

## SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI)

El Sistema Internacional de Unidades, abreviado SI, también denominado sistema internacional de medidas, es el sistema de unidades más extensamente usado. Junto con el antiguo sistema métrico decimal, que es su antecesor y que se ha mejorado, el SI también es conocido como sistema métrico, especialmente en las naciones en las que aún no se ha implantado para su uso cotidiano. Fue creado en 1960 por la Conferencia General de Pesas y Medidas, que inicialmente definió seis unidades físicas básicas o fundamentales. En 1971, fue añadida la séptima unidad básica, el mol.

Una de las principales características, que constituye la gran ventaja del SI, es que sus unidades están basadas en fenómenos físicos fundamentales. La única excepción es la unidad de la magnitud masa, el kilogramo, que está definida como “la masa del prototipo internacional del kilogramo” o aquel cilindro de platino e iridio almacenado en una caja fuerte de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas.

Las unidades del SI son la referencia internacional de las indicaciones de los instrumentos de medida y a las que están referidas a través de una cadena ininterrumpida de calibraciones o comparaciones. Esto permite alcanzar la equivalencia de las medidas realizadas por instrumentos similares, utilizados y calibrados en lugares apartados y por ende asegurar, sin la necesidad de ensayos y mediciones duplicadas, el cumplimiento de las características de los objetos que circulan en el comercio internacional y su intercambiabilidad.

### UNIDADES BÁSICAS DEL SI

El Sistema Internacional de Unidades (SI) define siete **unidades básicas** o **unidades físicas fundamentales**, las cuales son descritas por una definición operacional. Todas las demás unidades utilizadas para expresar magnitudes físicas se pueden derivar de estas unidades básicas y se conocen como unidades derivadas del SI.

<b>Magnitud física</b>	<b>Unidad básica</b>	<b>Símbolo</b>
Longitud ( l )	metro	m
Masa ( m )	kilogramo	kg
Tiempo ( t )	segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica ( I )	amperio	A
Temperatura ( T )	kelvin	K
Cantidad de sustancia ( n )	mol	mol
Intensidad luminosa ( I )	candela	cd

### LONGITUD

El **metro** es la unidad de longitud del Sistema Internacional de Unidades. Se define como la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un tiempo de 1/299 792 458 Segundo (unidad de tiempo) (aprox. 3,34 ns).

Inicialmente fue creada por la Academia de Ciencias Francesa en 1791 y definida como la diezmillonésima parte de la distancia que separa el Polo de la línea del ecuador terrestre. Si este valor se expresara de manera análoga a como se define la milla náutica, se correspondería con la longitud de meridiano terrestre que forma un arco de 1/10 de segundo de grado centesimal.

## HISTORIA

**1983-10-21:** se define al metro como la distancia recorrida por la luz en el vacío durante  $1/299\,792\,458$  segundo.

**1960-10-20:** se define al metro como 1.650.763,73 oscilaciones en el vacío de onda de la radiación emitida por el salto cuántico entre  $2p_{10}$  y  $5d_5$  de un átomo de  $^{86}\text{Kriptón}$ .

**1927-10-06:** se define al metro como la distancia entre las dos marcas del patrón de platino con 10% de iridio a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  y 1 atmósfera.

**1889-09-28:** se define al metro como la distancia entre las dos marcas del patrón de platino-iridio a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**1799-12-10:** se define al metro con un patrón de plata (el primer patrón, construido el 23 de junio de ese año).

**1795:** se crea un patrón provisional de latón.

**1791-03-30:** se define al metro como la diez millonésima parte de un meridiano dentro de un cuadrante (un cuarto de la circunferencia polar de la tierra).

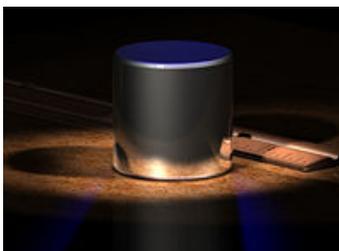
**1790-05-08:** se define al metro con la distancia recorrida por un péndulo determinado que tiene un hemiperíodo de un segundo.

## EQUIVALENCIAS EN OTRAS UNIDADES

Unidades métricas expresadas en un sistema no Internacional	Unidades no Internacionales expresadas en el Sistema Internacional
1 metro $\equiv$ $10^{-4}$ mil	1 mil $\equiv$ $10^4$ metros
1 metro $\approx$ 39.37 pulgadas	1 pulgada $\equiv$ 0.0254 metros
1 centímetro $\approx$ 0.3937 pulgada	1 pulgada $\equiv$ 2.54 centímetros
1 milímetro $\approx$ 0.03937 pulgada	1 pulgada $\equiv$ 25.4 milímetros
1 metro $\equiv$ $1 \times 10^{10}$ Ångström	1 Ångström $\equiv$ $1 \times 10^{-10}$ metro
1 nanometro $\equiv$ 10 Ångström	1 Ångström $\equiv$ 100 picómetros

## MASA

El **Kilogramo** es la unidad básica de masa del Sistema Internacional de Unidades y su patrón, está definido por la masa que tiene el cilindro patrón, compuesto de una aleación de platino e iridio, que se guarda en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas en Sèvres, cerca de París.



Es la única unidad que emplea un prefijo, y la única unidad del SI que todavía se define por un objeto patrón y no por una característica física fundamental. Su símbolo es kg (advértase que no es una abreviatura: no admite mayúscula, salvo KG, ni punto ni plural; se confunde universalmente con K, símbolo del Kelvin).

## HISTORIA

La primera definición, decidida por la Revolución Francesa, especificaba que era *la masa de un decímetro cúbico (un litro) de agua destilada a una atmósfera de presión y 3,98 °C*, una temperatura singular dado que es la temperatura a la cual el agua tiene la mayor densidad a presión atmosférica normal. Esta definición era complicada de realizar exactamente, porque la densidad del agua depende levemente de la presión, y las unidades de la presión incluyen la masa como factor, introduciendo una dependencia circundada en la definición.

Para evitar estos problemas, el kilogramo fue redefinido mientras que la masa de una masa estándar particular creó un peso exacto para aproximar a la definición original. Desde 1889, el SI define que la unidad debe ser igual a la *masa del prototipo internacional del kilogramo, que se hace de una aleación del platino del 90% y del iridio del 10% (por el peso)* y se trabaja a máquina en un cilindro derecho-circular (altura = diámetro) de 39 milímetros. El prototipo internacional se guarda en el Bureau International des Poids et Mesures (oficina internacional de pesos y de medidas) en Sèvres en las cercanías de París. Las copias oficiales del prototipo del kilogramo se hacen disponibles como prototipos nacionales, que se comparan al prototipo de París ("Le Grand Kilo") cada 40 años, este prototipo internacional es uno de tres cilindros hechos en 1879. En 1883, es aceptado para ser indistinguible de la masa del estándar del kilogramo en ese entonces, y ratificó formalmente al kilogramo por la primera Conferencia General de Pesos y Medidas en 1889.

Por la definición, el error en la capacidad de repetición de la definición actual es exactamente cero; sin embargo, cualquier cambio en un cierto plazo puede ser encontrado comparando el estándar del funcionario a sus copias oficiales. Porque la copia funcionaria y el estándar oficial se hace áspero de los mismos materiales y se guarda bajo mismas condiciones, comparando las masas relativas entre los estándares en un cierto plazo estima la estabilidad del estándar. El prototipo internacional del kilogramo parece haber perdido cerca de 50 microgramos en los 100 años pasados y la razón de la pérdida sigue siendo desconocido.

Actualmente están efectuándose experimentos con los cuales podría definirse, por leyes físicas, el kilogramo.

Existen dos vías principales de investigación, la primera se basa en fijar el valor del número de Avogadro, para luego materializar la unidad de masa con una esfera de silicio, casi perfecta en su geometría y composición isotópica, cuyas características dimensionales se pueden conocer con gran exactitud; específicamente se determina el volumen ocupado por la esfera y cada uno de sus átomos, y finalmente, con el número de Avogadro, se determina la masa. La otra alternativa consiste en fijar el valor de la carga del electrón o el de la constante de Planck, y luego mediante mediciones eléctricas se materializa el kilogramo utilizando un dispositivo denominado balanza de Watt, desarrollado por Bryan Kibble del National Physical Laboratory (Reino Unido).

Lastimosamente, existen inconsistencias entre los resultados obtenidos por ambos métodos y tampoco han alcanzado una certidumbre que satisfaga a quienes trabajan en metrología de masa; en todo caso, se estima que para la próxima Conferencia General de Pesos y Medidas de 2011 los experimentos hayan mejorado lo suficiente, en sus niveles de repetibilidad y reproducibilidad, de tal forma de adoptar una alternativa de materialización de la unidad de masa confiable.

## TIEMPO

El **segundo** es la unidad de tiempo en el Sistema Internacional de Unidades, el Sistema Cegesimal de Unidades y el Sistema Técnico de Unidades. Un minuto equivale a 60 segundos y una hora equivale a 3600 segundos. Hasta 1967 se definía como la 86.400 avas parte de la duración que tuvo el día solar medio entre los años 1750 y 1890 y, a partir de esa fecha, su medición se hace tomando como base el tiempo atómico.

Según la definición del Sistema Internacional de Unidades, un segundo es igual a 9.192.631.770 períodos de radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del isótopo 133 del átomo de cesio ( $^{133}\text{Cs}$ ), medidos a 0 K. Esto tiene por consecuencia que se produzcan desfases entre el segundo como unidad de tiempo astronómico y el segundo medido a partir del tiempo atómico, más estable que la rotación de la Tierra, lo que obliga a ajustes destinados a mantener concordancia entre el tiempo atómico y el tiempo solar medio.

## INTENSIDAD DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

El **amperio** o **ampere** es la unidad de intensidad de corriente eléctrica. Forma parte de las unidades básicas en el Sistema Internacional de Unidades y fue nombrado en honor de André-Marie Ampère.

André-Marie Ampère (1775-1836), fue un matemático y físico francés, generalmente considerado como uno de los descubridores del electromagnetismo. Desde niño demostró ser un genio. Siendo muy joven empezó a leer y a los doce años iba a consultar los libros de matemáticas de la biblioteca de Lyon. Como la mayoría de los textos estaban en latín, aprendió esa lengua en unas pocas semanas. En 1822 estableció los principios de la electrodinámica. En 1827 publicó su Teoría matemática de los fenómenos electrodinámicos, donde expuso su famosa Ley de Ampère.

### **DEFINICIÓN**

El amperio es una corriente constante que, si es mantenido en dos conductores paralelos de largo infinito, circulares y colocados a un metro de distancia en un vacío, produciría entre esos conductores una fuerza igual a  $2 \times 10^{-7}$  newton por metro de largo.

Como es una unidad básica, la definición del amperio no es unida a ninguna otra unidad eléctrica. La definición para el amperio es equivalente a cambiar el valor de la permeabilidad del vacío a  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m. Antes de 1948, el "amperio internacional" era usado, definido en términos de la deposición electrolítica promedio de la plata. La antigua unidad es igual a 0.999 85 A.

La unidad de carga eléctrica, el culombio, es definido en términos de el amperio: un culombio es la cantidad de carga eléctrica llevada en una corriente de un amperio fluyendo por un segundo. Corriente, entonces, es el promedio al cual la carga fluye a través de un alambre o una superficie. Un amperio de corriente (I) es igual a un flujo de un culombio de carga (Q) por un segundo de tiempo (t):

*Propuesta a definición futura:* Como un culombio es aproximadamente igual a  $6.24150948 \times 10^{18}$  cargas elementales, un amperio es aproximadamente equivalente a  $6.24150948 \times 10^{18}$  cargas elementales, como electrones, moviéndose a través de un límite en un segundo.

## TEMPERATURA

El **kelvin** es la unidad de temperatura de la escala creada por William Thomson, sobre la base del grado Celsius, estableciendo el punto cero en el cero absoluto

(-273,15 °C) y conservando la misma dimensión. William Thomson, quién más tarde sería Lord Kelvin, a sus 24 años introdujo la escala de temperatura termodinámica, y la unidad fue nombrada en su honor.

Se toma como la unidad de temperatura en el Sistema Internacional de Unidades y se corresponde a una fracción de 1/273,16 partes de la temperatura del punto triple del agua. Se representa con la letra "K", y nunca "°K". Además, su nombre no es el de "grado kelvin" sino simplemente "kelvin"; no se dice "19 grados Kelvin" sino "19 kelvin" o "19 K".

Coincidiendo el incremento en un grado Celsius con el de un Kelvin, su importancia radica en el 0 de la escala: a la temperatura de 0 K se la denomina cero absoluto y corresponde al punto en el que las moléculas y átomos de un sistema tienen la mínima energía térmica posible. Ningún sistema macroscópico puede tener una temperatura inferior. A la temperatura medida en Kelvin se le llama "temperatura absoluta", y es la escala de temperaturas que se usa en ciencia, especialmente en trabajos de física o química.

<b>Fórmulas de conversión de escalas de temperatura</b>		
<b>Conversión de</b>	<b>a</b>	<b>Fórmula</b>
kelvin	grados Celsius	$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$
grados Celsius	kelvin	$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$
grados Fahrenheit	grados Celsius	$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1,8$
grados Fahrenheit	kelvin	$\text{K} = (^{\circ}\text{F} + 459,67) / 1,8$
grados Celsius	grados Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32$
$1 \text{ K} = 1 ^{\circ}\text{C}$ y $1 \text{ K} = 1,8 ^{\circ}\text{F}$		

### TEMPERATURA Y ENERGÍA

La física estadística dice que, en un sistema termodinámico, la energía contenida por las partículas es proporcional a la temperatura absoluta, siendo la constante de proporcionalidad la constante de Boltzmann. Por eso es posible determinar la temperatura de unas partículas con una determinada energía, o calcular la energía de unas partículas a una determinada temperatura. Esto se hace a partir del denominado Principio de equipartición. El principio de equipartición establece que la energía de un sistema termodinámico es:

$$E_c = \frac{n}{2} k_B T$$

donde:

$k_B$  es la constante de Boltzmann ( $1.3806503 \times 10^{-23}$  J/K)

$T$  es la temperatura

$n$  es el número de grados de libertad del sistema (por ejemplo, en sistemas monoatómicos donde la única posibilidad de movimiento es la traslación de unas partículas respecto a otras en las tres posibles direcciones del espacio,  $n$  es igual a 3).

## CANTIDAD DE SUSTANCIA

El **mol** es la unidad básica del Sistema Internacional de Unidades, que mide la cantidad de sustancia. Está definido como la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales del tipo considerado como átomos de C12 hay en 12 gramos de C12.

Cuando se usa el término mol debe especificarse el tipo de partículas elementales a que se refiere, las que pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, otras partículas o grupos específicos de estas partículas.

Por ello, en el caso de sustancias elementales conviene indicar, cuando sea necesario, si se trata de átomos o de moléculas. Por ej., no se debe decir: "un mol de nitrógeno" pues puede inducir a confusión, sino "un mol de átomos de nitrógeno" (=14 gramos de nitrógeno) o "un mol de moléculas de nitrógeno" (= 28 gramos de nitrógeno).

En los compuestos iónicos también puede utilizarse el término mol, aun cuando no estén formados por moléculas discretas. En este caso el mol equivale al término fórmula-gramo. Por ej: 1 mol de NaCl (58,5 g) contiene NA iones Na<sup>+</sup> y NA iones Cl<sup>-</sup> [NA es el número de Avogadro, NA=(6.02214179±0.00000030)×10<sup>23</sup> mol<sup>-1</sup>].

En consecuencia, en términos prácticos un mol es la cantidad de cualquier sustancia cuya masa expresada en gramos es numéricamente igual a la masa atómica o masa molecular de dicha sustancia.

### **EQUIVALENCIAS**

1 mol es equivalente a  $6,023 \times 10^{23}$  moléculas de la misma sustancia

1 mol es equivalente a la masa atómica en gramos.

1 mol es equivalente al peso molecular de un compuesto determinado.

1 mol es equivalente a 22,4 litros de un compuesto gaseoso en condiciones normales de temperatura y presión. Tiene que ver con la ley de los gases ideales

1 mol es equivalente al peso de 2 gramos de hidrógeno molecular.

## INTENSIDAD LUMINOSA

La **candela** es la unidad básica del SI de intensidad luminosa en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  hercios y de la cual la intensidad radiada en esa dirección es 1/683 vatios por estereorradián.

Esta cantidad es equivalente a la que en 1948, en la conferencia general de pesos y medidas, se definió como: Una sexagésima parte de la luz emitida por un centímetro cuadrado de platino puro en estado sólido a la temperatura de su punto de fusión (2046 K).

Unidades de fotometría del SI

Magnitud	Símbolo	Unidad del SI	Abrev.	Notas
Energía luminosa	Q <sub>v</sub>	lumen segundo	lm·s	A veces se usa la unidad talbot
Flujo luminoso	F	lumen (=cd·sr)	lm	
Intensidad luminosa	I <sub>v</sub>	<b>candela</b> (=lm/sr)	<b>cd</b>	Una Unidad básica del SI
Luminancia	L <sub>v</sub>	<b>candela</b> por metro cuadrado	<b>cd/m<sup>2</sup></b>	

Iluminancia	$E_v$	lux (= lm/m <sup>2</sup> )	lx	Usado para medir la incidencia de la luz sobre una superficie
Emisión luminosa	$M_v$	lux (= lm/m <sup>2</sup> )	lx	Usado para medir la luz emitida por una superficie
Eficiencia luminosa		lumen por watio	lm·W <sup>-1</sup>	ratio de flujo luminoso entre flujo radiante; el máximo posible es 683,002

## UNIDADES DERIVADAS DEL SI

Magnitud física	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Expresada en unidades derivadas	Expresada en unidades básicas
Frecuencia	hercio	Hz		s <sup>-1</sup>
Fuerza	newton	N		m·kg·s <sup>-2</sup>
Presión	pascal	Pa	N·m <sup>-2</sup>	m <sup>-1</sup> ·kg·s <sup>-2</sup>
Energía, trabajo, calor	julio	J	N·m	m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-2</sup>
Potencia	vatio	W	J·s <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-3</sup>
Carga eléctrica	culombio	C		A·s
Potencial eléctrico, fuerza electromotriz	voltio	V	J·C <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-3</sup> ·A <sup>-1</sup>
Resistencia eléctrica	ohmio	Ω	V·A <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-3</sup> ·A <sup>-2</sup>
Conductancia eléctrica	siemens	S	A·V <sup>-1</sup>	m <sup>-2</sup> ·kg <sup>-1</sup> ·s <sup>3</sup> ·A <sup>2</sup>
Capacitancia eléctrica	faradio	F	C·V <sup>-1</sup>	m <sup>-2</sup> ·kg <sup>-1</sup> ·s <sup>4</sup> ·A <sup>2</sup>
Densidad de flujo magnético, inductividad magnética	tesla	T	V·s·m <sup>-2</sup>	kg·s <sup>-2</sup> ·A <sup>-1</sup>
Flujo magnético	weber	Wb	V·s	m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-2</sup> ·A <sup>-1</sup>
Inductancia	henrio	H	V·A <sup>-1</sup> ·s	m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-2</sup> ·A <sup>-2</sup>
Ángulo plano	radián	rad		m·m <sup>-1</sup>
Ángulo sólido	estereorradián	sr		m <sup>2</sup> ·m <sup>-2</sup>
Flujo luminoso	lumen	lm	cd·sr	
Iluminancia	lux	lx	cd·sr·m <sup>-2</sup>	
Actividad radiactiva	becquerel	Bq		s <sup>-1</sup>
Dosis de radiación absorbida	gray	Gy	J·kg <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> ·s <sup>-2</sup>
Dosis equivalente	sievert	Sv	J·kg <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> ·s <sup>-2</sup>
Actividad catalítica	katal	kat		mol·s <sup>-1</sup>
temperatura termodinámica	celsius	°C	°C = K - 273.16	