Resumen del Sistema Internacional de Unidades, el SI

La metrología es la ciencia de la medida y engloba todo tipo de mediciones realizadas con niveles de incertidumbre conocidos, en cualquier campo de la actividad humana.

La Oficina Internacional de Pesas y Medidas, el BIPM, fue establecida en el Artículo 1 de la Convención de Metro, de 20 de Mayo de 1875, y está encargada de proporcionar las bases para que un único sistema coherente de medidas se utilice en todo el mundo. El sistema métrico decimal, que data de la época de la Revolución Francesa, se basaba en el metro y el kilogramo. Bajo los términos de la Convención de 1875, se fabricaron nuevos prototipos del metro y del kilogramo y se adoptaron formalmente por la primera Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) en 1889. Este sistema fue desarrollándose a lo largo del tiempo, de modo que ahora incluye siete unidades básicas. En 1960, en la 11ª CGPM, se decidió que se debería llamar Sistema Internacional de Unidades, SI. El SI no es estático, sino que evoluciona para responder a las crecientes demandas de medida, en todos los niveles de precisión y en todas las áreas de la ciencia, la tecnología y el empeño humano. Este documento es un resumen de la **Publicación sobre el SI**, realizada por el BIPM, en la que se describe el estado actual del SI.

El prototipo internacional del kilogramo, K, el único patrón materializado que permanece para definir una unidad básica del SI.

Las siete **unidades básicas** del SI, enumeradas en la Tabla 1, proporcionan la referencia utilizada para definir todas las unidades de medida del Sistema Internacional. Según avanza la ciencia y se mejoran los métodos de medida, se tienen que revisar sus definiciones. Cuanto más precisas sean las mediciones, mayor cuidado se requiere en la realización de las unidades de medida.

Tabla 1 *Las siete unidades básicas del SI*

Magnitud	Unidad, símbolo: definición de la unidad
longitud	**metro, m:** El metro es la longitud del trayecto recorrido por la luz en el vacío en un intervalo de tiempo de 1/299 792 458 s. *De aquí resulta que la velocidad de la luz en el vacío, c_0, es exactamente* 299 792 458 m/s.
masa	**kilogramo, kg:** El kilogramo es la unidad de masa; es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo. *De aquí resulta que la masa del prototipo internacional del kilogramo, m(K), es siempre exactamente* 1 kg.
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 133, ν*(hfs Cs) *es exactamente* 9 192 631 770 Hz.
corriente eléctrica	**amperio, A:** El amperio es la intensidad de una corriente constante que, mantenida 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 2×10^{-7} newton por metro de longitud. *De aquí resulta que la constante magnética, μ_0, también conocida con el nombre de permeabilidad del vacío es exactamente* $4\pi \times 10^{-7}$ H/m.
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. *De aquí resulta que la temperatura termodinámica del punto triple del agua, T_{tpw}, es exactamente* 273,16 K.
cantidad de sustancia	**mol, mol:** 1. 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; su símbolo es "mol". 2. Cuando se emplea el mol, las entidades elementales deben especificarse y pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, otras partículas o agrupaciones específicas de tales partículas. *De aquí resulta que la masa molar del carbono 12, M(^{12}C), es exactamente* 12 g/mol .
intensidad luminosa	**candela, cd:** La candela es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} hercios y cuya intensidad energética en esa dirección es 1/683 vatios por estereorradián. *De aquí resulta que la eficacia espectral luminosa, K, de una radiación monocromática de frecuencia* 540×10^{12} Hz *es exactamente* 683 lm/W.

www.yoquieroaprobar.es

Las siete **magnitudes básicas** correspondientes a las siete **unidades básicas** son longitud, masa, tiempo, corriente eléctrica, temperatura termodinámica, cantidad de sustancia e intensidad luminosa. Las **magnitudes** y **unidades básicas** se presentan, con sus símbolos, en la Tabla 2.

Tabla 2 *Magnitudes y unidades básicas del Sistema SI*

Magnitud básica	Símbolo	Unidad básica	Símbolo
longitud	*l, h, r, x*	metro	m
masa	*m*	kilogramo	kg
tiempo, duración	*t*	segundo	s
corriente eléctrica	*I, i*	amperio	A
temperatura termodinámica	*T*	kelvin	K
cantidad de sustancia	*n*	mol	mol
intensidad luminosa	I_v	candela	cd

El resto de magnitudes se denominan **magnitudes derivadas** y se expresan mediante **unidades derivadas**, definidas como productos de potencias de las **unidades básicas**. En la Tabla 3 se incluyen ejemplos de **magnitudes** y **unidades derivadas**.

Tabla 3 *Ejemplos de magnitudes y unidades derivadas.*

Magnitud derivada	Símbolo	Unidad derivada	Símbolo
área	*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	σ, $\tilde{\nu}$	metro a la potencia menos uno	m^{-1}
densidad de masa	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
intensidad de campo magnético	*H*	amperio por metro	A/m
concentración	*c*	mol por metro cúbico	mol/m^3
concentración de masa	ρ, γ	kilogramo por metro cúbico	kg/m^3
luminancia	L_v	candela por metro cuadrado	cd/m^2
índice de refracción	*n*	uno	1
permeabilidad relativa	μ_r	uno	1

Obsérvese que el índice de refracción y la permeabilidad relativa son ejemplos de magnitudes adimensionales, para las cuales la unidad SI es el número uno, 1, aunque esta unidad no se escribe.

Algunas **unidades derivadas** reciben un **nombre especial** con objeto de expresar, en forma compacta, una combinación de **unidades básicas** frecuentemente utilizadas. Así ocurre, por ejemplo, con el joule, símbolo J, por definición igual a m^2 kg s^{-2}. Actualmente hay 22 nombres especiales de unidades aprobados para su uso en el SI, los cuales se incluyen en la Tabla 4.

Tabla 4 *Unidades SI derivadas, con nombres especiales*

Magnitud derivada	Nombre de la unidad derivada	Símbolo de la unidad derivada	Expresión en función de otras unidades
ángulo plano	radián	rad	m/m = 1
ángulo sólido	estereo-rradián	sr	$m^2/m^2 = 1$
frecuencia	hercio	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 radiante	vatio	W	J/s = m^2 kg s^{-3}
carga eléctrica, cantidad de electricidad	culombio	C	s A
diferencia de potencial eléctrico	voltio	V	W/A = m^2 kg s^{-3} A^{-1}
capacidad eléctrica	faradio	F	C/V = m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2
resistencia eléctrica	ohmio	Ω	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	weber	Wb	V s = m^2 kg s^{-2} A^{-1}
densidad de flujo magnético	tesla	T	Wb/m^2 = kg s^{-2} A^{-1}
inductancia	henrio	H	Wb/A = m^2 kg s^{-2} A^{-2}
temperatura Celsius	grado Celsius	°C	K
flujo luminoso	lumen	lm	cd sr = cd
iluminancia	lux	lx	$lm/m^2 = m^{-2}$ cd
actividad de un radionucleido	becquerel	Bq	s^{-1}
dosis absorbida, energía másica (comunicada), kerma	gray	Gy	J/kg = m^2 s^{-2}
dosis equivalente, dosis equivalente ambiental (colectiva)	sievert	Sv	J/kg = m^2 s^{-2}
actividad catalítica	katal	kat	s^{-1} mol

Aunque el hercio y el becquerel son ambos iguales a la inversa del segundo, el hercio solo se utiliza para fenómenos cíclicos y el becquerel para procesos estocásticos de desintegración radiactiva.

www.yoquieroaprobar.es

La unidad de temperatura Celsius es el grado Celsius, ºC, que es igual en magnitud al kelvin, K, la unidad de temperatura termodinámica. La magnitud temperatura Celsius, *t*, está relacionada con la temperatura termodinámica, *T*, mediante la ecuación $t/^{\circ}C = T/K - 273{,}15$.

El sievert se utiliza también para las magnitudes dosis equivalente direccional y dosis equivalente personal.

Los cuatro últimos nombres especiales de la Tabla 4 se adoptaron específicamente para las medidas relacionadas con la protección de la salud humana.

Para cada magnitud, hay sólo una unidad SI (aunque pueda expresarse a menudo de diferentes formas mediante el uso de nombres especiales). Sin embargo la misma unidad SI se puede utilizar para expresar el valor de varias magnitudes diferentes (por ejemplo, la unidad SI J/K se puede utilizar para expresar el valor tanto de la capacidad calorífica como de la entropía). Por lo tanto es importante no utilizar sola la unidad para especificar la magnitud. Esto es aplicable tanto a textos científicos como a instrumentos de medida (esto es, la lectura de un instrumento debe indicar tanto la magnitud medida como la unidad empleada).

Las magnitudes adimensionales, también llamadas magnitudes de dimensión uno, son definidas normalmente como cociente de dos magnitudes del mismo tipo (por ejemplo, el índice de refracción es el cociente de dos velocidades, y la permitividad relativa es el cociente entre la permitividad de un medio dieléctrico y la del vacío). Así pues, la unidad de una magnitud adimensional es el cociente de dos unidades SI idénticas y, por lo tanto, es igual a uno. Sin embargo cuando se expresan los valores de las magnitudes adimensionales, la unidad uno, 1, no se escribe.

Múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI

Se ha adoptado un conjunto de prefijos para su uso junto con las unidades SI, con el fin de expresar los valores de las magnitudes que son mucho más grandes o mucho más pequeñas que la unidad SI sin prefijo. Estos prefijos SI se incluyen en la Tabla 5. Pueden utilizarse con cualquiera de las unidades básicas y con cualquiera de las unidades derivadas con nombres especiales.

Tabla 5 *Los prefijos SI*

Factor	Nombre	Símbolo	Factor	Nombre	Símbolo
10^{1}	deca	da	10^{-1}	deci	d
10^{2}	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^{3}	kilo	k	10^{-3}	mili	m
10^{6}	mega	M	10^{-6}	micro	µ
10^{9}	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	pico	p
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	yocto	y

Cuando se utilizan los prefijos, el nombre del prefijo y el nombre de la unidad se combinan para formar una sola palabra, y del mismo modo el símbolo del prefijo y el símbolo de la unidad se escriben sin espacios para formar un solo símbolo, que se puede elevar, a su vez, a cualquier potencia. Por ejemplo, podemos escribir: kilómetro, km; microvoltio, µV; femtosegundo, fs; $50\ V/cm = 50\ V\ (10^{-2}\ m)^{-1} = 5000\ V/m$.

Cuando las **unidades básicas** y las **unidades derivadas** se utilizan sin prefijos, el conjunto de unidades resultante es **coherente**. El uso de un sistema de unidades coherente tiene ventajas técnicas (véase la **Publicación sobre el SI**). Sin embargo el uso de prefijos es conveniente porque evita la necesidad de usar factores de 10^{n} para expresar los valores de magnitudes muy grandes o muy pequeñas. Por ejemplo, la longitud de un enlace químico se expresa de forma más conveniente en nanómetros, nm, que en metros, m, y la distancia de París a Londres se expresa de forma más conveniente en kilómetros, km, que en metros, m.

El kilogramo, kg, es una excepción, porque aunque es una unidad básica el nombre ya incluye un prefijo, por razones históricas. Los múltiplos y submúltiplos del kilogramo se escriben mediante la combinación de prefijos con el gramo: y así, escribimos miligramo, mg, y no microkilogramo, µkg.

Unidades fuera del SI

El SI es el único sistema de unidades que es reconocido universalmente, por ello tiene la ventaja definida de permitir un entendimiento internacional. Otras unidades ajenas al SI, se definen generalmente en términos de unidades del SI. El uso del SI también simplifica la enseñanza de la ciencia. Por todas estas razones se recomienda el uso de las unidades del SI en todos los campos de la ciencia y la tecnología.

No obstante, algunas unidades no pertenecientes al SI son todavía ampliamente utilizadas. Unas pocas, como el minuto, la hora y el día, unidades de tiempo, serán siempre utilizadas porque están fuertemente enraizadas en nuestra cultura. Otras se utilizan por razones históricas, para resolver necesidades de grupos con intereses especiales, o porque no hay alternativas SI adecuadas. Siempre permanecerá la prerrogativa del científico, de utilizar las unidades que considere se ajustan mejor a su propósito. Sin embargo cuando se usen unidades ajenas al SI, debe figurar el factor de conversión al SI. En la Tabla 6 se incluyen algunas unidades ajenas al SI, con sus factores de conversión al SI. Para una lista más completa véase la **Publicación sobre el SI**, o la página web del BIPM.

Tabla 6 *Algunas unidades fuera del SI*

Magnitud	Unidad	Símbolo	Valor en unidades SI
tiempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 3600 s
	día	d	1 d = 86 400 s
volumen	litro	L o l	$1\ L = 1\ dm^{3}$
masa	tonelada	t	1 t = 1000 kg
energía	electronvoltio	eV	$1\ eV \approx 1{,}602 \times 10^{-19}\ J$
presión	bar	bar	1 bar = 100 kPa
	milímetro de mercurio	mmHg	1 mmHg ≈ 133,3 Pa
longitud	ångström	Å	$1\ Å = 10^{-10}\ m$
	milla náutica	M	1 M = 1852 m
fuerza	dina	dyn	$1\ dyn = 10^{-5}\ N$
energía	ergio	erg	$1\ erg = 10^{-7}\ J$

Los símbolos de las unidades van en mayúscula cuando proceden de un nombre propio (por ejemplo, amperio, A; kelvin, K; hercio, Hz; culombio, C). En caso contrario, van siempre en minúscula (por ejemplo, metro, m; segundo, s; mol, mol). El símbolo para el litro es una excepción: se puede utilizar una L mayúscula o minúscula, permitiéndose la mayúscula para evitar confusión entre la l minúscula y el número uno, 1.

El símbolo para la milla náutica se da aquí como M; sin embargo no existe un acuerdo general sobre un símbolo para la milla náutica.

www.yoquieroaprobar.es

El lenguaje de la ciencia: Utilización del Sistema SI para expresar los valores de las magnitudes

El valor de una magnitud se escribe como el producto de un número por una unidad, y el número que multiplica a la unidad es el valor numérico de la magnitud en dicha unidad. Se deja siempre un espacio entre el número y la unidad. Para magnitudes adimensionales, para las cuales la unidad es el número 1, se omite la unidad. El valor numérico depende de la elección de la unidad, de forma que un mismo valor de una magnitud puede tener valores numéricos diferentes cuando se expresa en diferentes unidades, como en los ejemplos que siguen.

La velocidad de una bicicleta es aproximadamente
v = 5,0 m/s = 18 km/h.

La longitud de onda de una de las líneas amarillas del sodio es
$\lambda = 5{,}896 \times 10^{-7}$ m = 589,6 nm.

Los símbolos de las magnitudes se escriben en cursiva, y son generalmente letras solas pertenecientes a los alfabetos griego o latino. Se pueden utilizar letras mayúsculas o minúsculas, y se puede añadir información adicional sobre la magnitud como subíndice o como información entre paréntesis.

Hay símbolos para muchas magnitudes, recomendados por autoridades tales como la ISO (*International Organization for Standardization*; en español Organización Internacional de Normalización) y organizaciones científicas internacionales como la IUPAP y la IUPAC. Como ejemplos tenemos los siguientes:

T	para la temperatura
C_p	para la capacidad calorífica a presión constante
x_i	para la fracción molar de la especie i
μ_r	para la permeabilidad relativa
$m(\mathcal{K})$	para la masa del prototipo internacional del kilogramo $\mathcal{K}$

Los símbolos de las unidades se escriben en caracteres romanos normales, independientemente del tipo de letra del texto que los rodee. Son entidades matemáticas y no abreviaturas; nunca van seguidas de punto (excepto al final de una frase) ni toman una s en el plural. Es obligatorio utilizar la forma correcta para los símbolos de las unidades, lo cual se aclara en los ejemplos de la **Publicación sobre el SI**. Los símbolos de las unidades pueden a veces comprender más de una letra. Se escriben en minúscula, excepto cuando el nombre de la unidad proceda de una persona, yendo entonces la primera letra en mayúscula. Sin embargo cuando se escribe el nombre de una unidad, éste va en minúscula (excepto al comienzo de una frase), para distinguir la unidad de la persona.

Al escribir el valor de una magnitud como el producto de un valor numérico y una unidad, tanto el número como la unidad pueden tratarse mediante las reglas ordinarias del álgebra. Por ejemplo, la ecuación T = 293 K se puede escribir igualmente como T/K = 293. Este procedimiento se describe como uso del cálculo de magnitudes o álgebra de magnitudes. A menudo es útil emplear el cociente de una magnitud y su unidad para encabezar las columnas de las tablas, o etiquetar los ejes de los gráficos, de forma que las entradas de una tabla o las etiquetas de los marcadores de los ejes sean simplemente números. El siguiente ejemplo muestra una tabla de presión de vapor como función de la temperatura, y el logaritmo de la presión de vapor como función de la inversa de la temperatura, con las columnas etiquetadas de esta manera.

T/K	10^3 K/T	p/MPa	ln(p/MPa)
216,55	4,6179	0,5180	–0,6578
273,15	3,6610	3,4853	1,2486
304,19	3,2874	7,3815	1,9990

Pueden utilizarse formas algebraicamente equivalentes, en lugar de 10^3 K/T, como kK/T, o 10^3 (T/K)$^{-1}$.

Al formar productos o cocientes de unidades se aplican las reglas normales del álgebra. Al formar productos de unidades, se debe dejar un espacio entre unidades (o alternativamente se puede usar un punto centrado a media altura como símbolo de multiplicación). Obsérvese la importancia del espacio: por ejemplo, m s denota el producto de un metro por un segundo, pero ms denota un milisegundo. También, al formar productos complicados de unidades, deben utilizarse paréntesis o exponentes negativos para evitar ambigüedades. Por ejemplo, la constante molar de los gases R viene dada por:

$$pV_m/T = R \quad = 8{,}314 \text{ Pa m}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$
$$= 8{,}314 \text{ Pa m}^3/(\text{mol K}).$$

Al escribir un número, el separador decimal puede ser tanto un punto como una coma, de acuerdo con las circunstancias. Para los documentos en inglés lo normal es un punto, pero para muchos idiomas europeos, el español entre ellos, y de otros países, lo normal es la coma.

Cuando un número tiene muchos dígitos, es habitual agrupar los dígitos en grupos de tres a partir del separador decimal para facilitar su lectura. No es imprescindible pero se hace a menudo, y suele ser útil. Cuando se haga, los grupos de tres dígitos deben separarse solamente mediante un pequeño espacio, no usándose ni puntos ni comas. La incertidumbre en el valor numérico de una magnitud se puede mostrar convenientemente expresándola mediante los dígitos menos significativos entre paréntesis, después del número.

Ejemplo: El valor de la carga elemental dada por el listado de constantes fundamentales CODATA 2002 es

$$e = 1{,}602\ 176\ 53\ (14) \times 10^{-19} \text{ C},$$

donde 14 es la incertidumbre típica de los dígitos finales fijada para el valor numérico.

Para mas información véase la página web del BIPM, o la 8ª edición de la **Publicación sobre el SI**, disponible en

http://www.bipm.org

Este resumen ha sido preparado por el Comité Consultivo de Unidades (CCU) del Comité internacional de Pesas y Medidas (CIPM), y publicado por el BIPM.

Marzo 2006

Ernst Göbel, Presidente del CIPM
Ian Mills, Presidente del CCU
Andrew Wallard, Director del BIPM

Todas las publicaciones del BIPM están protegidas internacionalmente. El único documento oficial es el texto en francés.

El presente documento es la 2ª edición en español, traducción autorizada de la correspondiente publicación del BIPM, realizada por el Centro Español de Metrología. Para algunas unidades de medida se han empleado sus denominaciones castellanizadas admitidas por la Real Academia Española de la Lengua (RAE); es el caso de voltio, ohmio, faradio, que en las versiones originales en inglés y francés aparecen como volt, ohm, farad, etc.

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO

CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA

NIPO 706-07-001-1