

Sistema internacional de unidades (SI)

ANTEPROYECTO

Advertencia

Este documento no es una Norma Nacional NORDOM. Se distribuye para su revisión y comentarios. Está sujeto a cambios sin previo aviso y no puede ser referido como un Estándar Internacional.

Los destinatarios de este borrador están invitados a enviar, con sus comentarios, la notificación de cualquier derecho de patente relevante del que tengan conocimiento y proporcionar documentación de respaldo.

Contenido

Prefacio	iv
Introducción	v
1 Objeto y campo de aplicación.....	1
1.1 Objeto.....	1
1.2 Campo de aplicación.....	1
2 Referencias normativas.....	1
3 Términos y definiciones.....	1
4 Siglas y abreviaturas.....	3
4.1 Siglas de laboratorios, comités y conferencias	3
4.2 Siglas de términos científicos.....	4
5 Generalidades	5
5.1 Definición de la unidad de una cantidad.....	5
5.2 Definición del SI	5
5.3 La naturaleza de las siete constantes definitorias.....	6
5.4 Unidades base	6
5.5 Realización práctica de unidades SI.....	9
5.6 Magnitudes y unidades	9
5.7 El sistema internacional de unidades (SI) y el sistema de magnitudes correspondientes.....	10
5.8 Dimensiones de las magnitudes.....	10
5.9 Unidades coherentes, unidades derivadas con nombres especiales y prefijos SI.....	11
5.10 Las unidades SI en el marco de la relatividad general.....	11
5.11 Unidades de magnitudes que describen efectos biológicos.....	11
6 Unidades del SI	12
6.1 Unidades básicas. Definiciones.....	12
6.2 Símbolos para las siete unidades básicas	12
6.3 Unidades del SI derivadas	12
6.4 Unidades derivadas expresadas en función de unidades básicas.....	12
6.5 Unidades con nombres y símbolos especiales; unidades que incorporan nombres y símbolos especiales	13
6.6 Unidades para magnitudes adimensionales, también denominadas magnitudes de dimensión uno.....	15
7 Múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades del SI	16
7.1 Prefijos del SI.....	16
8 Unidades no pertenecientes al SI que se aceptan para su uso con el SI.....	17
9 Reglas de escritura de los nombres y símbolos de las unidades, y expresión de los valores de las magnitudes	22
9.1 Símbolos de las unidades.....	22
9.2 Nombres de las unidades.....	23
9.3 Reglas y convenios de estilo para expresar los valores de las magnitudes.....	24
9.3.1 Valor y valor numérico de una magnitud; cálculo de magnitudes	24
9.4 Símbolos de magnitudes y símbolos de unidades.....	24
9.5 Escritura del valor de una magnitud	25
9.6 Escritura de los números y del separador decimal.....	25
9.7 Expresión de la incertidumbre de medida asociada al valor de una magnitud.....	25
9.8 Multiplicación y división de símbolos de magnitudes, valores de magnitudes y números.....	25
9.9 Valores de las magnitudes sin dimensión, o magnitudes de dimensión uno.....	26
9.10 Ángulos planos, ángulos sólidos y ángulos de fase	27

Anexo A (informativo) Unidades derivadas con nombres especiales	28
Bibliografía	29

Prefacio

EL Instituto Dominicano para la Calidad (INDOCAL), es el organismo oficial que tiene a su cargo el estudio y preparación de las Normas Dominicanas (NORDOM), a nivel nacional. Es miembro de la Organización Internacional de Normalización (ISO), Comisión Internacional de Electrotécnica (IEC), Comisión del Codex Alimentarius, Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT), representando a la República Dominicana ante estos Organismos.

Los avances en física atómica y metrología cuántica realizados durante los últimos 50 años han permitido que las definiciones del segundo, el metro, y otras representaciones prácticas de las unidades eléctricas, aprovechen los fenómenos atómicos y cuánticos para lograr niveles de precisión en la utilización de las respectivas unidades, limitadas únicamente por nuestra capacidad técnica y no por las propias definiciones. Estos avances en la ciencia junto con los desarrollos en la tecnología de medición han permitido cambios en el SI.

La revisión y actualización de esta norma fue identificada a lo interno de la dirección de normalización en vista de que el documento de referencia fue modificado sustancialmente.

La norma **NORDOM 100 (2^{da} Rev.) Sistema internacional de unidades (SI)**, ha sido preparada por la Dirección de Normalización del Instituto Dominicano para la Calidad (INDOCAL).

El estudio de la citada norma estuvo a cargo del Comité Técnico **17:1 Metrología y medición**, integrado por representantes de los Sectores de Producción, Consumo y Técnico, quienes iniciaron su trabajo tomando como base la **9^{na} edición 2019 del Sistema internacional de unidades (SI)**, elaborado por el Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM). La revisión y actualización de esta norma fue motiva por

Dicha propuesta de norma fue aprobada como Anteproyecto por el Comité de Trabajo, en la reunión **No.3** de fecha **20 de julio 2021** y preparado para ser enviado a Encuesta Publica, por un periodo de 60 días.

Formaron parte del Comité Técnico, las entidades y personas naturales siguientes.

PARTICIPANTES:

REPRESENTANTES DE:

Saturnino Moquete	Dirección General de Aduana, (DGA)
Juan de la Cruz Martínez R.	Bepensa Dominicana
Tomas Danilo Camilo	Instituto Nacional de Formación Técnico Profesional (INFOTEP)
Cristian González	Instituto Nacional de Protección de los Derechos del Consumidor (Pro Consumidor)
Ángelo Vicencio	Balanza y Equipo
Lewis Cabrera	Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra (PUCMM)
Diana Morales	Colchonería y Mueblería la Nacional
Glenny Almonte	MERCASID, S.A
Rubén Neris	Instituto Dominicano para la Calidad (INDOCAL)
Noemí Frías	
Ángel Santana Esperanza Gonzalez	

Introducción

0.1 La norma **NORDOM 100 (2^{da} Rev.) Sistema internacional de unidades (SI)**, proporciona información para definir y emplear el Sistema Internacional de Unidades, conocido universalmente como SI (del francés *Système International d'Unités*). El SI fue establecido y definido en la 11^a Conferencia general de pesas y medidas (CGPM) en el año 1960.

0.2 La norma **NORDOM 100 (2^{da} Rev.) Sistema internacional de unidades (SI)**, utiliza como dato referencial la 9^{na}. Edición 2019, del Buró internacional de pesas y medidas (BIPM), para promover y explicar el SI. Esta edición introdujo un nuevo enfoque para articular las definiciones de las unidades en general, y de las siete unidades básicas, fijando los valores numéricos de siete constantes “definitorias”. Entre ellas se encuentran constantes fundamentales de la naturaleza como la constante de Planck y la velocidad de la luz, de modo que las definiciones se basan y representan nuestra comprensión de las leyes de la física.

0.2.1 Por primera vez, se encuentra disponible un conjunto completo de definiciones que no hace referencia a ninguna norma de artefacto, propiedades de material o descripciones de medición. Estos cambios permiten la realización de todas las unidades con una precisión que en última instancia está limitada solo por la estructura cuántica de la naturaleza y nuestras habilidades técnicas, pero no por las definiciones mismas.

0.2.2 Cualquier ecuación válida de la física que relacione las constantes definitorias con una unidad puede usarse para realizar la unidad creando así oportunidades para la innovación, realización en todas partes con una precisión creciente a medida que avanza la tecnología. Por tanto, esta redefinición marca un paso adelante significativo e histórico.

0.3 El SI ha sido un sistema práctico y dinámico que ha evolucionado para aprovechar los últimos avances científicos y tecnológicos.

0.4 El SI es un sistema consistente de unidades para su uso en todos los aspectos de la vida, incluido el comercio internacional, la fabricación, la seguridad, la salud y la protección del medio ambiente y la ciencia básica que sustenta todos estos.

0.4.1 El sistema de cantidades subyacente al SI y las ecuaciones que los relacionan se basan en la presente descripción de la naturaleza y son familiares para todos los científicos, tecnólogos e ingenieros.

0.5 Históricamente, las unidades del SI se han presentado en términos de un conjunto de siete unidades básicas. Todas las demás unidades, descritas como unidades derivadas, se construyen como productos de las potencias de las unidades básicas.

0.6 Se han utilizado diferentes tipos de definiciones para las unidades base: propiedades específicas de los artefactos, como la masa del prototipo internacional para la unidad de kilogramo; un estado físico específico, como el punto triple del agua para la unidad kelvin; prescripciones experimentales idealizadas como en el caso del amperio y la candela; o constantes de la naturaleza como la velocidad de la luz para la definición de la unidad metro.

0.7 Para que tengan algún uso práctico, estas unidades no solo deben definirse, sino que también deberán realizarse físicamente para su difusión.

0.8 Para ciertas unidades de medida se han empleado sus denominaciones admitidas por la Real academia española de la lengua (RAE), tales como: voltio, ohmio, faradio, hercio, etc., que en la versión original en francés e inglés aparecen como volt, ohm, farad, hertz, etc.

Sistema internacional de unidades (SI)

1 Objeto y campo de aplicación

1.1 Objeto

Esta norma proporciona la información necesaria para describir y emplear el Sistema internacional de unidades, conocido universalmente como SI (del francés *Système International d'Unités*).

1.2 Campo de aplicación

Esta norma es aplicable en todo el territorio nacional donde se utilicen las unidades del Sistema Internacional de Unidades, SI.

2 Referencias normativas

Los siguientes documentos se mencionan en el texto de tal manera que parte o todo su contenido constituye requisitos de este documento. Para las referencias con fecha, aplica la edición citada. Para referencias sin fecha, aplica la última edición del documento de referencia (incluidas las enmiendas).

NORDOM100 (1^{ra}. Rev.), Sistema internacional de unidades (SI)

NORDOM VIM: 2012, Vocabulario internacional de metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM)

3 Términos y definiciones

A los efectos de este documento, además de los termino y definiciones de esta norma, se aplican los términos y definiciones dados en NORDOM VIM: 2012.

3.1

Constantes definitorias

Son las características más fundamentales de la definición de todo el sistema de unidades del SI.

3.2

Constante fundamental

Es una magnitud física que es considerada invariante en el tiempo y en el espacio, cuyos valores sean elegidos sin incertidumbre.

(FUENTE):

Comité de datos para la ciencia y la tecnología(CODATA)

3.3

Constante de Planck (h)

Es la constante universal para medir la velocidad de la luz en el vacío

3.4

Carga elemental (e)

Fuerza de acoplamiento de la fuerza electromagnética a través de la constante de estructura fina $\alpha = e^2 / (2c\epsilon_0 h)$ donde ϵ_0 es la permitividad eléctrica de vacío o constante eléctrica.

3.5

La constante de Boltzmann

Es una constante de proporcionalidad entre las cantidades temperatura (con unidad kelvin) y energía (con unidad joule), por lo que el valor numérico se obtiene a partir de especificaciones históricas de la escala de temperatura

3.6

La frecuencia de cesio ($\Delta\nu_{Cs}$)

Frecuencia de transición hiperfina en estado fundamental no perturbado del átomo de cesio 133, tiene el carácter de un parámetro atómico, que puede verse afectado por el entorno, como los campos electromagnéticos

3.7

Constante de Avogadro (N_A)

Es una constante de proporcionalidad entre la cantidad de sustancia (con unidad de mol) y la cantidad para contar entidades (con unidad uno, símbolo 1).

3.8

La eficacia luminosa de la radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz, Kcd

Es una constante técnica que da una relación numérica exacta entre las características puramente físicas de la potencia radiante que estimula el ojo humano (W) y su respuesta fotobiológica definida por el flujo luminoso

3.9

Prefijo

Afijo que se añade al comienzo de una palabra para formar una palabra derivada

(FUENTE):

Oxford Languages

3.10

Símbolo

Es la representación perceptible de una idea, con rasgos asociados por una convención socialmente aceptada

3.11

Separador decimal

Símbolo utilizado para separar la parte entera de su parte decimal.

3.12

El metro

Símbolo m, es la unidad SI de longitud. Se define tomando el valor numérico fijo de la velocidad de la luz en el vacío, c , como 299 792 458 cuando se expresa en la unidad $m s^{-1}$, donde el segundo se define en términos de la frecuencia de cesio $\Delta\nu_{Cs}$

3.13

Kilogramo

Símbolo kg, es la unidad de masa del SI. Se define tomando el valor numérico fijo de la constante de Planck, h , como $6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ cuando se expresa en la unidad J s, que es igual a $kg\ m^2\ s^{-1}$, donde el metro y el segundo son definidos en términos de c y $\Delta\nu_{Cs}$

3.14

Segundo

Símbolo s, es la unidad de tiempo SI. Se define tomando el valor numérico fijo de la frecuencia de cesio, $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, la frecuencia de transición hiperfina del estado fundamental no perturbado del átomo de cesio 133, como 9192631770 cuando se expresa en la unidad Hz, que es igual a s^{-1}

3.15

Kelvin

Símbolo K, es la unidad SI de temperatura termodinámica. Se define tomando el valor numérico fijo de la constante de Boltzmann, k, como $1.380\,649 \times 10^{-23}$ cuando se expresa en la unidad J K^{-1} , que es igual a $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$, donde el kilogramo, metro y segundo se definen en términos de h, c y $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

3.16

Mol

Símbolo mol, es la unidad SI de cantidad de sustancia. Un mol contiene exactamente $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$ entidades elementales. Este número es el valor numérico fijo de la constante de Avogadro, N_A , cuando se expresa en la unidad mol^{-1} y se llama número de Avogadro.

3.17

Candela

Símbolo cd, es la unidad SI de intensidad luminosa en una dirección dada. Se define tomando el valor numérico fijo de la eficacia luminosa de la radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz, K_{cd} , como 683 cuando se expresa en la unidad lm W^{-1} , que es igual a cd sr W^{-1} , o $\text{cd sr kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3$, donde el kilogramo, metro y segundo se definen en términos de h, c y $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

4 Siglas y abreviaturas

4.1 Siglas de laboratorios, comités y conferencias

BAAS	Asociación británica para el avance de la ciencia
BIPM	Bureau international des poids et mesures / Oficina internacional de pesos y medidas
CARICOM	Comunidad Caribeña
CCAUV	Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations/ Comité Consultivo de Acústica, Ultrasonidos y Vibraciones
CCDS	Comité consultatif pour la définition de la seconde/Comité Consultivo para la Definición del Segundo, ver CCTF
CCE	Comité consultatif d'électricité/Comité Consultivo de Electricidad, ver CCEM
CCEM	(formerly the CCE) Comité consultatif d'électricité et magnétisme/ Comité Consultivo de Electricidad y Magnetismo
CCL	Comité consultatif des longueurs/ Comité Consultivo de Longitud
CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées/Comité Consultivo de Masa y Cantidades Relacionadas
CCPR	Comité consultatif de photométrie et radiométrie/Comité Consultivo de Fotometría y Radiometría

CCQM	Comité consultatif pour la quantité de matière: métrologie en chimie et biologie/ Comité Consultivo de Cantidad de Sustancia: Metrología en Química y Biología
CCRI	Comité consultatif des rayonnements ionisants/ Comité Consultivo de Radiaciones Ionizantes
CCT	Comité consultatif de thermométrie/ Comité Consultivo de Termómetro
CCTF	(anteriormente el CCDS) Comité consultatif du temps et des fréquences/ Comité Consultivo de Tiempo y Frecuencia
CCU	Comité consultatif des unités/ Comité Consultivo de Unidades
CGPM	Conférence générale des poids et mesures/ Conferencia General de Pesas y Medidas
CIPM	Comité international des poids et mesures/ Comité Internacional de Pesas y Medidas
CODATA	Comité de Datos para la Ciencia y la Tecnología
CR	Comptes Rendus de la Conférence générale des poids et mesures, (CGPM)/ Acta de la Conferencia General sobre Pesas y Medidas (CGPM)
IAU	Unión Astronómica Internacional
ICRP	Comisión Internacional de Protección Radiológica
ICRU	Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
IERS	Servicio Internacional de Sistemas de Referencia y Rotación de la Tierra
ISO	Organización Internacional de Normalización
IUPAC	Unión internacional de Química Pura Aplicada
IUPAP	Unión Internacional de Física Pura y Aplicada
OIML	Organisation internationale de métrologie légale/ Organización Internacional de Metrología Legal
PV	Procès-Verbaux del Comité international des poids et mesures, (CIPM)
SUNAMCO	Comisión de Símbolos, Unidades, Nomenclatura, Masas Atómicas y Constantes fundamentales, (IUPAP)
WHO/OMS	Organización Mundial de la Salud

4.2 Siglas de términos científicos

CGS	Sistema coherente tridimensional de unidades basado en las tres unidades mecánicas centímetro, gramo y segundo
EPT-76	Échelle provisoire de température de 1976/ Escala provisional de bajas temperaturas de 1976

GUM	Guide pour l' expression de l' incertitude de mesure/ Guía para la expresión de la incertidumbre en la medición
IPTS-68	Escala de temperatura práctica internacional de 1968
ITS-90	Escala internacional de temperatura de 1990
MKS	Sistema de unidades basado en las tres unidades mecánicas metro, kilogramo y segundo
MKSA	Sistema cuatridimensional de unidades basado en metro, kilogramo, segundo y amperio.
SI	Système international d'unités/Sistema Internacional de Unidades
TAI	Temps atomique international/ Hora atómica internacional
TCG	Temps-coordonnée géocentrique / Tiempo coordinado geocéntrico
TT	Hora terrestre
UTC	Hora universal coordinada
VSMOW	Agua del océano medio estándar de Viena

5 Generalidades

5.1 Definición de la unidad de una cantidad

4.1.1 El valor de una cantidad se expresa como el producto de un número y una unidad. La unidad es un ejemplo particular de la cantidad en cuestión que se utiliza como referencia, y el número es la relación entre el valor de la cantidad y la unidad.

5.1.2 Para una cantidad particular, se pueden utilizar diferentes unidades para expresar el mismo valor de la cantidad. Por ejemplo, el valor de la velocidad v de una partícula puede expresarse como $v = 25 \text{ m / s}$ o $v = 90 \text{ km / h}$, donde el metro por segundo y el kilómetro por hora son unidades alternativas para el mismo valor.

5.1.3 Cuando se informa el resultado de la medición de una cantidad, el valor estimado del mensurando (la cantidad a medir) y la incertidumbre asociada con ese valor son necesarios. Ambos se deberán expresar en la misma unidad.

5.2 Definición del SI

5.2.1 El producto del valor numérico y la unidad deberá ser igual al valor de la constante, que se postula como invariante.

5.2.2 Las siete constantes se eligen de tal manera que cualquier unidad del SI puede escribirse a través de una constante definitoria en sí misma o mediante productos o cocientes de constantes definitorias

5.2.3 El Sistema Internacional de Unidades, SI, es el sistema de unidades en el que:

1. La frecuencia de transición hiperfina del estado fundamental no perturbado del cesio 133 atom, $\Delta\nu_{Cs}$, es $9\,192\,631\,770 \text{ Hz}$,
2. La velocidad de la luz en el vacío, c , es $299\,792\,458 \text{ m/s}$,
3. La constante de Planck, h , es $6.626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ Js}$,

4. La carga elemental, e , es $1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}\text{C}$,
5. La constante de Boltzmann, k , es $1.380\ 649 \times 10^{-23}\text{J/K}$,
6. La constante de Avogadro, N_A , es $6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}\text{mol}^{-1}$,
7. La eficacia luminosa de la radiación monocromática de la frecuencia $540 \times 10^{12}\text{ Hz}$, K_{cd} , es 683 lm/W

donde el hercio, joule, culombio, lumen y vatio, con símbolos de unidad Hz, J, C, lm y W, respectivamente, están relacionados con las unidades segundo, metro, kilogramo, amperio, kelvin, mol y candela, con símbolos de unidad s, m, kg, A, K, mol y cd, respectivamente, de acuerdo con $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$, $\text{J} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$, $\text{C} = \text{A s}$, $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$, y $\text{W} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$.

5.2.4 Los valores numéricos de las siete constantes definitorias no tienen incertidumbre, (ver tabla 1).

Tabla 1 – Las siete constantes definitorias del SI y las siete unidades correspondientes que definen

Definición de constante	Símbolo	Valor numérico	Unidad
Frecuencia de transición hiperfina de Cs	$\Delta\nu_{Cs}$	9 192 631 770	Hz
velocidad de la luz en el vacío	c	299 792 458	m s^{-1}
Constante de Planck	h	$6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$	J s
Carga elemental	e	$1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$	C
Constante de Boltzmann	k	$1.380\ 649 \times 10^{-23}$	JK^{-1}
Constante de Avogadro	N_A	$6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}$	mol^{-1}
Eficacia luminosa	K_{cd}	683	lm W^{-1}

5.2.5 Los valores numéricos de las constantes definitorias se han elegido para que sean coherentes con las definiciones anteriores en la medida en que los avances en la ciencia y el conocimiento lo permitan.

5.3 La naturaleza de las siete constantes definitorias

5.3.1 La naturaleza de las constantes definitorias varía desde las constantes fundamentales de la naturaleza hasta las constantes técnicas.

5.3.2 Una constante técnica se podrá elegir libremente, de modo que incluya factores de ponderaciones fisiológicas convencionales u otros. En cambio, el uso de una constante fundamental de la naturaleza, en general, no permite esta elección porque se relaciona con otras constantes a través de las ecuaciones de la física.

5.3.3 El conjunto de siete constantes definitorias ha sido elegido para proporcionar una referencia fundamental, estable y universal que simultáneamente permite realizaciones prácticas con las más pequeñas incertidumbres.

5.4 Unidades base

5.4.1 Las unidades base del SI se enumeran en la tabla 2.

Tabla 2 – Unidades base del Sistema Internacional de Unidades, SI

Cantidad base		Unidad base	
Nombre	Símbolo típico	Nombre	Símbolo
Tiempo	t	Segundo	s
Longitud	l, x, r, etc	Metro	m
Masa	m	Kilogramo	kg
Corriente eléctrica	I, i	Amperio	A
Temperatura termodinámica	T	Kelvin	K
Cantidad de sustancia	n	Mole	mol
Intensidad luminosa	I_v	Candela	cd

5.4.2 A partir de la definición del SI en términos de valores numéricos fijos de las constantes definitorias, las definiciones de cada una de las siete unidades básicas se deducen utilizando, según corresponda, una o más de estas constantes definitorias para obtener el siguiente conjunto de definiciones.

5.4.2.1 El segundo

La definición del segundo implica la relación exacta $\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770$ Hz. Invertir esta relación da una expresión para la unidad de segundo en términos de la constante definitoria $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

$$1\text{Hz} = \frac{\Delta\nu_{\text{Cs}}}{9\,192\,631\,770} \text{ ó } 1\text{s} = \frac{9\,192\,631\,770}{\Delta\nu_{\text{Cs}}} \quad (1)$$

5.4.2.2 El metro

El metro implica la relación exacta $c = 299\,792\,458$ m s⁻¹. Invertir esta relación da una expresión exacta para el metro en términos de las constantes definitorias c y $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

$$1\text{m} = \left(\frac{c}{299\,792\,458}\right)\text{s} = \left(\frac{9\,192\,631\,770}{299\,792\,458\Delta\nu_{\text{Cs}}}\right) \approx 30.663319 \frac{c}{\Delta\nu_{\text{Cs}}} \quad (2)$$

5.4.2.3 El kilogramo

5.4.2.3.1 El kilogramo implica la relación exacta $h = 6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$ kg m² s⁻¹. Invertir esta relación da una expresión exacta para el kilogramo en términos de las tres constantes definitorias h , $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ y c :

$$1\text{kg} = \left(\frac{h}{6.626\,070\,15 \times 10^{-34}}\right) \text{m}^{-2}\text{s}$$

que es igual a

$$1\text{kg} = \frac{(299\,792\,458)^2}{(6.626\,070\,15 \times 10^{-34})(9\,192\,631\,770)} \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2} \approx 1.475\,5214 \times 10^{40} \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2}. \quad (3)$$

5.4.2.3.2 La definición del kilogramo establece que el valor numérico de constante de Planck h y la masa del prototipo deberá determinarse mediante un experimento.

5.4.2.4 El amperio

5.4.2.4.1 El amperio implica la relación exacta $e = 1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$ A s. Invertir esta relación da una expresión exacta para la unidad de amperio en términos de las constantes definitorias e y $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

$$1\text{A} = \left(\frac{e}{1.602\,176\,634 \times 10^{-19}}\right) \text{s}^{-1}$$

que es igual a

$$1A = \frac{1}{(9\,192\,631\,770)(1.602\,176\,634 \times 10^{-19})} \Delta v_{Cs} e \approx 6.789\,6868 \times 10^8 \Delta v_{Cs} e. \quad (4)$$

5.4.2.4.2 La nueva definición del amperio fija el valor de e en lugar de μ_0 . Como resultado, μ_0 debe determinarse experimentalmente. También se deduce que, dado que la permisividad eléctrica del vacío ϵ_0 (también conocida como la constante eléctrica), la impedancia característica del vacío Z_0 y la admitancia del vacío Y_0 son iguales a $1/\mu_0 c^2$, $\mu_0 c$, y $1/\mu_0 c$, respectivamente, los valores de ϵ_0 , Z_0 e Y_0 ahora también deberán determinarse experimentalmente, y se ven afectados por la misma incertidumbre estándar relativa que μ_0 ya que c se conoce con exactitud

5.4.2.5 Kelvin

5.4.2.5.1 La definición Kelvin implica la relación exacta relación $k = 1.380\,649 \times 10^{-23} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Invertir esta relación da una expresión exacta para el kelvin en términos de las constantes definitorias k , h y Δv_{Cs} :

$$1K = \left(\frac{1.380\,649 \times 10^{-23}}{k} \right) \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-2}$$

que es igual a

$$1K = \frac{1.380\,649 \times 10^{-23}}{(6.626\,070\,15 \times 10^{-34})(9\,192\,631\,770)} \frac{h \Delta v_{Cs}}{k} \approx 2.266\,6653 \frac{\Delta v_{Cs} h}{k}. \quad (5)$$

5.4.2.5.2 En el momento de adoptar la definición actual, el T_{TPW} era igual a 273.16 K con una incertidumbre estándar relativa de 3.7×10^{-7} basada en las mediciones de k realizadas antes de la redefinición.

5.4.2.5.3 Como resultado de la forma en que se definían las escalas de temperatura, sigue siendo una práctica común expresar una temperatura termodinámica, símbolo T , en términos de su diferencia con la temperatura de referencia $T_0 = 273.15 \text{ K}$, cerca del punto de hielo. Esta diferencia se llama temperatura Celsius, símbolo t , que se define mediante la ecuación cuantitativa.

$$t = T - T_0. \quad (6)$$

5.4.2.5.4 La unidad de temperatura Celsius es el grado Celsius, símbolo $^{\circ}\text{C}$, que por definición es igual en magnitud a la unidad kelvin. El valor numérico de una temperatura Celsius expresada en grados Celsius está relacionado con el valor numérico de la temperatura termodinámica expresada en kelvin por la relación

$$t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273.15 \quad (7)$$

5.4.2.6 Mol

5.4.2.6.1 La definición del mol implica la relación exacta $N_A = 6.022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Invertir esta relación da una expresión exacta para el mol en términos de la constante definitoria N_A :

$$1 \text{ mol} = \left(\frac{6.022\,140\,76 \times 10^{23}}{N_A} \right) \quad (8)$$

5.4.2.6.2 El efecto de esta definición es que el mol es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$ entidades elementales específicas.

5.4.2.6.3 La masa molar de cualquier átomo o molécula X aún puede obtenerse de su masa atómica relativa de la ecuación

$$M(X) = A_r(X) [M(^{12}\text{C}) / 12] = A_r(X) M_u \quad (9)$$

y la masa molar de cualquier átomo o molécula X también está relacionada con la masa de la entidad elemental $m(X)$ por la relación

$$M(X) = N_A m(X) = N_A A_r(X) m_u \quad (10)$$

5.4.2.6.4 En estas ecuaciones, M_u es la constante de masa molar, igual a $M(^{12}\text{C}) / 12$ y m_u es la constante de masa atómica unificada, igual a $M(^{12}\text{C}) / 12$. Están relacionados con la constante de Avogadro a través de la relación

$$M_u = N_A m_u \quad (11)$$

5.4.2.7 La candela

La definición de candela implica la relación exacta $K_{cd} = 683 \text{ cd sr kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^3$ para radiación monocromática de frecuencia $\nu = 540 \times 10^{12} \text{ Hz}$. Al invertir esta relación se obtiene una expresión exacta para la candela en términos de las constantes definitorias K_{cd} , h y $\Delta\nu_{Cs}$:

$$1 \text{ cd} = \left(\frac{K_{cd}}{683} \right) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-3} \text{ sr}^{-1}$$

que es igual a

$$1 \text{ cd} = \frac{1}{(6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34})(9\ 192\ 631\ 770)^2 683} (\Delta\nu_{Cs})^2 h K_{cd} \\ \approx 2.614\ 8305 \times 10^{10} (\Delta\nu_{Cs})^2 h K_{cd} \quad (12)$$

5.5 Realización práctica de unidades SI

Los métodos experimentales utilizados para la realización de unidades utilizando las ecuaciones de la física se conocen como métodos primarios. La característica esencial de este método primario es que permite medir una cantidad en una unidad en particular utilizando solo mediciones de cantidades que no involucran esa unidad. En la presente formulación del SI, la base de las definiciones es diferente a la utilizada anteriormente, por lo que se pueden utilizar nuevos métodos para la realización práctica de las unidades del SI.

5.6 Magnitudes y unidades

5.6.1 El valor de una magnitud se expresa generalmente como el producto de un número por una unidad. La unidad es un valor particular de la magnitud considerada, tomada como referencia, y el número es el cociente entre el valor de la magnitud considerada y la unidad. Para una magnitud concreta, se pueden utilizar numerosas unidades diferentes. Sin embargo, debido a la importancia de contar con un conjunto de unidades bien definidas, reconocidas universalmente para el conjunto de medidas que se utilizan en la sociedad de hoy, las unidades deberán elegirse de forma accesible a todo el mundo, constantes en el tiempo y el espacio, y fáciles de realizar con exactitud.

5.6.2 Para definir un sistema de unidades, tal como el SI, es necesario en primer lugar, establecer un sistema de magnitudes, que incluya una serie de ecuaciones que expresen las relaciones entre estas. Es conveniente también elegir las definiciones de un número de unidades, a las que llamaremos unidades

básicas, y entonces definir las unidades de las demás magnitudes, que llamamos unidades derivadas, como producto de potencias de las unidades básicas. De forma similar, las magnitudes correspondientes se denominan básicas y derivadas y las ecuaciones que expresan las magnitudes derivadas en función de las básicas se emplean para expresar las unidades derivadas en función de las básicas. Así en un desarrollo lógico, la elección de las magnitudes y ecuaciones que las relacionan precede a la elección de las unidades.

5.6.3 El número de magnitudes derivadas de interés para la ciencia y la tecnología puede extenderse sin límites. De esta forma las unidades derivadas que se utilicen con las nuevas magnitudes siempre pueden definirse como producto de potencias de las unidades básicas previamente elegidas.

5.7 El sistema internacional de unidades (SI) y el sistema de magnitudes correspondientes

5.7.1 El sistema de magnitudes que se utilizará con el SI, está formado por las magnitudes y ecuaciones que las relacionan, es conocido como Sistema Internacional de Magnitudes.

5.7.2 Las magnitudes básicas empleadas en el SI son longitud, masa, tiempo, intensidad de corriente eléctrica, temperatura termodinámica, cantidad de sustancia e intensidad luminosa. Las unidades básicas elegidas por la CGPM, son el metro, el kilogramo, el segundo, el amperio, el kelvin, el mol y la candela. Las unidades derivadas del SI se forman como producto de potencias de las unidades básicas.

5.8 Dimensiones de las magnitudes

5.8.1 Las magnitudes físicas se organizan según un sistema de dimensiones y cada una de las siete magnitudes básicas del SI tiene su propia dimensión, representada simbólicamente por una sola letra mayúscula en fuente romana. Los símbolos utilizados para las cantidades base y los símbolos utilizados para indicar su dimensión se muestran en la tabla 3.

Tabla 3 – Magnitudes básicas y dimensiones utilizadas en el SI

Magnitud básica	Símbolo de la magnitud	Símbolo de la dimensión
Longitud	<i>l, x, r, etc.</i>	<i>L</i>
Masa	<i>m</i>	<i>M</i>
Tiempo, duración	<i>t</i>	<i>T</i>
Intensidad de corriente eléctrica	<i>I, i</i>	<i>I</i>
Temperatura termodinámica	<i>T</i>	θ
Cantidad de sustancia	<i>n</i>	<i>N</i>
Intensidad luminosa	<i>I_v</i>	<i>J</i>
<p>NOTA 1 Los símbolos de las magnitudes se escriben siempre en cursiva, mientras que, los símbolos de las dimensiones se escriben en mayúsculas en fuente romana</p> <p>NOTA 2 Para algunas magnitudes, es posible emplear símbolos diferentes, como se indica para la longitud o la corriente eléctrica</p> <p>NOTA 3 Los símbolos dimensionales y los exponentes se tratan según las reglas ordinarias del álgebra</p>		

5.8.2 Las dimensiones de las magnitudes derivadas se escriben en forma de producto de potencias de las dimensiones de las magnitudes básicas, empleando las ecuaciones que relacionan las magnitudes derivadas con las básicas. En general la dimensión de una magnitud *Q* se escribe en forma de un producto dimensional,

$$\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma I^\delta \theta^\epsilon N^\zeta J^\eta \tag{13}$$

donde los exponentes α , β , γ , δ , ϵ , ζ , y η , que son en general números enteros pequeños que pueden ser positivos, negativos o cero, se denominan exponentes dimensionales. La dimensión de una magnitud derivada proporciona la misma información sobre la relación de esa magnitud con las magnitudes básicas que la que proporciona la unidad del SI de la magnitud derivada como producto de potencias de unidades básicas del mismo.

5.8.3 Existen algunas magnitudes derivadas Q cuya ecuación que las definen es tal, que todos los exponentes dimensionales de la expresión de la dimensión de Q son cero. Esto es cierto, en particular, para cualquier magnitud definida como cociente entre dos magnitudes del mismo tipo. Estas magnitudes se denominan como adimensionales o, alternativamente, de dimensión uno.

5.8.4 Hay algunas magnitudes que no pueden describirse como función de las siete magnitudes básicas del SI, sino que tienen naturaleza de cuenta; es decir, su valor se determina mediante conteo. Ejemplos de ellas son el número de moléculas, la degeneración en mecánica cuántica (el número de estados independientes con igual energía) y la función de partición en termodinámica estadística (el número de estados térmicamente accesibles). Estas magnitudes de cuenta se consideran también habitualmente como adimensionales o de dimensión uno y tienen como unidad el número uno, 1.

5.9 Unidades coherentes, unidades derivadas con nombres especiales y prefijos SI

5.9.1 Las unidades derivadas se definen como productos de potencias de unidades básicas. Cuando el producto de potencias no incluye ningún factor numérico distinto del uno, las unidades derivadas se llaman unidades derivadas coherentes. Las unidades básicas y las unidades derivadas coherentes del SI forman un conjunto coherente designado como conjunto coherente de unidades SI. Cuando se utilizan unidades coherentes, las ecuaciones entre los valores numéricos de las magnitudes toman exactamente la misma forma que las ecuaciones entre las magnitudes propiamente dichas. Por tanto, si solamente se utilizan unidades de un conjunto coherente, no se requieren nunca factores de conversión entre unidades.

5.9.2 Cada magnitud física tiene solamente una unidad coherente SI, incluso si ésta puede expresarse de formas diferentes mediante el uso de nombres y símbolos especiales, ver la tabla 4.

5.9.3 El conjunto coherente de unidades, así como los múltiplos y submúltiplos de estas, formados al combinarlas con los prefijos del SI, se denominan unidades del SI. Sin embargo, los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI no forman un conjunto coherente, con excepción del kilogramo, que incluye el prefijo kilo por razones históricas.

5.10 Las unidades SI en el marco de la relatividad general

Las definiciones de las unidades básicas del SI han sido adoptadas en un contexto que no toma en consideración los efectos relativistas. Cuando se tienen en cuenta, resulta evidente que estas definiciones sólo son válidas en un pequeño dominio espacial que comparte el movimiento de los patrones que las realizan. Estas unidades se conocen como unidades propias; se realizan a través de experimentos locales, en los que los únicos efectos relativistas que es necesario considerar son los de la relatividad especial. Las constantes de la física son magnitudes locales cuyo valor se expresa en unidades propias.

5.11 Unidades de magnitudes que describen efectos biológicos

5.11.1 Las unidades de magnitudes que describen efectos biológicos son difíciles de referir a las unidades del SI porque incluyen habitualmente factores de ponderación que no pueden conocerse o definirse con precisión y que son dependientes tanto de la energía como de la frecuencia.

5.11.2 Existe una clase de unidades que cuantifican la actividad biológica de ciertas sustancias empleadas en diagnóstico y terapia médicos, que no pueden definirse todavía en función de las unidades del SI. Esto es porque el mecanismo del efecto biológico específico que proporciona a estas sustancias su

eficacia médica no se conoce aun suficientemente bien para poder cuantificarlo en función de parámetros físico-químicos. En vista de su importancia para la salud y la seguridad humana, la Organización Mundial de la Salud (OMS), ha asumido la responsabilidad de definir las unidades internacionales UI OMS de la actividad biológica de dichas sustancias.

6 Unidades del SI

6.1 Unidades básicas. Definiciones

6.1.1 Las definiciones oficiales de todas las unidades básicas del SI son aprobadas por la CGPM. Estas definiciones se revisan según avanza la ciencia.

6.2 Símbolos para las siete unidades básicas

Las unidades básicas del Sistema Internacional se recogen en la tabla 2, que relaciona las magnitudes básicas con los nombres y símbolos de las siete unidades básicas, (ver tabla 2).

6.3 Unidades del SI derivadas

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.

6.4 Unidades derivadas expresadas en función de unidades básicas

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 4 presenta algunos ejemplos de magnitudes derivadas y las unidades derivadas coherentes correspondientes, expresadas directamente en función de las unidades básicas, (ver tabla 4).

Tabla 4 – 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^2
Volumen	V	Metro cúbico	m^3
Velocidad	v	Metro por segundo	m/s
Aceleración	a	Metro por segundo cuadrado	m/s^2
Número de ondas	$\sigma, \tilde{\nu}$	Metro a la potencia menos uno	m^{-1}
Densidad, masa en volumen	ρ	Kilogramo por metro cúbico	kg/m^3
Densidad superficial	ρ_A	Kilogramo por metro cuadrado	kg/m^2
Volumen específico	v	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 (^a) concentración	c	Mol por metro cúbico	mol/m^3
Concentración másica	ρ, γ	Kilogramo por metro cúbico	kg/m^3
Luminancia	L_v	Candela por metro cuadrado	cd/m^2
Índice de refracción (^b)	n	Uno	1
Permeabilidad relativa (^b)	μ_r	Uno	1
NOTA a En el campo de la química clínica, esta magnitud se llama también concentración de sustancia.			
NOTA 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			

6.5 Unidades con nombres y símbolos especiales; unidades que incorporan nombres y símbolos especiales

6.5.1 Los nombres y símbolos especiales representan una forma compacta de expresar combinaciones de unidades básicas de uso frecuente. 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. Las tablas 5 y 6 muestran los nombres y símbolos especiales que pueden utilizarse con los nombres y los símbolos de las unidades básicas o derivadas para expresar las unidades de otras magnitudes derivadas.

6.5.2 Los valores de varias magnitudes diferentes pueden expresarse mediante el mismo nombre y símbolo de unidad SI, por ejemplo, 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 de los instrumentos de medida, sino que, deben indicar tanto la unidad como la magnitud medida.

6.5.3 Una unidad derivada puede expresarse de varias formas diferentes utilizando unidades básicas y unidades derivadas con nombres especiales, de esta forma, el julio puede escribirse newton metro o bien kilogramo metro cuadrado por segundo cuadrado.

Tabla 5 – Unidades del SI derivadas coherentes con nombres y símbolos especiales

Unidad SI derivada coherente ^(a)				
Magnitud derivada	Nombre	Símbolo	Expresión mediante otras unidades SI	Expresión en unidades SI básicas
Ángulo plano	Radián ^(b)	<i>rad</i>	1 ^(b)	m/m
Ángulo sólido	Estereorradián ^(b)	<i>sr</i> ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
Frecuencia	Hercio ^(d)	<i>Hz</i>	-	s ⁻¹
Fuerza	Newton	<i>N</i>	-	m kg s ⁻²
Presión, tensión	Pascal	<i>Pa</i>	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
Energía, trabajo, cantidad de calor	Julio	<i>J</i>	N m	m ² kg s ⁻²
Potencia, flujo energético	Vatio	<i>W</i>	J/s	m ² kg s ⁻³
Carga eléctrica, cantidad de electricidad	Culombio	<i>C</i>		s A
Diferencia de potencial eléctrico, fuerza electromotriz	Voltio	<i>V</i>	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
Capacidad eléctrica	Faradio	<i>F</i>	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
Resistencia eléctrica	Ohmio	<i>Ω</i>	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
Conductancia eléctrica	Siemens	<i>S</i>	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
Flujo magnético ^(h)	Weber	<i>Wb</i>	V s	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
Densidad de flujo magnético ⁽ⁱ⁾	Tesla	<i>T</i>	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
Inductancia	Henrio	<i>H</i>	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
Temperatura Celsius	Grado Celsius ^(e)	°C		K
Flujo luminoso	Lumen	<i>lm</i>	cd sr ^(c)	cd
Iluminancia	Lux	<i>lx</i>	lm/m ²	m ⁻² cd
Actividad de un radionucléido ^(f)	Becquerel ^(d)	<i>Bq</i>		s ⁻¹
Dosis absorbida, energía másica (comunicada), kerma	Gray	<i>Gy</i>	J/kg	m ² s ⁻²
Dosis equivalente, dosis equivalente ambiental, dosis equivalente direccional, dosis equivalente individual	Sievert ^(g)	<i>Sv</i>	J/kg	m ² s ⁻²
Actividad catalítica	Katal	<i>kat</i>		s ⁻¹ mol

NOTA 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

NOTA 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

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

NOTA d El hercio sólo se utiliza para los fenómenos periódicos y el becquerel para los procesos estocásticos relacionados con la actividad de un radionucleidos

NOTA 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 kelvin o en grados Celsius

NOTA f La actividad de un radionucleido, se llama a veces de forma incorrecta radiactividad.

NOTA g Al flujo magnético, también se le conoce como flujo de inducción magnética.

NOTA h A la densidad de flujo magnético, también se la conoce como inducción magnética.

NOTA i A la densidad de flujo magnético, también se la conoce como inducción magnética

Tabla 6 – Ejemplos de unidades del SI derivadas coherentes cuyos nombres y símbolos contienen unidades del SI derivadas coherentes con nombres y símbolos especiales

Unidad del SI derivada coherente			
Magnitud derivada	Nombre	Símbolo	Expresión en unidades SI básicas
Viscosidad dinámica	Pascal segundo	<i>Pa s</i>	$m^{-1} kg s^{-1}$
Momento de una fuerza	Newton metro	<i>N m</i>	$m^2 kg s^{-2}$
Tensión superficial	Newton por metro	<i>N/m</i>	$kg s^{-2}$
Velocidad angular	Radián por segundo	<i>rad/s</i>	$m m^{-1} s^{-1} = s^{-1}$
Aceleración angular	Radián por segundo cuadrado	<i>rad/s²</i>	$m m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
Densidad superficial de flujo térmico irradiancia	Vatio por metro cuadrado	<i>W/m²</i>	$kg s^{-3}$
Capacidad térmica entropía,	Julio por kelvin	<i>J/K</i>	$m^2 kg s^{-2} K^{-1}$
Capacidad térmica másica, entropía másica	Julio por kilogramo y kelvin	<i>J/(kg K)</i>	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
Energía másica	Julio por kilogramo	<i>J/kg</i>	$m^2 s^{-2}$
Conductividad térmica	Vatio por metro y kelvin	<i>W/(m K)</i>	$m kg s^{-3} K^{-1}$
Densidad de energía	Julio por metro cúbico	<i>J/m³</i>	$m^{-1} kg s^{-2}$
Campo eléctrico	Voltio por metro	<i>V/m</i>	$m kg s^{-3} A^{-1}$
Densidad de carga eléctrica	Culombio por metro cúbico	<i>C/m³</i>	$m^{-3} s A$
Densidad superficial de carga eléctrica	Culombio por metro cuadrado	<i>C/m²</i>	$m^{-2} s A$
Densidad de flujo eléctrico, desplazamiento eléctrico	Culombio por metro cuadrado	<i>C/m²</i>	$m^{-2} s A$
Permitividad	Faradio por metro	<i>F/m</i>	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
Permeabilidad	Henrio por metro	<i>H/m</i>	$m kg s^{-2} A^{-2}$
Energía molar	Julio por mol	<i>J/mol</i>	$m^2 kg s^{-2} mol^{-1}$
Entropía molar, capacidad calorífica molar	Julio por mol y kelvin	<i>J/(mol K)</i>	$m^2 kg s^{-2} K^{-1} mol^{-1}$
Exposición (rayos x y γ)	Culombio por kilogramo	<i>C/kg</i>	$kg^{-1} s A$
Tasa de dosis absorbida	Gray por segundo	<i>Gy/s</i>	$m^2 s^{-3}$
Intensidad radiante	Vatio por estereorradián	<i>W/sr</i>	$m^4 m^{-2} kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$
Radiancia	Vatio por metro cuadrado y estereorradián	<i>W/(m² sr)</i>	$m^2 m^{-2} kg s^{-3} = kg s^{-3}$
Concentración de actividad catalítica	Katal por metro cúbico	<i>kat/m³</i>	$m^{-3} s^{-1} mol$

NOTA En el contexto de esta norma la preposición “por” debe entenderse como “por cada unidad de”, por ejemplo: La unidad de presión pascal es equivalente a newton por metro cuadrado y su significado físico es el de un newton por cada metro cuadrado

6.5.5.4 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, se puede 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 un desplazamiento, lo que sugiere emplear la unidad newton metro, la energía por unidad de ángulo aconseja emplear la unidad julio por radián, etc.

6.6 Unidades para magnitudes adimensionales, también denominadas magnitudes de dimensión uno

6.6.1 Cuando ciertas magnitudes se definen por cociente de dos magnitudes de la misma naturaleza 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. Como ejemplo de tales magnitudes, se pueden citar, el índice de refracción, la permeabilidad relativa o el coeficiente de rozamiento y algunos productos complejos y adimensionales

de magnitudes más simples como Reynolds $Re = \rho v l / \eta$, en donde ρ es la densidad, η la viscosidad dinámica, v la velocidad y l la longitud. En todos estos casos, la unidad puede considerarse como el número 1, unidad derivada adimensional.

6.6.2 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). 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 radian y el estereorradián que expresan los valores del ángulo plano y del ángulo sólido.

7 Múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades del SI

7.1 Prefijos del SI

7.1.1 Los prefijos del SI representan estrictamente potencias de 10. No deben utilizarse para expresar potencias de 2. La tabla 7 enumera los nombres y símbolos de los prefijos aprobados.

Tabla 7 – Prefijos del SI

Factor	Nombre	Símbolo	Factor	Nombre	Símbolo
10^1	Deca	<i>da</i>	10^{-1}	Deci	<i>d</i>
10^2	Hecto	<i>h</i>	10^{-2}	Centi	<i>c</i>
10^3	Kilo	<i>k</i>	10^{-3}	Mili	<i>m</i>
10^6	Mega	<i>M</i>	10^{-6}	Micro	μ
10^9	Giga	<i>G</i>	10^{-9}	Nano	<i>n</i>
10^{12}	Tera	<i>T</i>	10^{-12}	Pico	<i>p</i>
10^{15}	Peta	<i>p</i>	10^{-15}	Femto	<i>f</i>
10^{18}	Exa	<i>E</i>	10^{-18}	Atto	<i>a</i>
10^{21}	Zetta	<i>Z</i>	10^{-21}	Zepto	<i>z</i>
10^{24}	Yotta	<i>Y</i>	10^{-24}	Yocto	<i>y</i>

7.1.2 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 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.

7.1.3 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.

EJEMPLO:

- $2.3 \text{ cm}^3 = 2.3 (\text{cm})^3 = 2.3 (10^{-2} \text{ m})^3 = 2.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
- $1 \text{ cm}^{-1} = 1 (\text{cm})^{-1} = 1 (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1} = 100 \text{ m}^{-1}$
- $1 \text{ V/cm} = (1 \text{ V}) / (10^{-2} \text{ m}) = 10^2 \text{ V/m} = 100 \text{ V/m}$
- $5000 \mu\text{s}^{-1} = 5000 (\mu\text{s})^{-1} = 5000 (10^{-6} \text{ s})^{-1} = 5 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$

7.1.4 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.

7.1.5 Los símbolos de prefijos compuestos; es decir, los símbolos de prefijos formados por yuxtaposición de dos o más símbolos de prefijos, no están permitidos. Esta regla se aplica también a los nombres de los prefijos compuestos.

7.1.6 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”.

7.1.7 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 “*mas*”, como unidades de medida de ángulos muy pequeños.

7.1.8 Entre las unidades básicas del SI, 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”.

8 Unidades no pertenecientes al SI que se aceptan para su uso con el SI

8.1 Algunas unidades no pertenecientes al SI son de importancia histórica, aparecen en publicaciones científicas, técnicas y comerciales y por tanto continuarán en uso durante muchos años; otras, como las unidades de tiempo y de ángulo, se encuentran tan arraigadas en la cultura humana que seguirán siendo utilizadas en el futuro. Además, los científicos deben tener la libertad de utilizar a veces unidades no pertenecientes al SI, si lo consideran ventajoso para su trabajo. Por estas razones, se considera útil establecer listados de las unidades más importantes no pertenecientes al SI.

8.2 Cuando se usen las unidades no pertenecientes al SI que figuran en las tablas 8, 9 y 10, es conveniente definir las en función de las unidades del SI correspondientes

8.3 Unidades no pertenecientes al SI aceptadas para su uso con unidades del SI, y unidades basadas en constantes fundamentales

8.3.1 La tabla 8 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 del SI coherentes correspondientes en un factor igual a una potencia entera de diez. Los prefijos del SI se emplean con varias de estas unidades, pero no con las unidades de tiempo.

Tabla 8 – Unidades no pertenecientes al SI cuyo uso con el SI está aceptado

Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Valor en unidades SI
Tiempo	Minuto	<i>min</i>	1 min = 60 s
	Hora ^(a)	<i>h</i>	1 h = 60 min = 3600 s
	Día	<i>d</i>	1 d = 24 h = 86 400 s
longitud	Unidad astronómica ^(a)	au	1 au = 149 597 870 700 m
Ángulo plano	Grado ^(b, c)	<i>º</i>	1º = (π/180) rad
	Minuto	'	1' = (1/60)º = (π/ 10 800) rad
	Segundo ^(d)	"	1" = (1/60)' = (π/ 648 000) rad
Área	Hectárea ^(e)	<i>ha</i>	1 ha = 1 hm ² = 10 ⁴ m ²
Volumen	Litro ^(f)	<i>L, l</i>	1 L = 1 l = 1 dm ³ = 10 ³ cm ³ = 10 ⁻³ m ³
Masa	Tonelada ^(g)	<i>t</i>	1 t = 10 ³ kg
	Dalton ^(g)	<i>Da</i>	1Da=1.66053906660(50)×10 ⁻²⁷ kg
energía	Electronvoltio ^(g)	eV	1 eV = 1.602 176 634 × 10 ⁻¹⁹ J
Logaritmo, cantidad proporcional	neper ^(h)	Np	Ver texto
	bel ^(h)	B	
	decibel ^(h)	dB	

NOTA a El símbolo de esta unidad figura en la Resolución 7 de la 9ª CGPM (1948; CR, 70)

NOTA b La norma ISO 31 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

NOTA c 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 (π/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].

NOTA d 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, μas y pas, respectivamente). El segundo de arco o el segundo de grado son otros nombres del segundo de ángulo plano

NOTA e La unidad hectárea y su símbolo fueron adoptados por el CIPM en 1879 (PV, 1879, 41). La hectárea se utiliza para expresar superficies agrarias

NOTA f: El litro y su símbolo en minúscula l fueron adoptados por el CIPM en 1879 (PV, 1879, 41). El símbolo alternativo, L mayúscula, fue adoptado por la 16ª Conferencia General (1979, Resolución 6; CR, 101 y Metrología, 1980, 16, 56-57) para evitar el riesgo de confusión entre la letra l (ele) y la cifra 1 (uno)

NOTA g La tonelada, y su símbolo t, fueron adoptados por el CIPM en 1879 (PV, 1879, 41). En los países de habla inglesa, esta unidad se designa generalmente como "tonelada métrica"

8.3.2 La tabla 9 contiene unidades cuyos valores en unidades del SI tienen que determinarse experimentalmente, y por tanto tienen una incertidumbre asociada. Estas unidades desempeñan un papel importante en un cierto número de campos especializados, en los que los resultados de medida y los cálculos se expresan más cómoda y útilmente mediante estas unidades. Para el electronvoltio (*eV*) y el dalton (*Da*), los valores dependen de la carga eléctrica elemental *e* y de la constante de Avogadro *N_A*, respectivamente.

8.3.2.1 Los dos sistemas de unidades más importantes basados en las constantes fundamentales son:

a) Sistema de unidades naturales (u.n.), utilizado en el campo de la física de altas energías y de partículas, en este sistema el tiempo es una magnitud derivada y la unidad natural de tiempo es una unidad derivada igual a la combinación de unidades básicas $\hbar/m_e c_0^2$ y las magnitudes básicas en mecánica son la velocidad, la acción y la masa, cuyas unidades básicas son la velocidad de la luz en el vacío c_0 , la constante de Planck dividida por 2π , denominada constante de Planck reducida, de símbolo \hbar , y la masa del electrón m_e , respectivamente.

NOTA \hbar es la constante de Planck reducida o constante de Dirac.

b) El sistema de unidades atómicas (u.a.), utilizado en física atómica y en química cuántica. Las magnitudes básicas para este sistema son carga, masa, acción, longitud y energía, y sus unidades básicas correspondientes son e para la carga eléctrica elemental, m_e para la masa del electrón, \hbar para la acción, a_0 (o bohr) para el radio de Bohr y E_h (o hartree) para la energía de Hartree, respectivamente. En este sistema, el tiempo también es una magnitud derivada y la unidad atómica de tiempo es una unidad derivada, igual a \hbar/E_h .

8.3.3 Los sistemas de magnitudes sobre los que se basan estas unidades difieren de forma fundamental del SI, generalmente no se emplean con el SI y el CIPM no las ha aceptado oficialmente para poder utilizarlas con el Sistema Internacional y se emplean únicamente en los campos particulares de la física de partículas, de la física atómica y de la química cuántica.

Tabla 9 – Unidades no pertenecientes al SI cuyo valor en unidades SI se obtiene experimentalmente

Unidades utilizadas con el SI			
Magnitudes	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Valor en unidades SI ^(a)
Energía	Electronvoltio ^(b)	<i>eV</i>	1 eV = 1.602 176 53 (14) × 10 ⁻¹⁹ J
Masa	Dalton, ^(c)	<i>Da</i>	1 Da = 1.660 538 86 (28) × 10 ⁻²⁷ kg
	Unidad de masa atómica unificada	<i>u</i>	1 u = 1 Da
Longitud	Unidad astronómica ^(d)	<i>ua</i>	1 ua = 1.495 978 706 91 (6) × 10 ¹¹ m
Unidades naturales (u. n.)			
Velocidad	Unidad natural de velocidad (velocidad de la luz en el vacío)	<i>c</i> ₀	299 792 458 m/s (exacto)
Acción	Unidad natural de acción (constante de Planck reducida)	<i>ħ</i>	1.054 571 68 (18) × 10 ⁻³⁴ J s
Masa	Unidad natural de masa (masa del electrón)	<i>m_e</i>	9.109 3826 (16) × 10 ⁻³¹ kg
Tiempo	Unidad natural de tiempo	<i>ħ</i> /(<i>m_ec</i> ²)	1.288 088 6677 (86) × 10 ⁻²¹ s
Unidades atómicas (u. a.)			
Carga	Unidad atómica de carga, (carga eléctrica elemental)	<i>e</i>	1.602 176 53 (14) × 10 ⁻¹⁹ C
Masa	Unidad atómica de masa, (masa del electrón)	<i>m_e</i>	9.109 3826 (16) × 10 ⁻³¹ kg
Acción	Unidad atómica de acción, (constante de Planck reducida)	<i>ħ</i>	1.054 571 68 (18) × 10 ⁻³⁴ J s
Longitud	Unidad atómica de longitud, bohr (radio de Bohr)	<i>a₀</i>	0.529 177 2108 (18) × 10 ⁻¹⁰ m
Energía	Unidad atómica de energía, hartree (energía de Hartree)	<i>E_h</i>	4.359 744 17 (75) × 10 ⁻¹⁸ J
Tiempo	Unidad atómica de tiempo	<i>ħ</i> / <i>E_h</i>	2.418 884 326 505 (16) × 10 ⁻¹⁷ s
<p>NOTA (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 el Consejo nacional para la ciencia (CODATA) en 2002, publicada por P.J. Mohr y B.N. Taylor, Rev. Mod. Phys. 2005, 77, 1-107. La incertidumbre típica referida a las dos últimas cifras se indica entre paréntesis.</p>			
<p>NOTA (b) El electronvoltio es la energía cinética adquirida por un electrón tras atravesar una diferencia de potencial de 1V en el vacío. El electronvoltio se combina a menudo con los prefijos SI.</p>			
<p>NOTA (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 ¹²C 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.</p>			
<p>NOTA (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). El valor de la unidad astronómica lo estableció la Convención de la IERS 2003 (D.D. McCarthy y G. Petit eds., IERS Technical Note 32, Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamtsfür Kartographieund Geodäsie, 2004, 12). El valor de la unidad astronómica en metros procede de JPL ephemerides DE403 (Standish E.M. Report del IAU WGAS Sub-Group on Numerical Standards, Highlights of Astronomy, Appenzeller ed., Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995, 180-184).</p>			

8.4 La tabla 10 que contiene unidades no pertenecientes al SI utilizadas para responder a necesidades específicas de ciertos grupos, por diferentes razones. Cita también las unidades de las magnitudes

logarítmicas, el neper, el belio y el decibelio. Estas son unidades adimensionales, de naturaleza algo diferente a otras unidades adimensionales.

Tabla 10 – Otras unidades no pertenecientes al SI

Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Valor en unidades SI ^(a)
Presión	Bar ^(a)	<i>bar</i>	1 bar = 0.1 MPa = 100 kPa = 10 ⁵ Pa
	Milímetro de mercurio ^(b)	<i>mmHg</i>	1 mmHg ≈ 133.322 Pa
Longitud Distancia	Ångström ^(c)	Å	1 Å = 0.1 nm = 100 pm = 10 ⁻¹⁰ m
	Milla náutica ^(d)	<i>M</i>	1 M = 1852 m
Superficie	Barn ^(e)	<i>b</i>	1 b = 100 fm ² = (10 ⁻¹² cm) ² = 10 ⁻²⁸ m ²
Velocidad	Nudo ^(f)	<i>kn</i>	1 kn = (1852/3600) m/s
Logaritmo de un cociente	Neper ^(g, i)	<i>Np</i>	[véase la nota (j) respecto al valor Numérico del neper, del belio y del decibelio]
	Belio ^(h, i)	<i>B</i>	
	Decibelio ^(h, i)	<i>dB</i>	

NOTA a El bar y su símbolo fueron incluidos en la Resolución 7 de la 9ª CGPM (1948; CR, 70). Desde 1982 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

NOTA b El milímetro de mercurio es la unidad legal para la medida de la tensión sanguínea en ciertos países

NOTA 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. Sin embargo, el ångström no ha sido sancionado oficialmente por el CIPM ni por la CGPM.

NOTA d La milla náutica es una unidad empleada en navegación marítima y aérea para expresar distancias. El valor convencional fue adoptado por la Première Conférence hydrographique internationale extraordinaire, Mónaco 1929, con el nombre de “milla náutica internacional”. No hay símbolo acordado a nivel internacional, pero se usan los símbolos M, NM, Nm y nmi; en la tabla 9 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.

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

NOTA 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

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

NOTA h La igualdad $LX = m dB = (m/10) B$ (donde m es un número), ha de interpretarse con el significado $\lg(X/X_0) = m/10$. Así cuando $LX = 1 B$, $X/X_0 = 10$ y cuando $LX = 1 dB$, $X/X_0 = 101/10$. Si X representa una señal cuadrática media o una magnitud de tipo potencial, LX se denomina nivel de potencia respecto a X0.

NOTA 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 el CIPM acepta su uso con el SI.

NOTA 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.

8.5 El sistema de unidades CGS se basaba en tres magnitudes y sus unidades básicas correspondientes: el centímetro, el gramo y el segundo. Las unidades eléctricas CGS se derivan de las tres unidades básicas

por medio de ecuaciones de definición diferentes de las empleadas en el SI. Ello llevó al establecimiento de varios sistemas diferentes: el CGS-UES (electrostático), el CGS-UEM (electromagnético) y el sistema de unidades CGS-Gaussiano. La tabla 11 incluye las relaciones entre las unidades CGS y el SI, así como la lista de las unidades CGS que han recibido un nombre especial.

Tabla 11 – Unidades no pertenecientes al SI, asociadas a los sistemas de unidades CGS y CGS-Gaussiano

Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Valor en unidades SI ^(a)
Energía	Ergio ^(a)	<i>erg</i>	1 erg = 10 ⁻⁷ J
Fuerza	Dina ^(a)	<i>dyn</i>	1 dyn = 10 ⁻⁵ N
Viscosidad dinámica	Poise ^(a)	<i>P</i>	1 P = 1 dyn s cm ⁻² = 0.1 Pa s
Viscosidad cinemática	Stokes	<i>St</i>	1 St = 1 cm ² s ⁻¹ = 10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
Luminancia luminosa	Stilb ^(a)	<i>sb</i>	1 sb = 1 cd cm ⁻² = 10 ⁴ cd m ⁻²
Radiación luminosa	Phot	<i>ph</i>	1 ph = 1 cd sr cm ⁻² = 10 ⁴ lx
Aceleración	Gal ^(b)	<i>Gal</i>	1 Gal = 1 cm s ⁻² = 10 ⁻² m s ⁻²
Flujo magnético ^(e)	Maxwell ^(c)	<i>Mx</i>	1 Mx = 1 G cm ² = 10 ⁻⁸ Wb
Densidad de flujo magnético ^(d)	Gauss ^(c)	<i>G</i>	1 G = 1 Mx/cm ² = 10 ⁻⁴ T
Campo magnético	Oersted ^(e)	<i>O_e</i>	1 O _e ≡ (10 ³ /4π) A m ⁻¹

NOTA a Esta unidad y su símbolo están incluidos en la resolución 7 de la 9na CGPM (1948 CR, 70)

NOTA b El gal es una unidad empleada en geodesia y geofísica para expresar la aceleración debida a la gravedad

NOTA c Estas unidades forman parte del sistema CGS tridimensional “electromagnético”, basado en ecuaciones de magnitudes no racionalizadas, por lo que deben compararse con cuidado con las unidades correspondientes del Sistema Internacional, que se basan en ecuaciones racionalizadas con cuatro dimensiones y cuatro magnitudes en electromagnetismo. Estas unidades forman parte del sistema CGS tridimensional “electromagnético”, basado en ecuaciones de magnitudes no racionalizadas, por lo que deben compararse con cuidado con las unidades correspondientes del Sistema Internacional, que se basan en ecuaciones racionalizadas con cuatro dimensiones y cuatro magnitudes en electromagnetismo. El flujo magnético Φ y la inducción magnética B se definen mediante ecuaciones similares en el sistema CGS y en el SI, lo que permite relacionar las unidades correspondientes de la tabla. Sin embargo, el campo magnético H (no racionalizado) es igual a 4π × H (racionalizado). El símbolo de equivalencia ≡ se usa para indicar que cuando H (no racionalizado) = 1 Oe, H (racionalizado) = (103/4π) A m⁻¹.

9 Reglas de escritura de los nombres y símbolos de las unidades, y expresión de los valores de las magnitudes

Existe en la actualidad un consenso general sobre cómo deben expresarse los símbolos y nombres de unidades, incluyendo los símbolos y nombres de los prefijos, y los símbolos y valores de las magnitudes. El respeto de estas reglas y convenciones de estilo, las más importantes de las cuales se presentan en este capítulo, facilita la lectura de los artículos científicos y técnicos.

9.1 Símbolos de las unidades

9.1.1 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. Una excepción, adoptada por la 16^a CGPM (1979, Resolución 6), es que 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).

9.1.2 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. 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.

9.1.3 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 deberá 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 indicará 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 deberá utilizarse más de una barra oblicua, para evitar ambigüedades.

9.1.4 No se permite emplear abreviaturas para los símbolos y nombres de las unidades, como seg (por s o segundo), mm cuad. (por mm² o milímetro cuadrado), cc (por cm³ o centímetro cúbico) o mps (por m/s o metro por segundo). El uso correcto de los símbolos de las unidades SI y de las unidades en general, como se ha dicho en los capítulos anteriores de este texto, es obligatorio. De esta forma se evitan ambigüedades y malentendidos respecto a los valores de las magnitudes.

9.2 Nombres de las unidades

9.2.1 Los nombres de las unidades se imprimen en caracteres romanos (rectos) y se consideran como nombres (sustantivos) comunes. En español, los nombres de unidades empiezan por minúscula (incluso cuando el símbolo de la unidad comience por mayúscula), salvo que se encuentren situados al comienzo de una frase o en un texto en mayúscula, 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, porque es un nombre propio). 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.

9.2.2 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. En español, sin embargo, 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 colocar un guión para separar el nombre de cada unidad. Asimismo, en español, las denominaciones del tipo “cuadrado” o “cúbico”, utilizadas con los nombres de las unidades elevadas a las potencias correspondientes, se colocan detrás del nombre de la unidad.

9.2.3 El nombre de las unidades básicas y derivadas con nombres especiales se escriben en singular cuando el valor numérico que expresa el resultado de medida es menor o igual a la unidad, y en plural para valores numérico mayor a la unidad. En el caso de unidades derivadas se escriben en singular independientemente del valor numérico de la expresión del resultado de medida.

EJEMPLO:

- a) El valor 3 m² k/w se debe leer como “tres metro cuadrado kelvin por vatio”
- b) El valor 2C m²/v se debe leer como “dos culombios metro cuadrado por voltio”
- c) El valor 5 kP se debe leer como “cinco kilopascales” aunque también es aceptable “cinco kilopascal”

d) El valor 0.4kPa se debe leer como “cero puntos cuatro kilopascal” o “cuatro décimas de kilopascal”

9.2.4 Una unidad derivada es normalmente singular, por ejemplo, el valor 3 m². K/W es normalmente pronunciado como tres metros cuadrados por vatio

9.3 Reglas y convenios de estilo para expresar los valores de las magnitudes

9.3.1 Valor y valor numérico de una magnitud; cálculo de magnitudes

9.3.1.1 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.

9.3.1.2 Los símbolos de las magnitudes están formados por una sola letra en cursiva, pero puede especificarse información adicional mediante subíndices, superíndices o entre paréntesis. Ejemplo:

C = Capacidad calorífica

C_m = Capacidad calorífica molar

$C_{m,p}$ = Capacidad calorífica molar a presión constante

$C_{m,v}$ = Capacidad calorífica molar a volumen constante.

9.3.1.3 Los símbolos de las unidades se tratan como entidades matemáticas cuando se expresa el valor de la magnitud como producto de un valor numérico por una unidad y su cálculo son tratados de acuerdo con las reglas ordinarias del álgebra. Por ejemplo, la ecuación $T = 293 \text{ K}$ puede escribirse también como $T/\text{K} = 293$. También los ejes de un gráfico pueden etiquetarse de forma que las graduaciones sean puramente numéricas, como se indica en la figura 1.

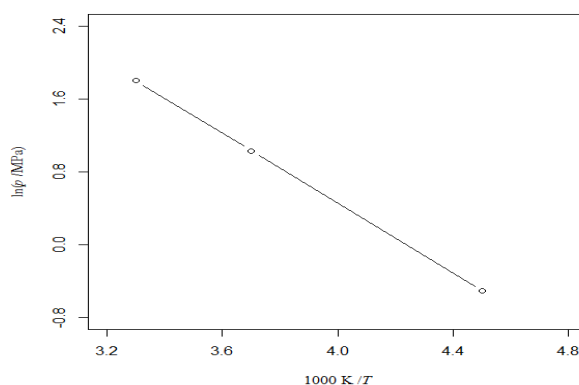


Figura — 1 Eje de un gráfico numérico

9.4 Símbolos de magnitudes y símbolos de unidades

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

9.5 Escritura del valor de una magnitud

9.5.1 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*.

9.5.2 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.

9.6 Escritura de los números y del separador decimal

9.6.1 El símbolo utilizado para separar la parte entera de su parte decimal se denomina "separador decimal". Desde la 22ª conferencia general (2003, Resolución 10), "el símbolo del separador decimal puede ser el punto o la coma, en la propia línea de escritura. Se deberá utilizar en un documento uno de los dos signos. No se permite utilizar ambos separadores decimales en un mismo documento.

9.6.2 Si el número está comprendido entre +1 y -1, el separador decimal va siempre precedido de un cero.

9.6.3 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. Sin embargo, cuando no hay más que cuatro cifras delante o detrás del separador decimal, es usual no separar una cifra mediante un espacio. La práctica de agrupar de esta manera las cifras queda a elección personal; no siempre se sigue en ciertos campos especializados como el dibujo industrial, los documentos financieros y los escritos que ha de leer una computadora. En los números de una tabla, el formato no deberá variar en una misma columna.

9.7 Expresión de la incertidumbre de medida asociada al valor de una magnitud

La incertidumbre asociada al valor estimado de una magnitud deberá evaluarse y expresarse de acuerdo con la Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (JCGM 100).

9.8 Multiplicación y división de símbolos de magnitudes, valores de magnitudes y números

9.8.1 Para multiplicar o dividir los símbolos de magnitudes, puede emplearse cualquiera de las formas escritas siguientes: ab , $a b$, $a \cdot b$, $a \times b$, a/b , $\frac{a}{b}$, $a b^{-1}$.

9.8.2 Cuando se multiplican valores de magnitudes, es conveniente utilizar bien un signo de multiplicación, \times , bien paréntesis (o corchetes), pero no el punto a media altura (centrado).

9.8.3 Cuando se multipliquen números, debería utilizarse únicamente el signo de multiplicación, \times . Cuando se dividen valores de magnitudes mediante una barra oblicua, se emplean paréntesis para evitar toda ambigüedad.

9.9 Valores de las magnitudes sin dimensión, o magnitudes de dimensión uno

9.9.1 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 a continuación.

9.9.1.1 Para la magnitud ángulo plano, la unidad toma el nombre especial radián, símbolo rad y para la magnitud ángulo sólido, toma el nombre especial estereorradián, símbolo sr.

9.9.1.2 Para los logaritmos de cocientes de magnitudes, se emplean los nombres especiales neper, símbolo Np , belio, símbolo B y decibelio, símbolo dB.

9.9.1.3 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.

9.9.1.4 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”.

9.9.1.5 En un texto escrito, el símbolo % significa en general “partes en cien”.

9.9.1.6 No deberán utilizarse expresiones del tipo “porcentaje de masa”, “porcentaje de volumen”, “porcentaje de cantidad de sustancia”; las informaciones sobre la magnitud en cuestión deberán proporcionarse mediante el nombre y el símbolo de la magnitud

EJEMPLO:

$$\varphi = 3.6 \%$$

$$\text{pero no } \varphi = 3.6 \% (V/V)$$

donde φ es la fracción en volumen

9.9.1.7 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.

9.9.1.8 El término “ppm” que significa 10^{-6} en valor relativo o 1×10^{-6} o “partes por millón” o millonésimas, se usa también. En el contexto de esta norma, el término “partes por billón (ppb)” es 10^{-12} y “partes por trillón (ppt)” es 10^{-18}

NOTA Los términos “partes por billón” y “partes por trillón” y sus abreviaturas respectivas “ppb” y “ppt”, pero su significado varía según el idioma, por lo cual es preferible evitarlos. En los países de lengua inglesa el término “billón” corresponde a 10^9 y el término “trillón” a 10^{12} , el término “billón” puede a veces corresponder a 10^{12} y “trillón” a 10^{18} . La abreviatura ppt es también a veces entendida en los países angloparlantes como una parte por millar (o milésima), lo que supone aún más confusión

9.9.1.9 Cuando se emplea alguno de los términos %, ppm, etc., es importante declarar cuál es la magnitud sin dimensión cuyo valor se está especificando.

9.10 Ángulos planos, ángulos sólidos y ángulos de fase

9.10.1 La unidad SI coherente para el ángulo plano y el ángulo de fase es radianes, símbolo de unidad rad y para el ángulo sólido es estereorradián, símbolo de unidad sr.

9.10.2 El ángulo plano entre dos líneas que se originan en un punto común es la longitud de los arcos circulares s , barridos entre las líneas por un vector de radio de longitud r desde el punto común dividido por la longitud del vector de radio, $\theta = s/r$ rad

9.10.3 El ángulo de fase es el argumento de cualquier número complejo. Es el ángulo entre el eje real positivo y el radio de la representación polar del número complejo en el plano complejo.

9.10.4 La conversión entre radianes y grados se deriva de la relación $360^\circ = 2\pi$ rad.

9.10.5 El ángulo sólido, expresado en estereorradián, corresponde a la relación entre un área A de la superficie de una esfera de radio r y el radio al cuadrado, $\Omega = A/r^2$ sr.

9.10.6 El rad y sr solo deberán usarse para expresar ángulos y ángulos sólidos, pero no para expresar razones de longitudes y longitudes al cuadrado en general.

Anexo A (informativo)

Unidades derivadas con nombres especiales

Tabla A.1 — Unidades derivadas con nombres especiales en su idioma original Coherent derived units in the SI with special names and symbols

Derived quantity	SI coherent derived unit ^(a)			
	Name	Symbol	Expressed in terms of other SI units	Expressed in terms of SI base units
Plane angle	Radian ^(b)	<i>rad</i>	1 ^(b)	m/m
Solid angle	Steradian ^(b)	<i>sr</i> ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
Frequency	Hertz ^(d)	<i>Hz</i>	-	s ⁻¹
Force	Newton	<i>N</i>	-	m kg s ⁻²
Pressure, stress	Pascal	<i>Pa</i>	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
Energy, work, amount of heat	Joule	<i>J</i>	N m	m ² kg s ⁻²
Power, radiant flux	Watt	<i>W</i>	J/s	m ² kg s ⁻³
Electric charge, amount of electricity	Coulomb	<i>C</i>	-	s A
Electric Potential difference, electromotive force	Volt	<i>V</i>	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
Capacitance	Farad	<i>F</i>	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
Electric resistance	Ohm	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
Electric conductance	Siemens	<i>S</i>	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
Magnetic flux	Weber	<i>Wb</i>	V s	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
Magnetic flux density	Tesla	<i>T</i>	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
Inductance	Henry	<i>H</i>	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
Celsius temperature	Degree Celsius ^(e)	$^{\circ}\text{C}$	-	K
Luminous flux	Lumen	<i>lm</i>	cd sr ^(c)	cd
Illuminance	Lux	<i>lx</i>	lm/m ²	m ⁻² cd
Activity referred to a radionuclide ^(f)	Becquerel ^(d)	<i>Bq</i>	-	s ⁻¹
Absorbed dose, specific energy (imparted), kerma	Gray	<i>Gy</i>	J/kg	m ² s ⁻²
Dose equivalent, ambient dose equivalent, directional dose equivalent, personal dose equivalent	Sievert ^(g)	<i>Sv</i>	J/kg	m ² s ⁻²
Catalytic activity	Katal	<i>kat</i>	-	s ⁻¹ mol

NOTA (a) The SI prefixes may be used with any of the special names and symbols, but when this is done the resulting unit will no longer be coherent.
 NOTA (b) The radian and steradian are special names for the number one that may be used to convey information about the quantity concerned. In practice the symbols rad and sr are used where appropriate, but the symbol for the derived unit one is generally omitted in specifying the values of dimensionless quantities.
 NOTA (c) In photometry the name steradian and the symbol sr are usually retained in expressions for units.
 NOTA (d) The hertz is used only for periodic phenomena, and the becquerel is used only for stochastic processes in activity referred to a radionuclide.
 NOTA (e) The degree Celsius is the special name for the kelvin used to express Celsius temperatures. The degree Celsius and the kelvin are equal in size, so that the numerical value of a temperature difference or temperature interval is the same when expressed in either degrees Celsius or in Kelvin's.
 NOTA (f) Activity referred to a radionuclide is sometimes incorrectly called radioactivity.
 NOTA (g) See CIPM Recommendation 2 (CI-2002), p. 168, on the use of the sievert (PV, 2002, 70, 205)

Bibliografía

- [1] El Sistema internacional de unidades (SI), 8ª edición 2006, Buro internacional de pesas y medidas-BIPM Traducción del Centro Español de Metrología-CEM
- [2] Vocabulario internacional de metrología-VIM. 3ª edición en español 2012.
- [3] NIST Special Publication 811 2008 Edition. Guide for the use of the international system of units (SI)
- [4] Revista mexicana de física 57 (2011) 460–469, Constantes fundamentales: la última frontera para el Sistema Internacional de Unidades