que para identificar a todas estas magnitudes se empleasen las unidades segundo a la menos uno y julio por kilogramo.

6. Ciertas magnitudes se definen por cociente de dos magnitudes de la misma naturaleza; son por tanto adimensionales, o bien su dimensión puede expresarse mediante el número uno. La unidad SI coherente de todas las magnitudes adimensionales o magnitudes de dimensión uno, es el número uno, dado que esta unidad es el cociente de dos unidades SI idénticas. El valor de estas magnitudes se expresa por números y la unidad «uno» no se menciona explícitamente. Como ejemplo de tales magnitudes, se pueden citar, el índice de refracción, la permeabilidad relativa o el coeficiente de rozamiento. Hay otras magnitudes definidas como un producto complejo y adimensional de magnitudes más simples. Por ejemplo, entre los «números característicos» cabe citar el número de Reynolds  $Re = \rho v l / \eta$ , en donde  $\rho$  es la densidad,  $\eta$  la viscosidad dinámica,  $v$  la velocidad y  $l$  la longitud. En todos estos casos, la unidad puede considerarse como el número uno, unidad derivada adimensional. Otra clase de magnitudes adimensionales son los números que representan una cuenta, como el número de moléculas, la degeneración (número de niveles de energía) o la función de partición en termodinámica estadística (número de estados accesibles térmicamente). Todas estas magnitudes de recuento se consideran adimensionales o de dimensión uno y tienen por unidad la unidad SI uno, incluso si la unidad de las magnitudes que se cuentan no puede describirse como una unidad derivada expresable en unidades básicas del SI. Para estas magnitudes, la unidad uno podría considerarse como otra unidad básica. En algunos casos, sin embargo, a esta unidad se le asigna un nombre especial, a fin de facilitar la identificación de la magnitud en cuestión. Este es el caso del radián y del estereorradián. El radián y el estereorradián han recibido de la CGPM un nombre especial para la unidad derivada coherente uno, a fin de expresar los valores del ángulo plano y del ángulo sólido, respectivamente, y en consecuencia figuran en la tabla 3.

### Capítulo III

#### **Reglas de escritura de los símbolos y nombres de las unidades, de expresión de los valores de las magnitudes y para la formación de los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades del SI**

##### 1. Reglas de escritura de los símbolos y nombres de las unidades

1.1. Los símbolos de las unidades se imprimen en caracteres romanos (rectos), independientemente del tipo de letra empleada en el texto adyacente. Se escriben en minúsculas excepto si derivan de un nombre propio, en cuyo caso la primera letra es mayúscula. Como excepción se permite el uso de la letra L en mayúscula o l en minúscula como símbolos del litro, a fin de evitar la confusión entre la cifra 1 (uno) y la letra l (ele).

1.2. Un prefijo de múltiplo o submúltiplo, si se usa, forma parte de la unidad y precede al símbolo de la unidad, sin espacio entre el símbolo del prefijo y el símbolo de la unidad. Un prefijo nunca se usa solo y nunca se usan prefijos compuestos.

1.3. Los símbolos de las unidades son entidades matemáticas y no abreviaturas. Por tanto, no van seguidos de un punto, salvo al final de una frase, ni se usa el plural, ni se pueden mezclar símbolos de unidades con nombres de unidades en una misma expresión, pues los nombres no son entidades matemáticas.

1.4. Para formar los productos y cocientes de los símbolos de las unidades, se aplican las reglas habituales de multiplicación o de división algebraicas. La multiplicación debe indicarse mediante un espacio o un punto centrado a media altura ( $\cdot$ ), para evitar que ciertos prefijos se interpreten erróneamente como un símbolo de unidad. La división se indica mediante una línea horizontal, una barra oblicua ( $/$ ), o mediante exponentes negativos. Cuando se combinan varios símbolos de unidades, hay que tener cuidado para evitar toda ambigüedad, por ejemplo utilizando corchetes o paréntesis, o exponentes negativos. En una expresión dada sin paréntesis, no debe utilizarse más de una barra oblicua, para evitar ambigüedades.

1.5. No se permite emplear abreviaturas para los símbolos y nombres de las unidades, como seg (por s o segundo), mm cuad. (por mm<sup>2</sup> o milímetro cuadrado), cc (por cm<sup>3</sup> o

centímetro cúbico) o mps (por m/s o metro por segundo). De esta forma se evitan ambigüedades y malentendidos respecto a los valores de las magnitudes.

1.6. Los nombres de las unidades se imprimen en caracteres romanos (rectos) y se consideran como nombres (sustantivos) comunes, empiezan por minúscula (incluso cuando su nombre es el de un científico eminente y el símbolo de la unidad comienza por mayúscula), salvo que se encuentren situados al comienzo de una frase o en un texto en mayúsculas, como un título. Para cumplir esta regla, la escritura correcta del nombre de la unidad cuyo símbolo es °C es «grado Celsius» (la unidad grado comienza por la letra g en minúscula y el atributo Celsius comienza por la letra C en mayúscula, por que es un nombre propio). Los nombres de las unidades pueden escribirse en plural.

1.7. Aunque los valores de las magnitudes se expresan generalmente mediante los nombres y símbolos de las unidades, si por cualquier razón resulta más apropiado el nombre de la unidad que su símbolo, debe escribirse el nombre de la unidad completo.

1.8. Cuando el nombre de la unidad está combinado con el prefijo de un múltiplo o submúltiplo, no se deja espacio ni se coloca guión entre el nombre del prefijo y el de la unidad. El conjunto formado por el nombre del prefijo y el de la unidad constituye una sola palabra.

1.9. Cuando el nombre de una unidad derivada se forma por multiplicación de nombres de unidades individuales, conviene dejar un espacio, un punto centrado a media altura ( $\cdot$ ), o un guión para separar el nombre de cada unidad.

## 2. Reglas de escritura para expresar los valores de las magnitudes

2.1. El valor de una magnitud se expresa como el producto de un número por una unidad: el número que multiplica a la unidad es el valor numérico de la magnitud expresada en esa unidad. El valor numérico de una magnitud depende de la unidad elegida. Así, el valor de una magnitud particular es independiente de la elección de unidad, pero su valor numérico es diferente para unidades diferentes.

2.2. Los símbolos de las magnitudes están formados generalmente por una sola letra en cursiva, pero puede especificarse información adicional mediante subíndices, superíndices o entre paréntesis. Así  $C$  es el símbolo recomendado para la capacidad calorífica,  $C_m$  para la capacidad calorífica molar,  $C_{m,p}$  para la capacidad calorífica molar a presión constante y  $C_{m,v}$  para la capacidad calorífica molar a volumen constante.

2.3. Los símbolos de las magnitudes sólo son recomendaciones, mientras que es obligatorio emplear los símbolos correctos de las unidades. Cuando, en circunstancias particulares, se prefiera usar un símbolo no recomendado para una magnitud dada, por ejemplo para evitar una confusión resultante del uso del mismo símbolo para dos magnitudes distintas hay que precisar claramente qué significa el símbolo.

2.4. Los símbolos de las unidades se tratan como entidades matemáticas. Cuando se expresa el valor de una magnitud como producto de un valor numérico por una unidad, el valor numérico y la unidad pueden tratarse de acuerdo con las reglas ordinarias del álgebra. Este procedimiento constituye el cálculo de magnitudes, o álgebra de magnitudes. Por ejemplo, la ecuación  $T = 293 \text{ K}$  puede escribirse también como  $T/K = 293$ .

2.5. Al igual que el símbolo de una magnitud no implica la elección de una unidad particular, el símbolo de la unidad no debe utilizarse para proporcionar información específica sobre la magnitud y no debe nunca ser la única fuente de información respecto de la magnitud. Las unidades no deben ser modificadas con información adicional sobre la naturaleza de la magnitud; este tipo de información debe acompañar al símbolo de la magnitud y no al de la unidad.

2.6. El valor numérico precede siempre a la unidad y siempre se deja un espacio entre el número y la unidad. Así, el valor de una magnitud es el producto de un número por una unidad, considerándose el espacio como signo de multiplicación (igual que el espacio entre unidades). Las únicas excepciones a esta regla son los símbolos de unidad del grado, el minuto y el segundo de ángulo plano, °, ' y ", respectivamente, para los cuales no se deja espacio entre el valor numérico y el símbolo de unidad. Esta regla implica que el

símbolo °C para el grado Celsius debe ir precedido de un espacio para expresar el valor de la temperatura Celsius *t*.

2.7. En cualquier expresión, sólo se emplea una unidad. Una excepción a esta regla es la expresión de los valores de tiempo y ángulo plano expresados mediante unidades fuera del SI. Sin embargo, para ángulos planos, es preferible generalmente dividir el grado de forma decimal. Así, se escribirá 22,20° mejor que 22° 12', salvo en campos como la navegación, la cartografía, la astronomía, y para la medida de ángulos muy pequeños.

2.8. El símbolo utilizado para separar la parte entera de su parte decimal se denomina «separador decimal». El símbolo del separador decimal es la coma, en la propia línea de escritura. Si el número está comprendido entre +1 y -1, el separador decimal va siempre precedido de un cero.

2.9. Los números con muchas cifras pueden repartirse en grupos de tres cifras separadas por un espacio, a fin de facilitar la lectura. Estos grupos no se separan nunca por puntos ni por comas. En los números de una tabla, el formato no debe variar en una misma columna.

2.10. La unidad SI coherente de las magnitudes sin dimensión o magnitudes de dimensión uno, es el número uno, símbolo 1. Los valores de estas magnitudes se expresan simplemente mediante números. El símbolo de unidad 1 o el nombre de unidad «uno» no se menciona explícitamente y no existe símbolo particular ni nombre especial para la unidad uno, salvo algunas excepciones que se indican en las tablas. Como los símbolos de los prefijos SI no pueden unirse al símbolo 1 ni al nombre de unidad «uno», para expresar los valores de magnitudes adimensionales particularmente grandes o particularmente pequeñas se emplean las potencias de 10. En las expresiones matemáticas, el símbolo % (por ciento), reconocido internacionalmente, puede utilizarse con el SI para representar al número 0,01. Por lo tanto, puede usarse para expresar los valores de magnitudes sin dimensión. Cuando se emplea, conviene dejar un espacio entre el número y el símbolo %. Cuando se expresan de esta forma los valores de magnitudes adimensionales, es preferible utilizar el símbolo % mejor que la expresión «por ciento». Cuando se expresan valores de fracciones adimensionales (por ejemplo fracción másica, fracción en volumen, incertidumbre relativa, etc.), a veces resulta útil emplear el cociente entre dos unidades del mismo tipo. El término «ppm» que significa  $10^{-6}$  en valor relativo o  $1 \times 10^{-6}$  o «partes por millón» o millonésimas, se usa también. Cuando se emplea alguno de los términos %, ppm, etc., es importante declarar cuál es la magnitud sin dimensión cuyo valor se está especificando.

3. Reglas para la formación de los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades del SI

3.1. Los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI se forman por medio de prefijos que designan los factores numéricos decimales por los que se multiplica la unidad y que figuran en la columna «factor» de la tabla 5.

Tabla 5

Prefijos SI

Prefijos SI <sup>(a)</sup>					
Factor	Nombre	Símbolo	Factor	Nombre	Símbolo
10 <sup>1</sup>	deca	da	10 <sup>-1</sup>	deci	d
10 <sup>2</sup>	hecto	h	10 <sup>-2</sup>	centi	c
10 <sup>3</sup>	kilo	k	10 <sup>-3</sup>	mili	m
10 <sup>6</sup>	mega	M	10 <sup>-6</sup>	micro	μ
10 <sup>9</sup>	giga	G	10 <sup>-9</sup>	nano	n
10 <sup>12</sup>	tera	T	10 <sup>-12</sup>	pico	p
10 <sup>15</sup>	peta	P	10 <sup>-15</sup>	femto	f
10 <sup>18</sup>	exa	E	10 <sup>-18</sup>	atto	a

Prefijos SI <sup>(a)</sup>					
Factor	Nombre	Símbolo	Factor	Nombre	Símbolo
10 <sup>21</sup>	zetta	Z	10 <sup>-21</sup>	zepto	z
10 <sup>24</sup>	yotta	Y	10 <sup>-24</sup>	yocto	y

<sup>(a)</sup> Los prefijos SI representan estrictamente potencias de 10. No deben utilizarse para expresar potencias de 2 (por ejemplo, un kilobit representa 1000 bits y no 1024 bits). Los prefijos adoptados para las potencias binarias no pertenecen al SI. Los nombres y símbolos utilizados para los prefijos correspondientes a 2<sup>10</sup>, 2<sup>20</sup>, 2<sup>30</sup>, 2<sup>40</sup>, 2<sup>50</sup> y 2<sup>60</sup> son, respectivamente, kibi, Ki; mebi, Mi; gibi, Gi; tebi, Ti; pebi, Pi; y exbi, Ei. Así, por ejemplo, un kibibyte se escribe: 1 KiB = 2<sup>10</sup> B = 1024 B. Estos prefijos pueden emplearse en el campo de la tecnología de la información a fin de evitar un uso incorrecto de los prefijos SI.

3.2. Los símbolos de los prefijos se escriben en caracteres romanos (rectos), como los símbolos de las unidades, independientemente del tipo de letra del texto adyacente, y se unen a los símbolos de las unidades, sin dejar espacio entre el símbolo del prefijo y el de la unidad. Con excepción de da (deca), h (hecto) y k (kilo), todos los símbolos de prefijos de múltiplos se escriben con mayúsculas y todos los símbolos de prefijos de submúltiplos se escriben con minúsculas. Todos los nombres de los prefijos se escriben con minúsculas, salvo al comienzo de una frase.

3.3. El grupo formado por un símbolo de prefijo y un símbolo de unidad constituye un nuevo símbolo de unidad inseparable (formando un múltiplo o un submúltiplo de la unidad en cuestión) que puede ser elevado a una potencia positiva o negativa y que puede combinarse con otros símbolos de unidades compuestas.

Ejemplos:

$$2,3 \text{ cm}^3 = 2,3 (\text{cm})^3 = 2,3 (10^{-2} \text{ m})^3 = 2,3 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ cm}^{-1} = 1 (\text{cm})^{-1} = 1 (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1} = 100 \text{ m}^{-1}$$

$$1 \text{ V/cm} = (1 \text{ V})/(10^{-2} \text{ m}) = 10^2 \text{ V/m} = 100 \text{ V/m}$$

$$5000 \mu\text{s}^{-1} = 5000 (\mu\text{s})^{-1} = 5000 (10^{-6} \text{ s})^{-1} = 5 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$$

3.4. Los nombres de los prefijos son inseparables de los nombres de las unidades a las que se unen. Así, por ejemplo, milímetro, micropascal y meganewton se escriben en una sola palabra. Los símbolos de prefijos compuestos; es decir, los símbolos de prefijos formados por yuxtaposición de dos o más símbolos de prefijos, no están permitidos, por ejemplo debe escribirse nm (nanómetro) y no m $\mu$ m. Esta regla se aplica también a los nombres de los prefijos compuestos. Los símbolos de los prefijos no pueden utilizarse solos o unidos al número 1, símbolo de la unidad uno. Igualmente, los nombres de los prefijos no pueden unirse al nombre de la unidad uno, es decir a la palabra «uno».

3.5. Los nombres y símbolos de prefijos se emplean con algunas unidades fuera del SI, pero nunca se utilizan con unidades de tiempo: minuto, min; hora, h; día, d. Los astrónomos usan el milisegundo de arco (o de grado), símbolo «mas», y el microsegundo de arco, símbolo « $\mu$ as», como unidades de medida de ángulos muy pequeños.

3.6. Entre las unidades básicas del Sistema Internacional, la unidad de masa es la única cuyo nombre, por razones históricas, contiene un prefijo. Los nombres y los símbolos de los múltiplos y submúltiplos decimales de la unidad de masa se forman añadiendo los nombres de los prefijos a la palabra «gramo» y los símbolos de estos prefijos al símbolo de la unidad «g».

#### Capítulo IV

##### Otras unidades

1. La tabla 6 incluye las unidades no pertenecientes al SI cuyo uso con el Sistema Internacional está aceptado, dado que son ampliamente utilizadas en la vida cotidiana y cada una de ellas tiene una definición exacta en unidades SI. Incluye las unidades tradicionales de tiempo y de ángulo. Contiene también la hectárea, el litro y la tonelada, que son todas de uso corriente a nivel mundial, y que difieren de las unidades SI coherentes

correspondientes en un factor igual a una potencia entera de diez. Los prefijos SI se emplean con varias de estas unidades, pero no con las unidades de tiempo.

Tabla 6

Unidades no pertenecientes al SI cuyo uso es aceptado por el Sistema Internacional y están autorizadas

Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo	Valor en unidades SI
tiempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 60 min = 3600 s
	día	d	1 d = 24 h = 86 400 s
ángulo plano	grado <sup>(a, b)</sup>	°	1° = ( $\pi/180$ ) rad
	minuto	'	1' = (1/60)° = ( $\pi/10\ 800$ ) rad
	segundo <sup>(c)</sup>	''	1'' = (1/60)' = ( $\pi/648\ 000$ ) rad
área	hectárea	ha	1 ha = 1 hm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
volumen	litro <sup>(d)</sup>	L, l	1 L = 1 l = 1 dm <sup>3</sup> = 10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
masa	tonelada	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg

(a) Se recomienda que el grado se divida de forma decimal, mejor que utilizando el minuto y el segundo. Sin embargo, para la navegación y la topografía, la ventaja de utilizar el minuto reside en el hecho de que un minuto de latitud en la superficie de la Tierra corresponde (aproximadamente) a una milla náutica.

(b) El gon (o grado centesimal, donde grado centesimal es el nombre alternativo de gon) es una unidad de ángulo plano alternativa al grado, definida como ( $\pi/200$ ) rad. Un ángulo recto corresponde por tanto a 100 gon. El valor potencial del gon en la navegación es que la distancia entre el Polo y el Ecuador de la Tierra es igual a unos 10 000 km; 1 km en la superficie de la Tierra subtende pues un ángulo de un centigón desde el centro de la Tierra. El gon es en todo caso raramente empleado (sí se emplea en el manejo de teodolitos y estaciones totales, en aplicaciones topográficas y de ingeniería civil).

(c) En astronomía, los ángulos pequeños se miden en segundos de arco (es decir, segundos de ángulo plano), mili-, micro o picosegundos de arco (símbolos: as o ", mas,  $\mu$ as y pas, respectivamente). El segundo de arco o el segundo de grado son otros nombres del segundo de ángulo plano.

(d) Los dos símbolos «l» minúscula y «L» mayúscula son utilizables para la unidad litro. Se recomienda la utilización de la «L» mayúscula para evitar el riesgo de confusión entre la letra l (ele) y la cifra 1 (uno).

2. Las unidades de la tabla 7 están ligadas a las constantes fundamentales y su valor en unidades del SI se determina experimentalmente y, por tanto, tienen una incertidumbre asociada. A excepción de la unidad astronómica, todas las unidades de la tabla están ligadas a constantes fundamentales de la física. Se acepta el uso con el SI de las tres primeras unidades de la tabla: el electronvoltio, símbolo eV, el dalton o unidad de masa atómica unificada, símbolo Da o u, y la unidad astronómica, símbolo ua.

3. Los dos sistemas de unidades más importantes basados en las constantes fundamentales son: el sistema de unidades naturales (u.n.), utilizado en el campo de la física de altas energías y de partículas, y el sistema de unidades atómicas (u.a.), utilizado en física atómica y en química cuántica. La tabla 7 recoge el valor experimentalmente obtenido en unidades SI. Dado que los sistemas de magnitudes sobre los que se basan estas unidades difieren de forma fundamental del SI no se emplean con él. El resultado final de una medida o de un cálculo expresado en unidades naturales o atómicas debe también indicarse siempre en la unidad SI correspondiente. Las unidades naturales (u.n.) y las unidades atómicas (u.a.) se emplean únicamente en los campos particulares de la física de partículas, de la física atómica y de la química cuántica. Las incertidumbres típicas de las últimas cifras significativas figuran entre paréntesis después de cada valor numérico.

Tabla 7

Unidades no pertenecientes al SI cuyo valor en unidades SI se obtiene experimentalmente

Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo	Valor en unidades SI <sup>(a)</sup>
Unidades utilizadas con el SI			
energía	electronvoltio <sup>(b)</sup>	eV	1 eV = 1,602 176 487 (40) × 10 <sup>-19</sup> J
masa	dalton <sup>(c)</sup>	Da	1 Da = 1,660 538 782 (83) × 10 <sup>-27</sup> kg
	unidad de masa atómica unificada	u	1 u = 1 Da
longitud	unidad astronómica <sup>(d)</sup>	ua	1 ua = 1,495 978 706 91 (6) × 10 <sup>11</sup> m
Unidades naturales u.n.			
velocidad (velocidad de la luz en el vacío)	unidad natural de velocidad	$c_0$	299 792 458 m/s (exacto)
acción (constante de Planck reducida)	unidad natural de acción	$\hbar$	1,054 571 628 (53) × 10 <sup>-34</sup> J s
masa (masa del electrón)	unidad natural de masa	$m_e$	9,109 382 15 (45) × 10 <sup>-31</sup> kg
tiempo	unidad natural de tiempo	$\hbar/(m_e c_0^2)$	1,288 088 6570 (18) × 10 <sup>-21</sup> s
Unidades atómicas u.a.			
carga, (carga eléctrica elemental)	unidad atómica de carga	$e$	1,602 176 487 (40) × 10 <sup>-19</sup> C
masa, (masa del electrón)	unidad atómica de masa	$m_e$	9,109 382 15 (45) × 10 <sup>-31</sup> kg
acción, (constante de Planck reducida)	unidad atómica de acción	$\hbar$	1,054 571 628 (53) × 10 <sup>-34</sup> J s
longitud, bohr (radio de Bohr)	unidad atómica de longitud	$a_0$	0,529 177 208 59 (36) × 10 <sup>-10</sup> m
energía, hartree (energía de Hartree)	unidad atómica de energía	$E_h$	4,359 743 94 (22) × 10 <sup>-18</sup> J
tiempo	unidad atómica de tiempo	$\hbar/E_h$	2,418 884 326 505 (16) × 10 <sup>-17</sup> s

(a) Los valores en unidades SI de todas las unidades de la tabla, excepto la unidad astronómica, provienen de la relación de valores de constantes fundamentales recomendados por CODATA (2006). La incertidumbre típica referida a las dos últimas cifras se indica entre paréntesis. Los valores suministrados son revisados periódicamente.

(b) El electronvoltio es la energía cinética adquirida por un electrón tras atravesar una diferencia de potencial de 1 V en el vacío. El electronvoltio se combina a menudo con los prefijos SI.

(c) El dalton (Da) y la unidad de masa atómica unificada (u) son otros nombres (y símbolos) para la misma unidad, igual a 1/12 de la masa del átomo de <sup>12</sup>C libre, en reposo y en su estado fundamental. El dalton se combina a menudo con prefijos SI, por ejemplo para expresar la masa de grandes moléculas en kilodaltons, kDa o megadaltons, MDa y para expresar el valor de pequeñas diferencias de masa de átomos o de moléculas en nanodaltons, nDa, e incluso en picodaltons, pDa.

(d) La unidad astronómica es aproximadamente igual a la distancia media entre el Sol y la Tierra. Es el radio de una órbita newtoniana circular no perturbada alrededor del Sol, de una partícula de masa infinitesimal, desplazándose a una velocidad media de 0,017 202 098 95 radianes por día (llamada también constante de Gauss).

4. La tabla 8 contiene unidades no pertenecientes al SI utilizadas para responder a necesidades específicas de ciertos grupos. Quienes empleen las unidades de la tabla 8 deben indicar siempre su definición en unidades SI. La tabla 8 cita también las unidades de las magnitudes logarítmicas, el neper, el belio y el decibelio. Estas son unidades adimensionales y se emplean para proporcionar información sobre la naturaleza logarítmica del cociente de magnitudes. El neper, Np, se utiliza para expresar el valor de los logaritmos neperianos (o naturales) de relaciones entre magnitudes,  $\ln = \log_e$ . El belio y el decibelio, B y dB,  $1 \text{ dB} = (1/10) \text{ B}$ , se emplean para expresar el valor de logaritmos de base 10 de cocientes entre magnitudes,  $\lg = \log_{10}$ . Las unidades neper, belio y decibelio se aceptan para su uso con el SI pero no se consideran unidades SI. Los prefijos SI se utilizan con dos de las unidades de la tabla 8, a saber con el bar (por ejemplo milibar, mbar) y con el belio, en particular el decibelio, dB. En la tabla se menciona explícitamente el decibelio, ya que el belio raramente se usa sin este prefijo.

Tabla 8

Otras unidades no pertenecientes al SI de aplicación exclusiva en sectores específicos

Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo	Valor en unidades SI
presión	bar <sup>(a)</sup>	bar	1 bar = 0,1 MPa = 100 kPa = 10 <sup>5</sup> Pa
	milímetro de mercurio <sup>(b)</sup>	mmHg	1 mmHg ≈ 133,322 Pa
longitud	ångström <sup>(c)</sup>	Å	1 Å = 0,1 nm = 100 pm = 10 <sup>-10</sup> m
distancia	milla náutica <sup>(d)</sup>	M	1 M = 1852 m
superficie	barn <sup>(e)</sup>	b	1 b = 100 fm <sup>2</sup> = (10 <sup>-12</sup> cm) <sup>2</sup> = 10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
velocidad	nudo <sup>(f)</sup>	kn	1 kn = (1852/3600) m/s
logaritmo de un cociente	neper <sup>(g, i)</sup>	Np	[véase la nota (j) respecto al valor numérico del neper, del belio y del decibelio]
	belio <sup>(h, i)</sup>	B	
	decibelio <sup>(h, i)</sup>	dB	
potencia de los sistemas ópticos	dioptría <sup>(k)</sup>	--	1 dioptría = 1 m <sup>-1</sup>
masa de las piedras preciosas	quilate métrico <sup>(k)</sup>	--	1 quilate métrico = 2 · 10 <sup>-4</sup> kg
área o superficie de las superficies agrarias y de las fincas	área <sup>(k)</sup>	a	1 a = 10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
masa longitudinal de las fibras textiles y los hilos	tex <sup>(k)</sup>	tex	1 tex = 10 <sup>-6</sup> kg·m <sup>-1</sup>
ángulo plano	vuelta <sup>(k)</sup>	--	1 vuelta = 2π rad

(a) Todos los datos termodinámicos se refieren a la presión normal de un bar. Antes de 1982, la presión normal era la atmósfera normal, igual a 1,013 25 bar o 101 325 Pa.

(b) El milímetro de mercurio se utiliza únicamente para la medida de la presión sanguínea y de otros fluidos corporales.

(c) El ångström se utiliza ampliamente en la cristalografía de rayos X y en química estructural porque todos los enlaces químicos se encuentran en el rango de 1 a 3 ångströms.

(d) La milla náutica es una unidad empleada en navegación marítima y aérea para expresar distancias. No hay símbolo acordado a nivel internacional, pero se usan los símbolos M, NM, Nm y nmi; en la tabla 8 sólo se indica el símbolo M. Esta unidad se estableció en su origen, y aún continúa empleándose así, porque una milla náutica en la superficie de la Tierra subtende aproximadamente un minuto de ángulo desde el centro de la Tierra, lo que resulta conveniente cuando se miden la latitud y la longitud en grados y minutos de ángulo.

(e) El barn es una unidad de superficie empleada en física nuclear para caracterizar secciones eficaces.

(f) El nudo se define como una milla náutica por hora. No hay símbolo acordado a nivel internacional, pero se usa habitualmente el símbolo kn.

(g) La igualdad  $L_A = n$  Np (donde  $n$  es un número) ha de interpretarse con el significado  $\ln(A_2/A_1) = n$ . Así cuando  $L_A = 1$  Np,  $A_2/A_1 = e$ . El símbolo  $A$  se usa aquí para designar la amplitud de una señal senoidal y  $L_A$  como el logaritmo neperiano de un cociente de amplitudes o diferencia neperiana de un nivel de amplitudes.

(h) La igualdad  $L_x = m$  dB =  $(m/10)$  B (donde  $m$  es un número) ha de interpretarse con el significado  $\lg(X/X_0) = m/10$ . Así cuando  $L_x = 1$  B,  $X/X_0 = 10$  y cuando  $L_x = 1$  dB,  $X/X_0 = 10^{1/10}$ . Si  $X$  representa una señal cuadrática media o una magnitud de tipo potencial,  $L_x$  se denomina nivel de potencia respecto a  $X_0$ .

(i) Cuando se usan estas unidades, es importante indicar cuál es la naturaleza de la magnitud en cuestión y el valor de referencia empleado. Estas unidades no son unidades SI, pero se acepta su uso con el SI.

(j) No suele ser necesario precisar los valores numéricos del neper, del belio y del decibelio (ni por tanto la relación del belio y del decibelio al neper). Ello depende de la forma en que se definan las magnitudes logarítmicas.

(k) Esta unidad no está recogida en los documentos adoptados por la Conferencia General de Pesas y Medidas.