

# **EL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES SI**

Este documento es una traducción de la 7ª. edición del original francés 'Le Système International d'Unités' y de la correspondiente versión en inglés (1998) y del Suplemento 2000, elaboradas por el Bureau International des Poids et Mesures – BIPM. Este documento no incluye la traducción del Anexo 2. Realización Práctica de las Definiciones de las Principales Unidades.

Traducción: J.A. Cogno  
Revisión final: R. Steinberg

Las notas al margen del documento original no han sido incluidas en la presente versión de la traducción.

## **Indice**

### **1. Introducción**

- 1.1 Nota histórica**
- 1.2 Dos clases de unidades SI**
- 1.3 Los prefijos SI**
- 1.4 El Sistema de Magnitudes**
- 1.5 Las unidades SI en el marco de la relatividad general**
- 1.6 Legislación sobre unidades**

### **2 Unidades SI**

#### **2.1 Unidades SI de base**

##### **2.1.1 Definiciones**

- 2.1.1.1 Unidad de longitud (metro)**
- 2.1.1.2 Unidad de masa (kilogramo)**
- 2.1.1.3 Unidad de tiempo (segundo)**
- 2.1.1.4 Unidad de corriente eléctrica (ampère)**
- 2.1.1.5 Unidad de temperatura termodinámica (kelvin)**
- 2.1.1.6 Unidad de cantidad de materia (mol)**
- 2.1.1.7 Unidad de intensidad luminosa (candela)**

##### **2.1.2 Símbolos de las unidades de base**

#### **2.2 Unidades derivadas del SI**

- 2.2.1 Unidades expresadas en términos de las unidades de base**
- 2.2.2 Unidades con nombres y símbolos especiales; unidades que incorporan unidades con nombres y símbolos especiales**
- 2.2.3 Unidades para magnitudes adimensionales, magnitudes de dimensión 1**

### **3. Múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI**

- 3.1 Prefijos SI**
- 3.2 El kilogramo**

### **4. Unidades ajenas al SI**

- 4.1 Unidades usadas con el SI**
- 4.2 Otras unidades ajenas al SI**

## **5. La escritura de los nombres y símbolos del SI**

- 5.1 Principios generales**
- 5.2 Símbolos de unidades SI**
- 5.3 Algebra de los símbolos de las unidades SI**
- 5.4 Reglas para usar prefijos SI**

## **Apéndice 1. Decisiones de la CGPM y del CIPM**

### **1. Decisiones relativas al establecimiento del Sistema Internacional de Unidades, SI**

- 1.1 Sistema Práctico de Unidades: establecimiento del SI**
- 1.2 El SI**

### **2. Decisiones relativas a las unidades de base del Sistema Internacional**

- 2.1 Longitud**
- 2.2 Masa**
- 2.3 Tiempo**
- 2.4 Corriente eléctrica**
- 2.5 Temperatura Termodinámica**
- 2.6 Cantidad de materia**
- 2.7 Intensidad luminosa**

### **3. Decisiones relativas a las unidades SI derivadas y suplementarias**

- 3.1 Unidades SI derivadas**
- 3.2 Unidades suplementarias SI**

### **4. Decisiones concernientes a la terminología y la aceptación de unidades para uso con el SI**

- 4.1 Prefijos SI**
- 4.2 Símbolos de unidades y números**
- 4.3 Nombres de unidades**

## **El Sistema Internacional de Unidades. Suplemento 2000; agregados y enmiendas a la 7ª. Edición (1998)**

- 2.1.1.3 Unidad de tiempo (segundo)**
- 2.2.2 Unidades con nombres y símbolos especiales; unidades que incorporan unidades con nombres y símbolos especiales**
- 3.1 Unidades derivadas SI**

## 1. Introducción

### 1.1 Nota histórica

La novena CGPM (1948, resolución 6, CR, 64) dio las siguientes instrucciones al CIPM:

- estudiar el establecimiento de un conjunto completo de reglas para las unidades de medida.
- definir para ese propósito, por consultas oficiales, la opinión prevaleciente en círculos científicos, técnicos y educativos de todos los países.
- preparar recomendaciones para el establecimiento de un sistema práctico de unidades de medida adecuado para su adopción por todos los signatarios de la Convención del Metro.

También definió, en su Resolución 7 (CR,70), principios generales para la escritura de símbolos de unidades y unidades definidas a las que se les había asignado nombres especiales.

La décima CGPM (1954, Resolución 6, CR 80) y la 14ª. CGPM (1971, Resolución 3, CR 78 y *Metrologia* 1972, 8, 36) adoptaron como unidades de base de este sistema práctico de unidades, las unidades de las siguientes siete magnitudes: longitud, masa, tiempo, corriente eléctrica, temperatura termodinámica, cantidad de materia e intensidad luminosa.

La 11ª. CGPM (1960, Resolución 12, CR 87) adoptó el nombre *Système International d'Unités*, con la abreviatura internacional SI, para este sistema práctico de unidades y reglas definidas para prefijos, unidades derivadas y las anteriores unidades suplementarias y otras, por lo tanto estableciendo una especificación comprensible para las unidades de medida. Desde ese entonces, sucesivas reuniones del CGPM y del CIPM han agregado y modificado cuando fue necesario la estructura original del SI para tener en cuenta los avances de la ciencia y las necesidades de los usuarios.

La sucesión histórica que llevó a esas importantes decisiones de la CGPM puede resumirse de la manera siguiente:

- La creación del Sistema Métrico Decimal en la época de la Revolución Francesa y el subsecuente depósito de dos patrones de platino representando el metro y el kilogramo, el 22 de Junio de 1799, en los Archivos de la República en París pueden ser vistos como el primer paso en el desarrollo del presente Sistema Internacional de Unidades.
- En 1832 Gauss promovió vigorosamente la aplicación de este Sistema Métrico, junto con el segundo definido astronómicamente, como un conjunto coherente de unidades para las ciencias físicas. Gauss fue el primero en efectuar mediciones absolutas del campo magnético terrestre en términos del sistema decimal basado en tres unidades mecánicas, milímetro, gramo y segundo, para las magnitudes longitud, masa y tiempo. En años posteriores Gauss y Weber extendieron esas mediciones para incluir fenómenos eléctricos.

- Estas aplicaciones en el campo de la electricidad y magnetismo fueron más desarrolladas en la década de 1860 bajo el liderazgo activo de Maxwell y Thomson a través de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia (BAAS). Ellos formularon el requerimiento de un sistema coherente de unidades con unidades de base y unidades derivadas. En 1874 la BAAS introdujo el sistema CGS, un sistema coherente tridimensional basado en las tres unidades mecánicas centímetro, gramo y segundo, usando prefijos que iban desde micro a mega para expresar submúltiplos y múltiplos decimales. El desarrollo subsiguiente de la física como ciencia experimental tuvo en gran parte como base el uso del sistema CGS.
- Los tamaños de las unidades coherentes CGS en los campos de la electricidad y el magnetismo resultaron inadecuados, y por lo tanto en la década de 1880 la BAAS y el Congreso Eléctrico Internacional, predecesor de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) aprobaron un sistema mutuamente coherente de unidades prácticas. Entre ellas estaban el ohm para la resistencia eléctrica, el volt para la fuerza electromotriz, y el ampère para la corriente eléctrica.
- Luego del establecimiento de la Convención del Metro el 20 de Mayo de 1875 el CIPM se concentró en la construcción de los nuevos prototipos tomando el metro y el kilogramo como las unidades de base de longitud y de masa. En 1889 el primer CGPM sancionó los prototipos internacionales para el metro y para el kilogramo. Junto con el segundo astronómico como unidad de tiempo, esas unidades constituyeron un sistema mecánico tridimensional similar al sistema CGS, pero con las unidades de base metro, kilogramo y segundo, el sistema MKS.
- En 1901 Giorgi probó que es posible combinar las unidades mecánicas de ese sistema metro – kilogramo - segundo con las unidades eléctricas prácticas para formar un único sistema cuadridimensional añadiendo a las tres unidades de base una cuarta de naturaleza eléctrica, y reescribiendo las ecuaciones del electromagnetismo en la así llamada forma racionalizada. La propuesta de Giorgi abrió el camino para una serie de nuevos desarrollos.
- Luego de la revisión de la Convención del Metro por la 6ª. CGPM en 1921, la cual extendió el alcance y responsabilidades del BIPM a otros campos de la física, y la subsecuente creación del CCE por la 7ª. CGPM en 1927, la propuesta de Giorgi fue exhaustivamente discutida por el IEC, la IUPAP y otras organizaciones internacionales. Esto llevó a que la CCE propusiera en 1939 la adopción de un sistema cuadridimensional basado en el metro, el kilogramo, el segundo y el ampère, el sistema MKSA, propuesta que el CIPM aprobó en 1946.
- Luego de una encuesta internacional realizada por el BIPM desde 1948, la 10ª. CGPM aprobó en 1954 la introducción del ampère, el kelvin y la candela como unidades de base, respectivamente, para la corriente eléctrica, la temperatura termodinámica y la intensidad luminosa. El nombre *Système International d'Unités* (SI) fue dado al sistema por la 11ª. CGPM en 1960. En la 14ª. CGPM en 1971 la versión existente del SI fue completada con el agregado del mol como la unidad de base de la cantidad de materia, llevando el número total de unidades de base a 7.

## 1.2 Dos clases de unidades SI

Las unidades SI están divididas en dos clases: unidades de base y unidades derivadas. Desde el punto de vista científico, la división de las unidades SI en esas dos clases es en cierta medida arbitrario, dado que no es esencial a la física. No obstante, el CGPM, considerando las ventajas de un sistema de unidades de medida único, práctico y de alcance mundial para las relaciones internacionales, para la enseñanza y para el trabajo científico, decidió basar el Sistema Internacional en una selección de siete unidades bien definidas que por convención se consideran dimensionalmente independientes: el metro, el kilogramo, el segundo, el ampère, el kelvin, el mol y la candela (ver 2.1). Estas unidades SI se denominan unidades de base.

La segunda clase de unidades SI son las unidades derivadas. Estas son unidades formadas como productos de potencias de las unidades de base de acuerdo con las relaciones algebraicas que vinculan las magnitudes involucradas. Los nombres y símbolos de las unidades así formadas en términos de las unidades de base pueden reemplazarse por nombres especiales y símbolos que pueden ser asimismo usados para formar expresiones y símbolos de otras unidades derivadas (ver 2.2).

Las unidades SI de estas dos clases forman un conjunto coherente de unidades, donde la coherencia debe entenderse en el sentido especial de un sistema cuyas unidades están relacionadas mutuamente por reglas de multiplicación y de división con ningún factor numérico diferente de 1. Siguiendo la Recomendación CIPM 1 (1969, PV, 37, 30-31 y *Metrologia*, 1970, 6, 66), las unidades de ese conjunto coherente de unidades se designan con el nombre de unidades SI.

Es importante enfatizar que cada magnitud física tiene solamente una unidad SI, aún si esa unidad puede expresarse de diferentes formas. No obstante, la recíproca no es cierta, en algunos casos la misma unidad SI puede usarse para expresar los valores de varias magnitudes diferentes.

### **1.3 Los prefijos SI**

La CGPM adoptó una serie de prefijos para ser usados en la formación de los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI (ver 3.1 y 3.2). De acuerdo con la Recomendación CIPM 1 (1969) antes mencionada, éstos son conocidos como prefijos SI.

Las unidades SI, esto es las unidades de base y derivadas del SI, forman un conjunto coherente, el conjunto de las unidades SI. Los múltiplos y submúltiplos de las unidades SI formados usando las unidades SI combinadas con los prefijos SI se denominan por su nombre completo, múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI. Estos múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI no son coherentes con las unidades SI.

Como una excepción, los múltiplos y submúltiplos del kilogramo se forman agregando prefijos al nombre 'gramo' y símbolos de prefijos al símbolo de la unidad 'g'.

### **1.4 El Sistema de Magnitudes**

El Sistema de Magnitudes usado con las unidades SI se trata en el Comité 12 de la Organización Internacional de Estandarización (ISO/TC12) y no se cubre en el presente documento. Desde 1955 ISO/TC 12 publicó una serie de Normas Internacionales sobre magnitudes y sus unidades, las cuales recomiendan fuertemente el uso del Sistema Internacional de Unidades.

En esas Normas Internacionales, ISO adoptó un sistema de magnitudes físicas basadas en las siete magnitudes de base correspondientes a las siete unidades de base del SI, esto es longitud, masa, tiempo, corriente eléctrica, temperatura termodinámica, cantidad de materia e intensidad luminosa. Otras magnitudes, llamadas magnitudes derivadas, se definen en términos de esas siete magnitudes de base. Las relaciones entre magnitudes derivadas y magnitudes de base se expresan por un sistema de ecuaciones. Este es el sistema de magnitudes y ecuaciones que es adecuado usar con las unidades SI.

### **1.5 Las unidades SI en el marco de la relatividad general**

Las definiciones de las unidades de base del SI fueron acordadas en un contexto que no tuvo en cuenta efectos relativistas. Cuando estos se toman en cuenta, es claro que esas definiciones se aplican solamente en un pequeño dominio espacial que comparte el movimiento de los patrones que las realizan. Estas unidades son por lo tanto unidades propias, ellas se realizan a partir de experimentos locales en los cuales los efectos relativistas que deben tomarse en cuenta son los de la relatividad especial. Las constantes de la física son magnitudes locales con sus valores expresados en unidades propias.

Las realizaciones de una unidad usando diferentes patrones se comparan habitualmente en forma local. No obstante, los patrones de frecuencia permiten ese tipo de comparaciones a distancia por medio de señales electromagnéticas. Para interpretar los resultados se requiere de la teoría de la relatividad general, dado que ella predice, entre otros efectos, una diferencia de frecuencia entre patrones de aproximadamente una parte en  $10^{16}$  por cada metro de diferencia de altitud en la superficie de la Tierra. Los efectos de esta magnitud pueden ser comparables a la incertidumbre en la realización del metro o del segundo basados en una señal periódica de frecuencia dada (Apéndice 2).

### **1.6 Legislación sobre unidades**

Por ley, cada país ha establecido reglas para el uso de unidades con alcance nacional, ya sea para uso general o para áreas específicas como el comercio, la salud, seguridad pública y educación. En casi todos los países esta legislación está basada en el uso del Sistema Internacional de Unidades.

La organización Internacional de Metrología Legal (OIML), fundada en 1955, se encarga de la armonización a nivel internacional de estas legislaciones.



## **2. Unidades SI**

### **2.1 Unidades SI de base**

Las definiciones formales de todas las unidades de base del SI son aprobadas por el CGPM. La primera de tales definiciones fue aprobada en 1889 y la más reciente en 1983. Estas definiciones se modifican a lo largo del tiempo en la medida que las técnicas de medición evolucionan y permiten realizaciones más exactas de las unidades de base.

#### **2.1.1 Definiciones**

Las definiciones actuales de las unidades de base, tomadas de los Comptes Rendus (CR) de las correspondientes CGPM, se muestran aquí con márgenes y en negrita. Otras decisiones relacionadas que clarifican esas definiciones, pero que no son parte formalmente de las mismas, tomadas de los Comptes Rendus (CR) de los correspondientes CGPM o de los Procès-Verbaux (PV) del CIPM, también se muestran con márgenes y en caracteres corrientes. El texto de enlace provee notas históricas y explicaciones, pero no es parte de las definiciones.

##### **2.1.1.1 Unidad de longitud (metro)**

La definición de 1889 del metro, basada en el prototipo internacional de platino- iridio, fue reemplazada por la 11<sup>a</sup>. CGPM (1960), usando una definición basada en la longitud de onda de la radiación de kriptón 86. Esta definición fue adoptada con el propósito de mejorar la exactitud con la cual se realizaba el metro. A su vez, fue reemplazada en 1983 por la 17<sup>a</sup>. CGPM (Resolución 1, CR, 97 y *Metrologia* 1984, 20,25):

**El metro es la longitud del camino recorrido por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de 1/ 299 792 458 de segundo.**

Nótese que esta definición tiene como efecto fijar la velocidad de la luz en exactamente 299 792 458 m s<sup>-1</sup>. El prototipo internacional original del metro, el cual fue sancionado por la 1<sup>a</sup>. CGPM en 1889 (CR, 34-38) todavía se mantiene en el BIPM bajo las condiciones especificadas en 1889.

##### **2.1.1.2 Unidad de masa (kilogramo)**

El prototipo internacional del kilogramo, hecho de platino – iridio, se mantiene en el BIPM bajo las condiciones especificadas por la 1<sup>a</sup>. CGPM en 1889 (CR, 34-38) cuando sancionó el prototipo y declaró que:

Este prototipo será de aquí en adelante considerado la unidad de masa

La 3<sup>a</sup>. CGPM (1901, CR, 70), en una declaración que intentaba terminar con la ambigüedad en el uso popular de la palabra ‘peso’, confirmó que:

**El kilogramo es la unidad de masa: es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo.**

### **2.1.1.3 Unidad de tiempo (segundo)**

La unidad de tiempo, el segundo, fue en una época considerada la fracción  $1/86\,400$  del día solar medio. La definición exacta de 'día solar medio' estaba basada en teorías astronómicas. No obstante, mediciones mostraron que existían irregularidades en la rotación de la Tierra que no podían ser explicadas por la teoría y que tenían como efecto que esa definición no permitía lograr el nivel de exactitud requerido. Para definir la unidad de tiempo de una manera más precisa, la 11ª. CGPM (1960;CR,86) adoptó una definición dada por la Unión Astronómica Internacional basada en el año trópico. No obstante, existía base experimental que ya había mostrado que un intervalo de tiempo atómico patrón, basado en la transición entre dos niveles de energía de un átomo o de una molécula, podía ser realizado y reproducido con mucha mayor precisión. Considerando que una definición muy precisa de la unidad de tiempo es indispensable para el Sistema Internacional, la 13ª. CGPM (1967 – 1968, Resolución 1; CR 103 y *Metrologia*, 1968, 4, 43) reemplazó la definición del segundo por la siguiente:

**El segundo es la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado base del átomo de cesio 133**

En su reunión de 1997, el CIPM estableció que:

Esta definición se refiere a un átomo de cesio en reposo a la temperatura de 0 K

### **2.1.1.4 Unidad de corriente eléctrica (ampère)**

Las unidades eléctricas, llamadas internacionales, de corriente y resistencia fueron introducidas por el Congreso Eléctrico Internacional celebrado en Chicago en 1893, y las definiciones del ampère internacional y del ohm internacional fueron confirmadas por la Conferencia Internacional de Londres de 1908.

A pesar que ya en ocasión del 8º. CGPM (1933) era obvio que había un deseo unánime de reemplazar esas unidades internacionales por las llamadas unidades absolutas, la decisión oficial de abolirlas no se tomó hasta la 9ª. CGPM (1948), la cual adoptó el ampère como unidad de corriente eléctrica, siguiendo una definición propuesta por el CIPM (1946, Resolución 2; PV, 20, 129 – 137):

**El ampère es aquella corriente continua que, cuando se mantiene en dos conductores rectos plano paralelos de longitud infinita y de sección circular despreciable, ubicados entre sí a una distancia de 1 metro en el vacío, produciría entre esos conductores una fuerza igual a  $2 \times 10^{-7}$  newton por metro de longitud**

La expresión 'unidad de fuerza MKS' que aparece en el texto original de 1946 ha sido reemplazada aquí por newton, el nombre adoptado para esa unidad por la 9ª. CGPM (1948, Resolución 7; CR, 70). Nótese que el efecto de esta definición es fijar la permeabilidad del vacío en exactamente  $4 \Pi 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$

### 2.1.1.5 Unidad de temperatura termodinámica (kelvin)

La definición de la unidad de temperatura termodinámica fue esencialmente dada por la 10ª. CGPM (1954, Resolución 3; CR, 79), la cual eligió el punto triple de agua como el punto fijo fundamental y asignó a él la temperatura 273.16 K, definiendo así la unidad. La 13ª. CGPM (1967 – 1968, Resolución 3; CR, 104 y *Metrologia*, 1968, 4, 43) adoptaron el nombre kelvin (símbolo K) en lugar de grado Kelvin (símbolo °K) y definieron la unidad de temperatura termodinámica de la manera siguiente (Resolución 4; CR, 104 y *Metrologia*, 1968, 4, 43):

**El kelvin, unidad de temperatura termodinámica, es la fracción 1/273.16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua**

Debido a la forma en la cual se acostumbraba definir las escalas de temperatura, sigue siendo una práctica común expresar la temperatura termodinámica, símbolo  $T$ , en términos de su diferencia respecto de la temperatura de referencia  $T_0 = 273,15 \text{ K}$ , el punto de hielo. Esta diferencia de temperatura se denomina temperatura Celsius, símbolo  $t$ , y se define por la ecuación

$$t = T - T_0$$

La unidad de temperatura Celsius es el grado Celsius, símbolo °C, la cual es por definición igual en magnitud al kelvin. Una diferencia o intervalo de temperatura puede expresarse en kelvins o en grados Celsius (13ª. CGPM, 1967 – 1968, Resolución 3 antes mencionada). El valor numérico de una temperatura Celsius  $t$  expresada en grados Celsius está dado por:

$$T/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15$$

El kelvin y el grado Celsius también son las unidades de la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90), adoptada por el CIPM en 1989 en su Recomendación 5 (CI-1989) (PV, 57, 115 y *Metrologia*, 1990, 27, 13).

### 2.1.1.6 Unidad de cantidad de materia (mol)

Luego del descubrimiento de las leyes fundamentales de la química se utilizaron unidades tales como 'átomo - gramo' y 'molécula - gramo' para especificar las cantidades de elementos o compuestos químicos. Estas unidades tenían una conexión directa con pesos atómicos y pesos moleculares, que son de hecho masas relativas. Originalmente, los pesos atómicos estuvieron referidos al peso atómico del oxígeno, fijado por consenso general como 16. Pero mientras los físicos separaban isótopos en el espectrómetro de masas y atribuían el valor 16 a uno de los isótopos del oxígeno, los químicos atribuían el mismo valor a la ligeramente variable mezcla de isótopos 16, 17 y 18 que para ellos era la forma

del oxígeno que se encuentra en la naturaleza. Finalmente, un acuerdo entre la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAP) y la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) terminó con esta dualidad en 1959 – 1969. Desde ese entonces los físicos y los químicos han acordado asignar el valor exacto 12 al 'peso atómico', más correctamente masa atómica relativa, del isótopo de carbono con número de masa 12 (carbono 12,  $^{12}\text{C}$ ). La escala unificada así obtenida da los valores de masa atómica relativa.

Quedaba por definir la unidad de cantidad de materia fijando una masa correspondiente de carbono 12. Por acuerdo internacional esa masa fue fijada en 0.012 kg, y a la unidad de 'cantidad de materia' se le asignó el nombre mol (símbolo mol).

Siguiendo propuestas de la IUPAP, IUPAC e ISO, el CIPM dio la definición del mol en 1967 y confirmó la misma en 1969, la cual fue adoptada por la 14<sup>a</sup>. CGPM (1971, Resolución 3; CR, 78 y *Metrologia*, 1972, 8, 36):

- 1. El mol es la cantidad de materia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como hay átomos en 0.012 kilogramos de carbono 12; su símbolo es mol.**
- 2. Cuando se usa el mol, deben especificarse las entidades elementales, las cuales pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, otras partículas o grupos específicos de tales partículas.**

En 1980 el CIPM aprobó el informe del CCU (1980) que especificó que:

En esa definición, debe entenderse átomos no ligados de carbono 12, en reposo y en su estado fundamental.

#### **2.1.1.7 Unidad de intensidad luminosa (candela)**

Las unidades de intensidad luminosa basadas en lámparas de llamas o patrones de filamento incandescentes en uso en varios países antes de 1948 fueron reemplazadas inicialmente por la 'nueva candela', basada en la luminancia de un radiador de Planck (un cuerpo negro) a la temperatura de solidificación del platino. Esta modificación había sido preparada por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) y por el CIPM antes de 1937 y la decisión promulgada por el CIPM en 1946. Luego fue ratificada en 1948 por el 9<sup>o</sup>. CGPM, el cual adoptó un nuevo nombre internacional para esta unidad, la candela (símbolo cd); en 1967 la 13<sup>a</sup>. CGPM (Resolución 5; CR, 104 y *Metrologia*, 1968, 4, 43-44) dieron una versión corregida de la definición de 1946.

En 1979, debido a las dificultades experimentales en la realización de un radiador de Planck a altas temperaturas y las nuevas posibilidades ofrecidas por la radiometría, por ejemplo la medición de potencia de radiación óptica, la 16<sup>a</sup>. CGPM (1979, Resolución 3; CR, 100 y *Metrologia*, 1980, 16, 56) adoptó una nueva definición de la candela:

**La candela es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  hertz y que tiene una intensidad radiante en esa dirección de 1/683 watt por estereoradian**

### 2.1.2 Símbolos de las unidades de base

Las unidades de base del Sistema Internacional se registran en la Tabla 1, la cual relaciona la magnitud de base con el nombre de la unidad y el símbolo de la unidad (10<sup>a</sup>. CGPM (1954, Resolución 6; CR, 80); 11<sup>a</sup>. CGPM (1960, Resolución 12; CR, 87); 13<sup>a</sup>. CGPM (1967 – 1968, Resolución 3; CR, 104 y *Metrologia*, 1968, 4,43); 14<sup>a</sup>. CGPM (1971, Resolución 3; CR, 78 y *Metrologia*, 1972, 8, 36).

Tabla 1. Unidades de base del SI

Magnitud de base	Unidad de base del SI	
	nombre	símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Corriente eléctrica	ampère	A
Temperatura termodinámica	kelvin	K
Cantidad de materia	mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd

## 2.2 Unidades derivadas del SI

Las unidades derivadas son aquellas que pueden ser expresadas en términos de las unidades de base por medio de los símbolos matemáticos de la multiplicación y de la división. Ciertas unidades derivadas han recibido nombres y símbolos especiales, y ellos pueden asimismo ser usados en combinación con los de las unidades de base o con los de otras derivadas para expresar las unidades de otras magnitudes.

### 2.2.1 Unidades expresadas en términos de las unidades de base

La Tabla 2 incluye algunos ejemplos de unidades derivadas expresadas directamente en términos de las unidades de base. Las unidades derivadas se obtienen por multiplicación y división de las unidades de base.

**Tabla 2. Ejemplos de unidades derivadas SI expresadas en términos de las unidades de base**

Magnitud derivada	Unidad derivada del SI	
	nombre	símbolo
área	metro cuadrado	m <sup>2</sup>
volumen	metro cúbico	m <sup>3</sup>
rapidez, velocidad	metro por segundo	m / s
aceleración	metro por segundo cuadrado	m / s <sup>2</sup>
número de onda	recíproca de metro	m <sup>-1</sup>
densidad, densidad de masa	kilogramo por metro cúbico	kg / m <sup>3</sup>
volumen específico	metro cúbico por kilogramo	m <sup>3</sup> / kg
densidad de corriente	ampère por metro cuadrado	A / m <sup>2</sup>
fuerza de campo magnético	ampère por metro	A / m
concentración (de cantidad de materia)	mol por metro cúbico	mol / m <sup>3</sup>
luminancia	candela por metro cuadrado	cd / m <sup>2</sup>
índice de refracción	(el número) uno	I <sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup> el símbolo 'I' generalmente se omite en combinación con un valor numérico

### **2.2.2 Unidades con nombres y símbolos especiales; unidades que incorporan unidades con nombres y símbolos especiales**

Por conveniencia, a ciertas unidades derivadas, las cuales figuran en la Tabla 3, se les han asignado nombres y símbolos especiales. Esos nombres y símbolos pueden ser usados para expresar otras unidades derivadas: la Tabla 4 muestra algunos ejemplos. Los nombres y símbolos especiales son una forma compacta para la expresión de unidades de uso frecuente.

Entre esos nombres y símbolos, las últimas tres entradas de la Tabla 3 son de particular interés porque fueron aceptadas por la 15<sup>a</sup>. CGPM (1975, Resoluciones 8 y 9; CR, 105 y *Metrologia*, 1975, 11, 180) y por la 16<sup>a</sup>. CGPM (1979, Resolución 5; CR, 100 y *Metrologia*, 1980, 16, 56) específicamente con el propósito de preservar la salud humana.

En las Tablas 3 y 4, la columna final muestra como las unidades SI pueden ser expresadas en términos de las unidades de base SI. En esa columna no se muestran explícitamente factores tales como  $m^0$ ,  $kg^0$  ..., los cuales son todos iguales a 1.

Tabla 3. Unidades SI con nombres y símbolos especiales

Magnitud derivada	nombre	símbolo	Unidad derivada SI	
			Expresada en términos de otras unidades SI	Expresada en términos de otras unidades de base SI
ángulo plano	radián <sup>(a)</sup>	rad		$m \cdot m^{-1} = 1$ <sup>(b)</sup>
ángulo sólido	estereoradián <sup>(a)</sup>	sr <sup>(c)</sup>		$m^2 \cdot m^{-2} = 1$ <sup>(b)</sup>
frecuencia	hertz	Hz		$s^{-1}$
fuerza	newton	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
presión, esfuerzo	pascal	Pa	$N \cdot m^{-2}$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
energía, trabajo, cantidad de calor	joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
potencia, flujo radiante	watt	W	$J / s$	$m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3}$
carga eléctrica, cantidad de electricidad	coulomb	C		$s \cdot A$
diferencia de potencial eléctrico, fuerza electromotriz	volt	V	$W / A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
capacitancia	farad	F	$C / V$	$m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^{-2}$
resistencia eléctrica	ohm	$\Omega$	$V / A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
conductancia eléctrica	siemens	S	$A / V$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
flujo magnético	weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
densidad de flujo magnético	tesla	T	$Wb / m^2$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
inductancia	henry	H	$Wb / A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
temperatura Celsius	grado Celsius <sup>(d)</sup>	$^{\circ}C$		K
flujo luminoso	lumen	lm	$cd \cdot sr$ <sup>(c)</sup>	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd = cd$
iluminancia	lux	lx	$lm / m^2$	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd = m^{-2} \cdot cd$
actividad (de un radionucléido)	becquerel	Bq		$s^{-1}$
dosis absorbida, energía específica (impartida), kerma	gray	Gy	$J / kg$	$m^2 \cdot s^{-2}$
dosis equivalente, dosis equivalente ambiente, dosis equivalente direccional, dosis equivalente personal, dosis equivalente orgánica	sievert	Sv	$J / kg$	$m^2 \cdot s^{-2}$

(a) puede ser ventajoso usar el radián y el estereoradián en expresiones de unidades derivadas para distinguir entre magnitudes de diferente naturaleza pero con la misma dimensión. Algunos ejemplos de su uso en la formación de unidades derivadas se dan en la Tabla 4.

(b) en la práctica, los símbolos rad y sr se usan cuando es apropiado, pero la unidad derivada '1' en combinación con un valor numérico en general se omite.

(c) en fotometría, generalmente el nombre estereoradián y el símbolo sr se mantienen en las expresiones de unidades.

(d) esta unidad puede usarse en combinación con prefijos SI, por ejemplo miligrado Celsius, m  $^{\circ}C$ .



**Tabla 4. Ejemplos de unidades derivadas SI cuyos nombres y símbolos incluyen unidades derivadas SI con nombres y símbolos especiales**

Magnitud derivada	Unidad derivada SI		
	nombre	símbolo	Expresada en términos de unidad de base SI
viscosidad dinámica	pascal segundo	Pa · s	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
momento de una fuerza	newton metro	N · m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
tensión superficial	newton por metro	N / m	$kg \cdot s^{-2}$
velocidad angular	radián por segundo	rad / s	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} = s^{-1}$
aceleración angular	radián por segundo cuadrado	rad / s <sup>2</sup>	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2} = s^{-2}$
densidad de flujo de calor, irradiancia	watt por metro cuadrado	W / m <sup>2</sup>	$kg \cdot s^{-3}$
capacidad calorífica, entropía	joule por kelvin	J / K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
capacidad calorífica específica, entropía específica	joule por kilogramo kelvin	J / (kg · K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
energía específica	joule por kilogramo	J / kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
conductividad térmica	watt por metro kelvin	W / (m · K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
densidad de energía	joule por metro cúbico	J / m <sup>3</sup>	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
fuerza de campo eléctrico	volt por metro	V / m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
densidad de carga eléctrica	coulomb por metro cúbico	C / m <sup>3</sup>	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
densidad de flujo eléctrico	coulomb por metro cuadrado	C / m <sup>2</sup>	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
permitividad	farad por metro	F / m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
permeabilidad	henry por metro	H / m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
energía molar	joule por mol	J / mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
entropía molar, capacidad calorífica molar	joule por mol kelvin	J / (mol · K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
exposición (rayos X y $\gamma$ )	coulomb por kilogramo	C / kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
tasa de dosis absorbida	gray por segundo	Gy / s	$m^2 \cdot s^{-3}$
intensidad radiante	watt por estereoradián	W / sr	$m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
radiancia	watt por metro cuadrado estereoradián	W / (m <sup>2</sup> · sr)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = kg \cdot s^{-3}$

Una unidad SI puede corresponder a varias magnitudes diferentes, como se indicó en el párrafo 1.2. En la Tabla anterior, que no es exhaustiva, hay varios ejemplos. De esa forma el joule por kelvin (J / K) es la unidad SI para la magnitud capacidad calorífica así como para la magnitud entropía; también el ampère (A) es la unidad SI para la magnitud de base corriente eléctrica así como para la magnitud derivada fuerza magnetomotriz. Por lo tanto es importante no usar la unidad aislada para especificar la magnitud. Esta regla se aplica no solamente a los textos científicos y técnicos sino también, por ejemplo, a los instrumentos de medición (esto es, un instrumento debería indicar la unidad y la magnitud medida).

Una unidad derivada puede ser expresada de varias formas combinando los nombres de las unidades de base con nombres especiales para unidades derivadas. Esto, no obstante, es una licencia algebraica que debe ser gobernada por consideraciones físicas de sentido común. Joule, por ejemplo, puede ser formalmente escrito como newton metro, o aún kilogramo metro cuadrado por segundo cuadrado, pero en dadas situaciones algunas formas pueden ser más útiles que otras.

En la práctica, para ciertas magnitudes se prefiere usar ciertos nombres de unidades especiales, o combinaciones de nombres de unidades, con el propósito de facilitar la distinción entre diferentes magnitudes que tienen la misma dimensión. Por ejemplo, la unidad SI de frecuencia es el hertz, en lugar del recíproco del segundo, y la unidad SI de velocidad angular es el radián por segundo en lugar del recíproco del segundo (en ese caso el retener la palabra radián enfatiza el hecho que la velocidad angular es igual a  $2\pi$  veces la frecuencia rotacional). Similarmente, la unidad SI de momento de una fuerza es el newton metro en lugar del joule.

En el campo de la radiaciones ionizantes, la unidad SI de actividad es el becquerel en lugar del recíproco del segundo, y las unidades SI de dosis absorbida y de dosis equivalente son el gray y el sievert, respectivamente, en lugar del joule por kilogramo. Los nombres especiales becquerel, gray y sievert fueron introducidos específicamente debido al peligro para la salud humana que podría originarse por errores debidos a las unidades recíproco del segundo y joule por kilogramo.

### **2.2.3 Unidades para magnitudes adimensionales, magnitudes de dimensión 1**

Ciertas magnitudes se definen como cocientes de dos magnitudes de la misma especie, y por lo tanto tienen una dimensión que puede ser expresada por el número 1. La unidad de tales magnitudes es necesariamente una unidad derivada coherente con las otras unidades del SI y, dado que está formada como el cociente de dos unidades SI idénticas, la unidad también puede expresarse por el número 1. Por lo tanto, la unidad SI de todas las magnitudes que tienen el producto dimensional 1 es el número 1. Ejemplos de esas magnitudes son el índice de refracción, la permeabilidad relativa y el factor de fricción. Otras magnitudes que tienen la unidad 1 incluyen 'números característicos' como el número de Prandtl y números que representan una cuenta, como el número de moléculas, degeneración (número de niveles de energía) y la función de partición en termodinámica estadística. Todas esas magnitudes se describen como adimensionales, o de dimensión 1, y tienen la unidad coherente SI 1. Sus valores se expresan simplemente como números y en general el número 1 no se explicita. En algunos casos, no obstante, se asigna un nombre especial a esa unidad, fundamentalmente para evitar confusión con unidades derivadas compuestas. Este es el caso con el radian, estereoradián y neper.

## **3. Múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI**

### **3.1 Prefijos SI**

La 11ª. CGPM (1960, Resolución 12; CR, 87) adoptó una serie de prefijos y símbolos de prefijos para formar los nombres y símbolos de los múltiplos y submúltiplos decimales de

las unidades SI en el rango de  $10^{12}$  a  $10^{-12}$ . Los prefijos para  $10^{-15}$  y  $10^{-18}$  fueron agregados por la 12<sup>a</sup>. CPM (1964, Resolución 8; CR, 94), para  $10^{15}$  y  $10^{18}$  por la 15<sup>a</sup>. CGPM (1975, Resolución 10; CR, 106 y *Metrologia*, 1975, 11, 180 –181) y para  $10^{21}$ ,  $10^{24}$ ,  $10^{-21}$  y  $10^{-24}$  por la 19<sup>a</sup>. CGPM (1991, Resolución 4; CR, 185 y *Metrologia*, 1992, 29, 3). La Tabla 5 lista todos los prefijos y símbolos aprobados.

Tabla 5. Prefijos SI

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

### 3.2 El kilogramo

Entre las unidades de base del Sistema Internacional, la unidad de masa es la única cuyo nombre, por razones históricas, contiene un prefijo. Los nombres y símbolos para los múltiplos y submúltiplos decimales de la unidad de masa se forman adjuntando los prefijos al nombre de unidad 'gramo' y los símbolos de esos prefijos al símbolo de la unidad 'g' (CIPM, 1967, Recomendación 2; PV, 35, 29 y *Metrologia*, 1968, 4, 45).

Ejemplo,  $10^{-6} \text{ kg} = 1 \text{ mg}$  (1 miligramo)  
*Pero no  $1 \mu\text{kg}$  (1 microkilogramo)*

### 4. Unidades ajenas al SI

Las unidades SI se recomiendan para su aplicación en la ciencia, la tecnología y el comercio. Tienen acuerdo internacional por parte del CGPM y proveen una referencia en términos de la cual se definen actualmente todas las otras unidades. Las unidades de base SI y las unidades derivadas SI, incluyendo aquellas con nombres especiales, tienen la importante ventaja de formar un conjunto coherente con el efecto que no se requieren conversiones de unidades cuando se asignan valores particulares a las magnitudes en las ecuaciones entre magnitudes.

No obstante, se reconoce que algunas unidades no pertenecientes al SI todavía tienen un amplio uso en la literatura científica, técnica y comercial, y que algunas probablemente seguirán siendo usadas por muchos años. Otras unidades no pertenecientes al SI, por ejemplo las unidades de tiempo, son tan ampliamente usadas en la vida diaria, y están tan profundamente enraizadas en la historia y cultura humana, que seguirán siendo usadas en el futuro previsible. Por esas razones algunas de las más importantes unidades ajenas al SI se registran en las tablas a continuación.

La inclusión de tablas de unidades ajenas al SI en este texto no implica que se estimule el uso de las mismas. Excepto algunas pocas excepciones que se detallan más adelante, las unidades SI siempre deben preferirse a las unidades ajenas al SI. Es deseable evitar la combinación de unidades ajenas al SI con unidades SI, en particular la combinación de tales unidades con unidades SI para formar unidades compuestas debe restringirse a casos especiales para conservar la ventaja de la coherencia que confiere el uso de las unidades SI.

#### 4.1 Unidades usadas con el SI

El CIPM (1969), reconociendo el hecho que algunos usuarios desearían usar el SI junto con unidades que no son parte del mismo, pero que son importantes y ampliamente usadas, había reconocido tres categorías de unidades ajenas al SI: unidades que deberían ser mantenidas, otras que deberían ser aceptadas temporalmente, y otras que deben ser evitadas. Revisando esta clasificación el CIPM (1996) acordó una nueva clasificación de las unidades ajenas al SI: unidades aceptadas para su uso con el SI, Tabla 6; unidades aceptadas para uso con el SI cuyos valores se obtienen experimentalmente, Tabla 7; y otras unidades actualmente aceptadas para su uso con el SI para la satisfacción de necesidades especiales, Tabla 8.

En la tabla 6 figuran las unidades ajenas al SI que son aceptadas para su uso con el SI. Incluye unidades que son de uso diario y continuo, en particular las unidades tradicionales de tiempo y de ángulo, junto con algunas otras unidades que han tomado una importancia creciente desde el punto de vista técnico.

**Tabla 6 . Unidades ajenas al SI aceptadas para su uso con el Sistema Internacional**

Nombre	símbolo	valor en unidades SI
minuto	min	1 min = 60 s
hora <sup>(a)</sup>	h	1 h = 60 min = 3600 s
día	d	1 d = 24 h = 86 400 s
grado <sup>(b)</sup>	°	1° = (π / 180 ) rad
minuto	′	1′ = (1 / 60 )° = (π / 10 800 ) rad
segundo	″	1″ = (1 / 60 )′ = ( π / 648 000 ) rad
litro <sup>(c)</sup>	l, L	1 l = 1 dm <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
tonelada <sup>(d,e)</sup>	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg
neper <sup>(f,h)</sup>	Np <sup>(i)</sup>	1 Np = 1
bel <sup>(g,h)</sup>	B	1 B = (1/2) ln 10 (Np)

- (a) el símbolo de esta unidad se incluye en la Resolución 7 de la 9ª. CGPM (1948; CR, 70).
- (b) ISO 31 recomienda que el grado se subdivida decimalmente en lugar de usar minutos y segundos.
- (c) Esta unidad y el símbolo l fueron adoptados por la CIPM en 1879 (PV, 1879, 41). El símbolo alternativo L fue adoptado por la 16ª. CGPM (1979, Resolución 6; CR, 101 y *Metrologia*, 1980, 16, 56 – 57) con el objeto de evitar el riesgo de confusión entre la letra l y el número 1.
- (d) Esta unidad y su símbolo fueron adoptados por el CIPM en 1879 (PV, 1879, 41).
- (e) En algunos países de habla inglesa esta unidad se denomina ‘tonelada métrica’.
- (f) El neper se utiliza para expresar valores de magnitudes logarítmicas tales como nivel de campo, nivel de potencia, nivel de presión sonora, y decremento logarítmico. Los logaritmos naturales se usan para obtener los valores numéricos de las magnitudes expresadas en nepers. El neper es coherente con el SI, pero aún no fue adoptado por el CGPM como una unidad SI. Para más información ver la Norma Internacional ISO 31.
- (g) El bel se utiliza para expresar valores de magnitudes logarítmicas tales como nivel de campo, nivel de potencia, nivel de presión sonora y atenuación. Se utilizan logaritmos de base 10 para obtener los valores numéricos de magnitudes expresadas en bels. El submúltiplo decibel, dB, se utiliza habitualmente. Para más información ver la Norma Internacional ISO 31.
- (h) Cuando se utilizan estas unidades es particularmente importante que se especifique la magnitud. La unidad no debe ser usada para implicar la magnitud.
- (i) Np se encierra entre paréntesis porque, a pesar de que el neper es coherente con el SI, no ha sido aún adoptado por la CGPM.

La Tabla 7 registra unidades ajenas al SI que también se aceptan para uso con el SI, cuyos valores expresados en unidades SI deben obtenerse experimentalmente y que por lo tanto no son conocidos exactamente. Sus valores de proporcionan junto con sus desviaciones estandar combinadas (factor de cobertura  $k = 1$ ), las que se aplican a los últimos dos dígitos, mostrados en paréntesis. Esas unidades son de uso común en ciertos campos de especialización.

**Tabla 7 . Unidades ajenas al SI aceptadas para uso con el Sistema Internacional, cuyos valores en unidades SI se obtienen experimentalmente**

Nombre	símbolo	definición	valor en unidades SI
electronvolt <sup>(a)</sup>	eV	(b)	1 eV = 1.602 177 33 (49) x 10 <sup>-19</sup> J
unidad de masa atómica unificada <sup>(a)</sup>	u	(c)	1 u = 1.660 540 2 (10) x 10 <sup>-27</sup> kg
unidad astronómica <sup>(a)</sup>	ua	(d)	1 ua = 1.495 978 706 91 (30) x 10 <sup>11</sup> m

(a) los valores del electronvolt y de la unidad de masa atómica unificada están tomados de *CODATA Bulletin*, 1986, no. 63. El valor dado para la unidad astronómica está tomado del *IERS Conventions* (1996), D.D. Mc Carthy ed., *IERS Technical Note 21*, Observatoire de Paris, Julio 1996.

(b) el electronvolt es la energía cinética adquirida por un electrón que atraviesa una diferencia de potencia de 1 V en vacío.

(c) la unidad de masa atómica unificada es igual a 1 / 12 de la masa de un átomo no ligado del nucleido <sup>12</sup>C, en reposo, y en su estado fundamental. En el campo de la bioquímica, la unidad de masa atómica unificada también recibe el nombre de dalton, símbolo Da.

(d) la unidad astronómica es una unidad de longitud aproximadamente igual a la distancia media entre el Sol y la Tierra. Su valor es tal que, cuando se usa para describir el movimiento de los cuerpos en el Sistema Solar, la constante gravitatoria heliocéntrica es (0.017 202 098 95)<sup>2</sup> ua<sup>3</sup> d<sup>-2</sup>.



En la Tabla 8 figuran otras unidades ajenas al SI que son usadas actualmente con el SI para satisfacer necesidades comerciales, legales e intereses científicos especializados. Esas unidades deben definirse en relación al SI en cada documento en las que sean usadas. Su aplicación no se aconseja.

**Tabla 8. Otras unidades ajenas al SI actualmente aceptadas para su uso con el Sistema Internacional**

Nombre	símbolo	valor en unidades SI
milla náutica <sup>(a)</sup>		1 milla náutica = 1852 m
nudo		1 milla náutica por hora = (1852/3600) m / s
área <sup>(b)</sup>	a	1 a = 1 dam <sup>2</sup> = 10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
hectárea	ha	1 ha = 1 hm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
bar <sup>(c)</sup>	bar	1 bar = 0.1 MPa = 100 kPa = 1000 hPa = 10 <sup>5</sup> Pa
ångstrom	Å	1 Å = 0.1 nm = 10 <sup>-10</sup> m
barn <sup>(d)</sup>	b	1 b = 100 fm <sup>2</sup> = 10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>

- (a) la milla náutica es una unidad especial empleada en navegación aérea y marina para expresar distancias. El valor convencional dado arriba fue adoptado por la Primera Conferencia Extraordinaria Hidrográfica Internacional, Mónaco, 1929, bajo el nombre 'milla náutica internacional'. Hasta el momento no hay un símbolo consensuado internacionalmente. Esta unidad fue en principio elegida porque una milla náutica subtiende un ángulo de un minuto en la superficie terrestre.
- (b) Las unidades área y hectárea y sus símbolos fueron adoptados por el CIPM en 1879 (PV, 1879, 41) y se usan para expresar superficies de campos.
- (c) El bar y su símbolo están incluidos en la Resolución 7 de la 9ª. CGPM (1948; CR, 70).
- (d) El barn es una unidad especial utilizada en física nuclear para expresar la sección eficaz.

## **4.2 Otras unidades ajenas al SI**

Otras unidades ajenas al SI son aún de uso ocasional. Algunas son importantes para la interpretación de textos científicos antiguos. Esas aparecen listadas en las Tablas 9 y 10, pero su uso no es aconsejado.

La Tabla 9 trata la relación entre las unidades CGS y las del SI, y registra aquellas unidades CGS a las que se les asignó nombres especiales. En el campo de la mecánica, el sistema de unidades CGS se construyó a partir de tres magnitudes y las unidades de base correspondientes: el centímetro, el gramo y el segundo. En el campo de la electricidad y el magnetismo, las unidades se expresaron en términos de esas tres unidades de base. Dado que esto puede realizarse de diferentes formas, se dio origen así a varios sistemas distintos, por ejemplo el Sistema Electrostático CGS, el Sistema Electromagnético CGS y el Sistema Gaussiano CGS. En los últimos tres sistemas mencionados, el sistema de magnitudes y el correspondiente sistema de ecuaciones difieren de aquellos usados con las unidades SI.

Tabla 9. Unidades CGS derivadas con nombres especiales

Nombre	símbolo	valor en unidades SI
erg <sup>(a)</sup>	erg	1 erg = 10 <sup>-7</sup> J
dina <sup>(a)</sup>	dyn	1 dyn = 10 <sup>-5</sup> N
poise <sup>(a)</sup>	P	1 P = 1 dyn . s / cm <sup>2</sup> = 0.1 Pa . s
stokes	St	1 St = 1 cm <sup>2</sup> / s = 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> / s
gauss <sup>(b)</sup>	G	1 Ga = 10 <sup>-4</sup> T
oersted <sup>(b)</sup>	Oe	1 Oe = (1000 / 4 π) A / m
maxwell <sup>(b)</sup>	Mx	1 Mx = 10 <sup>-8</sup> Wb
stilb <sup>(a)</sup>	sb	1 sb = 1 cd / cm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> cd / m <sup>2</sup>
phot	ph	1 ph = 10 <sup>4</sup> lx
gal <sup>(c)</sup>	Gal	1 Gal = 1 cm / s <sup>2</sup> = 10 <sup>-2</sup> m / s <sup>2</sup>

(a) esta unidad y su símbolo fueron incluidos en la Resolución 7 de la 9ª.CGPM (1948; CR, 70)

(b) esta unidad es parte del llamado sistema tridimensional 'electromagnético' CGS y no puede compararse estrictamente con la unidad correspondiente del Sistema Internacional, el cual tiene 4 dimensiones cuando se consideran solamente unidades mecánicas y eléctricas. Por esa razón esta unidad está vinculada a la unidad SI usando el símbolo matemático 'corresponde a' ( ).

(c) el gal es una unidad especial usada en geodesia para expresar la aceleración de la gravedad.

La Tabla 10 registra unidades habituales en textos antiguos. En textos actuales debe notarse que si se usaran esas unidades se perderían las ventajas del SI. La relación de estas unidades con el SI debe ser especificada en cada documento en el cual se las use.

**Tabla 10. Ejemplos de otras unidades ajenas al SI**

Nombre	símbolo	valor en unidades SI
curie <sup>(a)</sup>	Ci	1 Ci = 3.7 x 10 <sup>10</sup> Bq
roentgen <sup>(b)</sup>	R	1 R = 2.58 x 10 <sup>-4</sup> C / kg
rad <sup>(c,f)</sup>	rad	1 rad = 1 cGy = 10 <sup>-2</sup> Gy
rem <sup>(d,f)</sup>	rem	1 rem = 1 cSv = 10 <sup>-2</sup> Sv
unidad X <sup>(e)</sup>		1 unidad X = 1.002 x 10 <sup>-4</sup> nm
gamma <sup>(f)</sup>	ã	1 ã = 1 nT = 10 <sup>-9</sup> T
jansky	Jy	1 Jy = 10 <sup>-26</sup> W . m <sup>-2</sup> . Hz <sup>-1</sup>
fermi <sup>(f)</sup>		1 fermi = 1 fm = 10 <sup>-15</sup> m
quilate métrico <sup>(g)</sup>		1 quilate métrico = 200 mg = 2 x 10 <sup>-4</sup> g
torr	Torr	1 Torr = (101 325 / 760 ) Pa
atmósfera standard	atm <sup>(h)</sup>	1 atm = 101 325 Pa
caloría	cal	<sup>(i)</sup>
micrón <sup>(f)</sup>	ì <sup>(j)</sup>	1 ì = 1 ìm = 10 <sup>-6</sup> m

- (a) El curie es una unidad especial empleada en física nuclear para expresar la actividad de radionucleidos (12<sup>a</sup>. CGPM, 1964, Resolución 7; CR, 94).
- (b) El roentgen es una unidad especial empleada para expresar exposición a la radiación X o ã.
- (c) El rad es una unidad especial empleada para expresar la dosis absorbida de radiación ionizante. Cuando hay riesgo de confusión con el símbolo de radián, se puede usar rd como símbolo para el rad.
- (d) El rem es una unidad empleada en radioprotección para expresar dosis equivalente
- (e) La unidad X se empleó para expresar las longitudes de onda de rayos X. Su relación con la unidad SI es aproximadamente 1.
- (f) Nótese que esta unidad ajena al SI es exactamente equivalente a una unidad SI con un prefijo de submúltiplo apropiado.
- (g) El quilate métrico fue adoptado por la 4<sup>a</sup>. CGPM en 1907 (CR, 89 – 91) para comercialización de diamantes, perlas y piedras preciosas.
- (h) Resolución 4 de la 10<sup>a</sup>. CGPM (1954; CR, 79). Todavía se acepta la designación ‘atmósfera estándar’ para una presión de referencia de 101 325 Pa.
- (i) Han habido en uso varias ‘calorías’:
- La caloría denominada ‘a 15 °C’: 1 cal<sub>15</sub> = 4.1855 J (valor adoptado por el CIPM en 1950; PV, 1950, 22, 79 – 80);
  - Una caloría denominada ‘IT’ (International Tables): 1 cal<sub>IT</sub> = 4.1868 J (5<sup>a</sup>. Conferencia Internacional sobre las Propiedades del Vapor, Londres, 1956);
  - Una caloría denominada ‘termoquímica’: 1 cal<sub>th</sub> = 4.184 J.
- (j) El micrón y su símbolo, adoptado por la CIPM en 1879 (PV, 1879, 41) y repetido en la Resolución 7 de la 9<sup>a</sup>. CGPM (1948; CR, 70) fueron abolidos por la 13<sup>a</sup>. CGPM (1967 – 1968, Resolución 7; CR, 105 y *Metrologia*, 1968, 4, 44).

## 5. La escritura de los nombres y símbolos del SI

### 5.1 Principios generales

Los principios generales para la escritura de números y símbolos de unidades fueron propuestos por primera vez por la 9ª. CGPM (1948, Resolución 7). Estos fueron posteriormente adoptados y elaborados por ISO/TC 12 (ISO 31, Quantities and Units).

### 5.2 Símbolos de unidades SI

Los símbolos de las unidades SI (y también los símbolos de muchas unidades ajenas al SI) se escriben de la forma siguiente:

1. Tipo romano, normal para los símbolos de las unidades. En general, los símbolos de las unidades se escriben en minúscula, pero si el nombre de la unidad se deriva del nombre propio de una persona, la primera letra del símbolo es mayúscula. Cuando el nombre de la unidad se deletrea, siempre se escribe en minúscula, excepto cuando el nombre es la primera palabra de una frase o cuando es el nombre 'grado Celsius'.
2. Los símbolos no se pluralizan.
3. Los símbolos de las unidades no se siguen de un punto aparte, excepto cuando esa es la puntuación normal al final de una frase

### 5.3 Algebra de los símbolos de las unidades SI

De acuerdo con los principios generales adoptados por ISO/TC 12 (ISO 31), el CIPM recomienda que las expresiones algebraicas que involucren a los símbolos de las unidades SI se expresen de formas estandar.

1. Para expresar una unidad derivada formada por otras dos o más unidades por multiplicación se usa el punto a media altura o el espacio.

*Ejemplos:*  $N \cdot m$  o  $N m$

2. Una barra oblicua, /, una línea horizontal, o un exponente negativo deben ser usados para expresar una unidad derivada formada por otras dos unidades por división.

*Ejemplos:*  $m / s$  o  $m \cdot s^{-1}$

3. La barra oblicua no se sigue por un signo de multiplicación o de división en la misma línea a menos que la ambigüedad se evite por el uso de paréntesis. En casos complicados, se utilizan exponentes negativos o paréntesis para evitar ambigüedades.

*Ejemplos*  $m / s^2$  o  $m \cdot s^{-2}$  pero no  $m/s/s$

$m \cdot kg / (s^3 \cdot A)$  o  $m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$  pero ni  $m \cdot kg/s^3/A$  ni  $m \cdot kg /s^3 \cdot A$

## 5.4 Reglas para usar prefijos SI

De acuerdo con los principios generales adoptados por ISO (ISO 31), el CIPM recomienda que se observen las siguientes reglas para el uso de los prefijos SI:

1. Los prefijos de los símbolos se escriben en tipo romano normal sin dejar espacios entre el prefijo del símbolo y el símbolo de la unidad.
2. La agrupación formada por el prefijo del símbolo agregado al símbolo de la unidad constituye un nuevo símbolo inseparable (de un múltiplo o submúltiplo de la unidad considerada), el cual puede ser elevado a una potencia positiva o negativa y combinado con otros símbolos de unidad para formar símbolos compuestos de unidades.

*Ejemplo:*

$$\begin{aligned}1 \text{ cm}^3 &= (10^{-2} \text{ m})^3 = 10^{-6} \text{ m}^3 \\1 \text{ ks}^{-1} &= (10^3 \text{ s})^{-1} = 10^{-3} \text{ s}^{-1} \\1 \text{ V/cm} &= (1 \text{ V}) / (10^{-2} \text{ m}) = 10^2 \text{ V/m} \\1 \text{ cm}^{-1} &= (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1}\end{aligned}$$

3. Los símbolos compuestos, esto es, prefijos formados por la yuxtaposición de dos o más prefijos SI, no se utilizan.

*Ejemplo:*

1 nm *pero no* 1 m̀m

4. Nunca se utiliza un prefijo en forma aislada.

*Ejemplo:*

$10^6 / \text{m}^3$  *pero no* M /  $\text{m}^3$



## **Apéndice 1. Decisiones de la CGPM y del CIPM**

Este apéndice incluye las decisiones de la CGPM y del CIPM que conciernen directamente a las definiciones de las unidades del SI, los prefijos definidos para uso como parte del SI, y las convenciones para la escritura de símbolos de unidades y números. No es una lista completa de las decisiones del CGPM y del CIPM. Para una lista completa debe hacerse referencia a los volúmenes sucesivos de los *Comptes Rendus des Séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures* (CR) y *Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures* (PV), o para decisiones recientes, a *Metrologia*.

Dado que el SI no es una convención estática, sino que evoluciona siguiendo los desarrollos de la ciencia de la medición, algunas decisiones han caducado o han sido modificadas; otras han sido aclaradas por anexos. Las decisiones que han sido objeto de cambios de ese estilo se identifican con un asterisco (\*) y están vinculadas por una nota a la decisión modificatoria.

El texto original de cada decisión (o su traducción) se presenta en un estilo diferente para distinguirlo del texto principal. Los asteriscos y las notas han sido agregados por el BIPM para hacer más comprensible al texto. Ellos no forman parte del texto original.

### **1. Decisiones relativas al establecimiento del Sistema Internacional de Unidades, SI**

#### **1.1 Sistema Práctico de Unidades: establecimiento del SI**

- **9ª. CGPM, 1948, Resolución 6 (CR, 64): propuesta de establecimiento de un sistema práctico de unidades de medida**

La Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

#### **considerando**

Que el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) ha recibido el encargo por parte de la Unión Internacional de Física de adoptar para uso internacional un Sistema Internacional de Unidades Práctico; que la Unión Internacional de Física recomienda el sistema MKS y una unidad eléctrica del sistema práctico absoluto, pero no recomienda que el sistema CGS sea abandonado por los físicos;

Que el CGPM ha asimismo recibido por parte del gobierno francés un pedido similar, acompañado de un borrador para ser usado como base de discusión para el establecimiento de una especificación completa de unidades de medida;

#### **instruye al CIPM:**

- a requerir con una encuesta oficial enérgica y activa, la opinión de círculos científicos, técnicos y educativos de todos los países (ofreciéndoles, de hecho, el documento francés como base);

- a reunir y estudiar las respuestas;
- a elaborar recomendaciones para un sistema práctico único de unidades de medida, adecuado para su adopción por todos los países que adhieren a la Convención del Metro.
- **10ª. CGPM, 1954, Resolución 6 (CR, 80): sistema práctico de unidades**

De acuerdo con el deseo expresado por la 9ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) en su Resolución 6 relativa al establecimiento de un sistema práctico de unidades de medida para uso internacional, la 10ª. CGPM decide adoptar como unidades de base del sistema, las siguientes unidades:

longitud	metro
masa	kilogramo
tiempo	segundo
corriente eléctrica	ampère
temperatura termodinámica	grado Kelvin
intensidad luminosa	candela

## 1.2 El SI

- **CIPM, 1956, Resolución 3 (PV, 25, 83): Sistema Internacional de Unidades**

El Comité Internacional de Pesas y Medidas,

### **considerando**

- La tarea encomendada por la Resolución 6 de la 9ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) relativa al establecimiento de un sistema práctico de unidades de medida adecuado para su adopción por todos los países que adhieren a la Convención del Metro,
- Los documentos recibidos por parte de 21 países en respuesta a la encuesta requerida por la 9ª. CGPM,
- La Resolución 6 de la 10ª. CGPM, fijando las unidades de base del sistema a ser establecido,

### **recomienda**

1. Que el nombre 'Sistema Internacional de Unidades' se asigne al sistema fundado en las unidades de base adoptadas por la 10ª. CGPM (a esto se sigue la lista de las 6 unidades de base con sus símbolos, reproducida en la Resolución 12 de la 11ª. CGPM (1960) ).
2. Que se utilicen las unidades listadas en la tabla a continuación, sin excluir otras que pudieran ser agregadas posteriormente ( a ésto se sigue la tabla de unidades reproducida en el parágrafo 4 de la Resolución 12 de la 11ª. CGPM (1960)).

- **11ª. CGPM, 1969, Resolución 12 (CR, 87): Sistema Internacional de Unidades**

La 11ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

**considerando**

- La Resolución 6 de la 10ª. CGPM, por la cual se adoptan 6 unidades de base sobre las cuales se establece un sistema práctico de medición para uso internacional:

longitud	metro	m
masa	kilogramo	kg
tiempo	segundo	s
corriente eléctrica	ampère	A
temperatura termodinámica	grado Kelvin	°K
intensidad luminosa	candela	cd

- La Resolución 3 adoptada por el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) en 1956,
- Las recomendaciones adoptadas por el CIPM en 1958 relativas a la abreviatura del nombre del sistema, y los prefijos para formar los múltiplos y submúltiplos de las unidades,

**decide**

1. El sistema fundado en las 6 unidades de base anteriores se llama ‘Sistema Internacional de Unidades’;
2. La abreviatura internacional del nombre del sistema es: SI;
3. Los nombres de los múltiplos y submúltiplos de las unidades se forman por medio de los siguientes prefijos:

Factor multiplicativo	prefijo	símbolo	factor multiplicativo	prefijo	símbolo
$10^{12}$	tera	T	$10^{-1}$	deci	d
$10^9$	giga	G	$10^{-2}$	centi	c
$10^6$	mega	M	$10^{-3}$	mili	m
$10^3$	kilo	k	$10^{-6}$	micro	ì
$10^2$	hecto	h	$10^{-9}$	nano	n
$10^1$	deca	da	$10^{-12}$	pico	p

4. Las unidades que se registran a continuación se usan en el sistema, sin excluir otras que pudieran ser agregadas posteriormente.

#### *Unidades suplementarias*

Angulo plano	radián	rad
Angulo sólido	estereoradián	sr

#### *Unidades derivadas*

área	metro cuadrado		$m^2$
volumen	metro cúbico	$m^3$	
frecuencia	hertz	Hz	1 / s
densidad de masa (densidad)	kilogramo po metro cúbico		$kg / m^3$
rapidez, velocidad	metro por segundo		m / s
velocidad angular	radián por segundo		rad / s
aceleración	metro por segundo cuadrado		$m / s^2$
aceleración angular	radián por segundo cuadrado		$rad / s^2$
fuerza	newton	N	$kg \cdot m / s^2$
presión (tensión mecánica)	newton por metro cuadrado		$N / m^2$
viscosidad cinemática	metro cuadrado por segundo		$m^2 / s$
viscosidad dinámica	newton-segundo por metro cuadrado		$N \cdot s / m^2$
trabajo, energía, cantidad de calor	joule	J	$N \cdot m$
potencia	watt	W	J / s
cantidad de electricidad	coulomb	C	A · s
tensión (voltaje), diferencia de potencial, fuerza electromotriz	volt	V	W / A
fuerza de campo eléctrico	volt por metro		V / m
resistencia eléctrica	ohm	Ù	V / A
capacitancia	farad	F	$A \cdot s / V$
flujo magnético	weber	Wb	V · s
inductancia	henry	H	$V \cdot s / A$
densidad de flujo magnético	tesla	T	$Wb / m^2$
fuerza de campo magnético	ampère por metro		A / m
fuerza magnetomotriz	ampère		A
flujo luminoso	lumen	lm	cd · sr
luminancia	candela por metro cuadrado		$cd / m^2$
iluminancia	lux	lx	$lm / m^2$

- **CIPM, 1969, Recomendación 1** (PV, 37, 30 y *Metrologia*, 1970, 6,66): **Sistema Internacional de Unidades, Reglas para aplicación de la Resolución 12 de la 11ª. CGPM (1960)**

El Comité Internacional de Pesas y Medidas,

**considerando** que la Resolución 12 de la 11ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) (1960), concerniente al Sistema Internacional de Unidades, ha provocado discusiones sobre algunos de sus aspectos,

**declara**

1. Las unidades de base, las unidades suplementarias y las unidades derivadas del Sistema Internacional de Unidades, las cuales forman un conjunto coherente, se denotan con el nombre 'unidades SI';
2. Los prefijos adoptados por el CGPM para la formación de los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI se denominan 'prefijos SI';

y recomienda

3. El uso de las unidades SI y sus múltiplos y submúltiplos cuyos nombres se forman por medio de los prefijos SI.

Nota: el nombre 'unidades suplementarias', que aparece en la Resolución 12 de la 11ª. CGPM (y en la presente Recomendación) se otorga a las unidades SI sobre las cuales la Conferencia General declina declarar si son unidades de base o derivadas.

## **2. Decisiones relativas a las unidades de base del Sistema Internacional**

### **2.1 Longitud**

- **La 1ª. CGPM, 1889** (CR, 34 – 38 ): **sanción de los prototipos internacionales del metro y del kilogramo**

La Conferencia General de Pesas y Medidas,

**Considerando**

- El 'Compte Rendu del Presidente del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM)' y el 'Report of the CIPM', los cuales muestran que, por la colaboración de la sección francesa de la Comisión Internacional del Metro y del CIPM, se han realizado las mediciones fundamentales del prototipo internacional y de los prototipos nacionales del metro y del kilogramo con toda la exactitud y confiabilidad que permite el estado actual de la ciencia;

- que el prototipo internacional y los prototipos nacionales del metro y del kilogramo están hechos de una aleación de platino con 10 por ciento de iridio, dentro de un 0.0001;
- la igualdad en longitud del Metro Internacional y la igualdad en masa del kilogramo internacional con la longitud del metro y la masa del kilogramo mantenidos en los archivos de Francia;
- que las diferencias entre los metros nacionales y el metro internacional están dentro del 0.01 de milímetro y que esas diferencias están basadas en una escala termométrica de hidrógeno, la cual puede ser siempre reproducida gracias a la estabilidad del hidrógeno, asumiendo que se verifican condiciones idénticas;
- que las diferencias entre los kilogramos nacionales y el kilogramo internacional están dentro del miligramo;
- que el metro internacional y el kilogramo y los metros nacionales y kilogramos cumplen con los requisitos de la Convención del Metro,

### **sanciona**

#### A. Referente a prototipos internacionales:

1. El prototipo del metro elegido por el CIPM. Este prototipo, a la temperatura del hielo fundente, de aquí en más representará la unidad métrica de longitud.
2. El prototipo del kilogramo adoptado por el CIPM. Este prototipo de aquí en más será considerado como la unidad de masa.
3. El termómetro de hidrógeno de escala centígrada en términos del cual se han establecido las ecuaciones para los prototipos del metro.

#### B. Referente a prototipos nacionales:

- **7ª. CGPM, 1927 (CR, 49): definición del metro por el Prototipo Internacional**

La unidad de longitud es el metro, definido como la distancia, a 0°, entre los ejes de las dos líneas centrales marcadas en la barra de platino-iridio mantenida en el Bureau Internationale des Poids et Mesures y declarada Prototipo del metro por la 1ª. Conferencia General de Pesas y Medidas, esta barra está sujeta a una presión atmosférica normal y soportada por dos cilindros de al menos 1 centímetro de diámetro, ubicados simétricamente en el mismo plano horizontal a una distancia de 571 mm uno del otro.

- **11ª. CGPM, 1960, Resolución 6 (CR, 85): definición del metro**

La 11ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

### **considerando**

- que el prototipo internacional no define el metro con una exactitud adecuada a las necesidades actuales de la metrología,
- que es por otra parte deseable adoptar un patrón natural e indestructible,

## decide

1. el metro es la longitud igual a 1 650 763,73 longitudes de onda en vacío de la radiación correspondiente a la transición entre los niveles  $2p_{10}$  y  $5d_5$  del átomo de kriptón 86.
  2. Se deroga la definición del metro en vigencia desde 1889, basada en el prototipo internacional de platino-iridio.
  3. El prototipo internacional del metro sancionado por la 1ª. CGPM en 1889 será mantenido en el BIPM bajo las condiciones especificadas en 1889.
- **15ª. CGPM, 1975, Resolución 2** (CR, 103, y *Metrologia*, 1975,11, 179 – 180 ): **valor recomendado para la velocidad de la luz**

La 15ª. Conferencia General de Pesas y Medidas,

**considerando** el excelente acuerdo entre los resultados de mediciones de longitud de onda de las radiaciones de lasers fijados en una línea de absorción molecular en la región visible o infrarroja, con una incertidumbre estimada en  $\pm 4 \times 10^{-9}$  la cual corresponde a la incertidumbre en la realización del metro,

**considerando** también las mediciones concordantes de frecuencias de varias de esas radiaciones,

**recomienda** el uso del valor resultante para la velocidad de propagación de ondas electromagnéticas en vacío  $c = 299\,792\,458$  metros por segundo.

- **17ª. CGPM, 1983, Resolución 1** (CR, 97, y *Metrologia*, 1984, 20, 25): **definición del metro**

La 17ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

## considerando

- que la presente definición no permite una realización suficientemente precisa del metro para todos los requerimientos,
- que el progreso alcanzado en la estabilización de lasers permite obtener radiaciones que son más reproducibles y fáciles de usar que la radiación estandar emitida por la lámpara de kriptón 86,
- que el progreso logrado en la medición de frecuencia y longitud de onda de esas radiaciones resultó en determinaciones concordantes de la velocidad de la luz, cuya exactitud está limitada principalmente por la realización de la presente definición del metro,
- que las longitudes de onda determinadas por mediciones de frecuencias y un dado valor de la velocidad de la luz tienen una reproducibilidad superior a la que puede ser obtenida por comparación con la longitud de onda de la radiación standard de kriptón 86,
- que es ventajoso, particularmente para la astronomía y la geodesia, el mantener sin cambios el valor de la velocidad de la luz recomendado en 1975 por la 15ª. CGPM en su Resolución 2 ( $c = 299\,792\,458$  m/s),

- que una nueva definición del metro ha sido considerada de varias formas, todas las cuales tienen el efecto de asignar a la velocidad de la luz un valor exacto, igual al valor recomendado, y que esto no introduce una discontinuidad apreciable en la unidad de longitud, tomando en cuenta la incertidumbre relativa de  $\pm 4 \times 10^{-9}$  de las mejores realizaciones de la presente definición del metro,
- que esas varias formas, ya sea que hagan referencia al camino recorrido por la luz en un intervalo especificado de tiempo, o a la longitud de onda de la radiación de frecuencia medida o especificada, han sido objeto de consultas y profundas discusiones, han sido reconocidas como equivalentes y que ha habido consenso a favor de la primera forma,
- que el Comité Consultivo para la Definición del Metro (CCDM) está ahora en posición de dar instrucciones para la realización práctica de una definición tal, que podría incluir el uso de la radiación anaranjada de kriptón 86 utilizada como patrón hasta ahora, y la cual podría ser oportunamente extendida o revisada,

### decide

1. el metro es la longitud del camino recorrido por la luz en vacío durante un intervalo de tiempo de  $1/299\,792\,458$  de segundo.
  2. La definición del metro en vigencia desde 1960, basada en la transición entre los niveles  $2p_{10}$  y  $5d_5$  del átomo de kriptón 86, queda derogada.
- **17ª. CGPM, 1983, Resolución 2** (CR, 98 y *Metrologia*, 1984, **20**, 25 – 26): **sobre la realización de la definición del metro**

la 17ª. Conferencia General de Pesas y Medidas

**invita** al Comité Internacional de Pesas y Medidas

- a redactar instrucciones para la realización práctica de la nueva definición del metro,
- a elegir radiaciones que puedan recomendarse como patrones de longitud de onda para la medición interferométrica de longitud, y esbozar instrucciones para su uso,
- a proseguir los estudios tendientes a mejorar esos patrones.

### 2.2 Masa

- **1ª. CGPM, 1889** (CR, 34 – 38 ): **sanción de los prototipos internacionales del metro y del kilogramo**

(ver anterior)

- **3ª. CGPM, 1901** (CR, 70): **declaración de la unidad de masa y de la definición de peso; valor convencional de  $g_n$**

**Tomando en cuenta** la decisión del Comité Internacional de Pesas y Medidas del 15 de Octubre de 1887, según la cual el kilogramo se definió como la unidad de masa;



**tomando en cuenta** la decisión contenida en la sanción de los prototipos del Sistema Métrico, unánimemente aceptada por la Conferencia General de Pesas y Medidas el 26 de Setiembre de 1889;

**considerando** la necesidad de terminar con la ambigüedad que todavía existe en la práctica corriente sobre el significado de la palabra peso, usada a veces como masa, a veces como fuerza mecánica;

La Conferencia declara

1. el kilogramo es la unidad de masa; es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo;
2. la palabra 'peso' denota una magnitud de la misma naturaleza que 'fuerza': el peso de un cuerpo es el producto de su masa y la aceleración de la gravedad; en particular el peso normal de un cuerpo es el producto de su masa y la aceleración normal de la gravedad;
3. el valor adoptado por el Servicio Internacional de Pesas y Medidas para la aceleración standard debida a la gravedad es  $980.665 \text{ cm/s}^2$ , valor ya declarado en la legislación de algunos países.

- **CIPM, 1967, Recomendación 2** (PV, 35, 29 y *Metrologia*, 1968, 4, 45): **múltiplos y submúltiplos decimales de la unidad de masa**

El Comité Internacional de Pesas y Medidas,

**considerando** que la regla para la formación de los nombres de los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades del parágrafo 3 de la Resolución 12 de la 11ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) (1960) podría ser interpretada de diferentes maneras cuando es aplicada a la unidad de masa,

**declara** que las reglas de la Resolución 12 de la 11ª. CGPM se aplican al kilogramo de la siguiente manera: los nombres de los múltiplos y submúltiplos decimales de la unidad de masa se forman agregando prefijos a la palabra 'gramo'.

### 2.3 Tiempo

- **CIPM, 1956, Resolución 1** (PV, 25, 77): **definición de la unidad de tiempo (segundo)**

En virtud de las facultades otorgadas por la Resolución 5 de la 10ª. Conferencia General de Pesas y Medidas, el Comité Internacional de Pesas y Medidas,

**considerando**

1. que la 9ª. Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional (Dublín, 1955) se declaró a favor de vincular el segundo al año trópico,
2. que de acuerdo a las decisiones de la 8ª. Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional (Roma, 1952), el segundo del tiempo de las efemérides (ET) es la fracción  $12\,960\,276\,813 / 408\,986\,496 \times 10^{-9}$  del año trópico desde Enero 0 de 1900 a las 12 h ET,

**decide** 'el segundo es la fracción  $1 / 31\,556\,925.9747$  del año trópico para Enero 0 de 1900 a 12 horas tiempo de las efemérides'.

- **11ª. CGPM, 1960, Resolución 9 (CR, 86): definición de la unidad de tiempo (segundo)**

La 11ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

**considerando**

- las facultades atribuidas por el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) por la 10ª. CGPM para definir la unidad fundamental de tiempo,
- la decisión tomada por el CIPM en 1956,

**ratifica** la siguiente definición:

'el segundo es la fracción  $1 / 31\,556\,925.9747$  del año trópico para Enero 0 de 1900 a las 12 horas tiempo de las efemérides'.

- **12ª. CGPM, 1964, Resolución 5 (CR, 93): patrón atómico de frecuencia**

La 12ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

**considerando**

- que la 11ª. CGPM notó en su Resolución 10 la urgencia, en el interés de la exactitud de la metrología, de adoptar un patrón atómico o molecular de intervalo de tiempo,
- que a pesar de los resultados ya obtenidos con los patrones atómicos de frecuencia de cesio, todavía no es oportuno que el CGPM adopte una nueva definición del segundo, unidad de base del Sistema Internacional de Unidades, debido a las nuevas y considerables mejoras que son de esperar en el trabajo actualmente en progreso,

**considerando también** que no es deseable esperar más antes de basar la medición física del tiempo en patrones atómicos o moleculares de frecuencia,

**confiere** al Comité Internacional de Pesas y Medidas la facultad de definir los patrones atómicos o moleculares de frecuencia que serán empleados en forma transitoria,

**requiere** de las organizaciones y laboratorios conocidos en este campo que prosigan el trabajo vinculado a la nueva definición del segundo.

- **Declaración del CIPM, 1964 (PV, 32, 26 y CR, 93)**

El Comité Internacional de Pesas y Medidas,

**Encomendado** por la Resolución 5 de la 12<sup>a</sup>. Conferencia General de Pesas y Medidas para definir patrones atómicos o moleculares de frecuencia para uso transitorio en las mediciones del tiempo en la física,

**Declara** que el patrón a ser utilizado es la transición entre los niveles hiperfinos  $F = 4, M = 0$  y  $F = 3, M = 0$  del estado base  $^2S_{1/2}$  del átomo de cesio 133, no perturbado por campos externos, y que a la frecuencia de esa transición debe asignársele el valor 9 192 631 770 hertz.

- **13<sup>a</sup>. CGPM, 1967 – 1968 , Resolución 1** (CR, 103 y *Metrologia*, 1968, 4, 43): **unidad SI de tiempo (segundo)**

La 13<sup>a</sup>. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

#### **considerando**

- Que la definición del segundo adoptada por el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) en 1956 (Resolución 1) y ratificada por la Resolución 9 de la 11<sup>a</sup>. CGPM (1960), y posteriormente sostenida por la Resolución 5 de la 12<sup>a</sup>. CGPM (1964) es inadecuada para las presentes necesidades de la metrología,
- Que en su reunión de 1964 el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM), autorizado por la Resolución 5 de la 12<sup>a</sup>. CGPM (1964) recomendó, con el propósito de atender a esos requerimientos, un patrón de frecuencia atómico de cesio para uso temporario,
- Que ese patrón de frecuencia ha sido ahora suficientemente probado y encontrado suficientemente exacto para proporcionar una definición del segundo que satisfaga los requerimientos actuales,
- Que es oportuno reemplazar la definición actualmente en vigor de la unidad de tiempo del Sistema Internacional de Unidades por una definición atómica basada en ese patrón,

#### **decide**

1. La unidad SI de tiempo es el segundo definido como sigue:  
‘el segundo es la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado base del átomo de cesio 133’;
2. La resolución 1 adoptada por el CIPM en su reunión de 1956 y la Resolución 9 de la 11<sup>a</sup>. CGPM quedan ahora derogadas.

- **14<sup>a</sup>. CGPM, 1971, Resolución 1** (CR, 77 y *Metrologia*, 1972, 8, 35): **Tiempo Atómico Internacional, función del CIPM**

La 14<sup>a</sup>. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

#### **considerando**

- que el segundo, unidad de tiempo del Sistema Internacional de Unidades, desde 1967 ha sido definido en términos de una frecuencia atómica natural, y ya no en términos de escalas de tiempo provistas por movimientos astronómicos,
- que la necesidad de una escala de Tiempo Atómico Internacional (TAI) es consecuencia de la definición atómica del segundo,
- que varias organizaciones internacionales han asegurado, y todavía aseguran exitosamente el establecimiento de escalas de tiempo basadas en movimientos astronómicos, particularmente gracias a los servicios permanentes de la Oficina Internacional de la Hora (BIH),
- que el BIH ha comenzado a establecer una escala atómica de tiempo de calidad reconocida y probada utilidad,
- que los patrones atómicos de frecuencia para la realización del segundo han sido considerados y deben seguir siendo considerados por el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) con la ayuda del Comité Consultivo, y que el intervalo unitario de la escala de Tiempo Atómico Internacional debe ser el segundo de acuerdo con su definición atómica,
- que todas las organizaciones científicas internacionales competentes y los laboratorios nacionales activos en este campo han expresado el deseo que el CIPM y el CGPM deberían dar una definición del Tiempo Atómico Internacional, y deberían contribuir al establecimiento de una escala de Tiempo Atómico Internacional,
- que la utilidad del Tiempo Atómico Internacional requiere de una coordinación estrecha con las escalas de tiempo basadas en movimientos astronómicos,

**requiere** al CIPM

1. dar una definición del Tiempo Atómico Internacional,
  2. seguir los pasos necesarios, en acuerdo con las organizaciones internacionales involucradas, para asegurar el mejor uso de la capacidad científica e instalaciones disponibles para realizar la escala de Tiempo Atómico Internacional y para satisfacer los requerimientos de los usuarios del Tiempo Atómico Internacional.
- **15ª. CGPM, 1975, Resolución 5** (CR, 104 y *Metrologia*, 1975, **11**, 180): **Tiempo Universal Coordinado (UTC)**

La 15ª. Conferencia General de Pesas y Medidas,

**considerando** que el sistema llamado ‘Tiempo Universal Coordinado’ (UTC) es ampliamente usado, que es difundido en muchas transmisiones radiales de señales de tiempo, y que esta amplia difusión pone a disposición de los usuarios no solamente patrones de frecuencia sino también el Tiempo Atómico Internacional y una aproximación al Tiempo Universal (el que también puede ser considerado como el tiempo solar medio),

**nota** que este Tiempo Universal Coordinado provee la base para el tiempo civil, el cual es de uso legal en muchos países,

**considera** que este uso debe ser fuertemente recomendado.

## 2.4 Corriente eléctrica

- **CIPM, 1946, Resolución 2 (PV, 20, 129 – 137): definiciones de unidades eléctricas**

4. (A) Definiciones de unidades mecánicas que se aplican en las definiciones de unidades eléctricas:

**Unidad de fuerza** – la unidad de fuerza (en el sistema MKS (metro, kilogramo, segundo)) es la fuerza que provee a una masa de 1 kilogramo una aceleración de 1 metro por segundo, por segundo.

**Joule** (unidad de energía o trabajo) – el joule es el trabajo realizado cuando el punto de aplicación de 1 unidad MKS de fuerza (newton) se desplaza una distancia de 1 metro en la dirección de la fuerza.

**Watt** (unidad de potencia) – el watt es la potencia que en 1 segundo proporciona un aumento de energía de 1 joule.

(B) Definiciones de unidades eléctricas. El Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) acepta las siguientes proposiciones que definen los valores teóricos de las unidades eléctricas:

**Ampère** (unidad de corriente eléctrica) – el ampère es la corriente continua que, si fuera mantenida en dos conductores rectos paralelos de longitud infinita, de sección circular despreciable, y ubicados a una distancia de 1 metro entre sí en vacío, produciría entre esos conductores una fuerza igual a  $2 \times 10^{-7}$  unidades MKS de fuerza (newton) por metro de longitud.

**Volt** (unidad de diferencia de potencial y de fuerza electromotriz) – el volt es la diferencia de potencial entre dos puntos de un alambre conductor que transporta una corriente continua de 1 ampère, cuando la potencia disipada entre esos puntos es igual a 1 watt.

**Ohm** (unidad de resistencia eléctrica) – el ohm es la resistencia eléctrica entre dos puntos de un conductor cuando una diferencia de potencial continua de 1 volt, aplicada a esos puntos, produce en el conductor una corriente de 1 ampère, no siendo el conductor objeto de ninguna fuerza electromotriz.

**Coulomb** (unidad de cantidad de electricidad) – el coulomb es la cantidad de electricidad transportada en 1 segundo por una corriente de 1 ampère.

**Farad** (unidad de capacitancia) – el farad es la capacitancia de un capacitor entre cuyas placas aparece una diferencia de potencial de 1 volt cuando es cargado con una cantidad de electricidad de 1 coulomb.

**Henry** (unidad de inductancia eléctrica) – el henry es la inductancia de un circuito cerrado en el cual se produce una fuerza electromotriz de 1 volt cuando la corriente eléctrica en el circuito varía uniformemente a una velocidad de 1 ampère por segundo.

**Weber** (unidad de flujo magnético) – el weber es el flujo magnético que, aplicado a un circuito de una vuelta, produciría en él una fuerza electromotriz de 1 volt si fuera reducido a cero uniformemente en 1 segundo.

- **14ª. CGPM, 1971 (CR, 78): pascal, siemens**

La 14ª Conferencia General de Pesas y Medidas adoptó los nombres especiales 'pascal' (símbolo Pa) para la unidad SI newton por metro cuadrado, y 'siemens' (símbolo S) para la unidad SI de conductancia eléctrica (recíproco del ohm).

## 2.5 Temperatura Termodinámica

- **9ª. CGPM, 1948, Resolución 3 (CR, 55 y 63): punto triple del agua; escala termodinámica con un único punto fijo; unidad de cantidad de calor (joule)**
  1. Con las técnicas actuales el punto triple de agua puede ser un punto termométrico de referencia con exactitud mayor que la que puede obtenerse con el punto de fusión del hielo. Por lo tanto el Comité Consultivo de Termometría y Calorimetría (CCTC) considera que el cero de la escala termodinámica centesimal debe definirse como la temperatura 0.0100 grados por debajo de la del punto triple del agua.
  2. El CCTC acepta el principio de una escala termodinámica absoluta con un único punto fijo fundamental, actualmente definido por el punto triple del agua pura, la temperatura absoluta del cual será fijada posteriormente. La introducción de esta nueva escala no afecta de ninguna manera el uso de la Escala Internacional, la cual sigue siendo la escala práctica recomendada.
  3. La unidad de cantidad de calor es el joule. [Nota: se requiere que los resultados de los experimentos calorimétricos sean expresados en lo posible en joules. Si los experimentos se realizan por comparación con el aumento de temperatura del agua (y si por alguna razón no se puede evitar el uso de la caloría) debe proveerse la información necesaria para la conversión a joules. El CIPM, bajo el asesoramiento del CCTC, debería preparar una tabla indicando, en joules por grado, los valores más exactos que puedan obtenerse a partir de experimentos sobre el calor específico del agua.]

Una tabla preparada como respuesta a este pedido fue aprobada y publicada por el CIPM en 1950 (PV, 22, 92).

- **CIPM, 1948 (PV, 21, 88) y 9ª. CGPM, 1948 (CR, 64): adopción del 'grado Celsius'**

De los tres nombres ('grado centígrado', 'grado centesimal', 'grado Celsius') propuestos para denotar el grado de temperatura, el CIPM ha elegido 'grado Celsius' (PV, 21, 88).

Este nombre también fue adoptado por la 9ª. CGPM (CR, 64).

- **10ª. CGPM, 1954, Resolución 3 (CR, 79): definición de la escala termodinámica de temperatura**

La 10ª. Conferencia General de Pesas y Medidas decide definir la escala termodinámica de temperatura eligiendo el punto triple del agua como el punto fijo fundamental, asignándole la temperatura de 273.16 grados Kelvin, exactamente.

- **10ª. CGPM, 1954, Resolución 4 (CR, 79): definición de la atmósfera estandar**

La 10ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), habiendo notado que la definición de la atmósfera estandar dada por la 9ª. CGPM en su definición de la Escala

Internacional de Temperatura llevó a algunos físicos a considerar que esa definición de la atmósfera standard era válida solamente para el trabajo de termometría de exactitud,

**Declara** que adopta, para uso general, la definición:

1 atmósfera estandar = 1 013 250 dinas por centímetro cuadrado, esto es, 101 325 newtons por metro cuadrado

- **13ª. CGPM, 1967 – 1968, Resolución 3** (CR, 104 y *Metrologia*, 1968, 4, 43): **unidad SI de temperatura termodinámica (kelvin)**

La 13ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

**considerando**

- que los nombres 'grado Kelvin' y 'grado', los símbolos '°K' y 'grad' y las reglas para su uso dadas por la Resolución 7 de la 9ª. CGPM (1948), en la Resolución 12 de la 11ª. CGPM (1960) y la decisión tomada por el Comité Internacional de Pesas y Medidas en 1962 (PV, 30, 27),
- que la unidad de temperatura termodinámica y la unidad de intervalo de temperatura son una sola unidad, la cual debería denotarse por un nombre único y un símbolo único,

**decide**

- Que la unidad de temperatura termodinámica se denote por el nombre 'kelvin' y su símbolo sea 'K';
- Que el mismo nombre y el mismo símbolo se utilicen para expresar un intervalo de temperatura;
- Que un intervalo de temperatura también pueda expresarse en grados Celsius;
- Que las decisiones mencionadas en el párrafo de apertura relativas al nombre de la unidad de temperatura termodinámica, su símbolo y la designación de la unidad para expresar un intervalo o diferencia de temperatura sean derogadas, pero que por el momento se permitan los usos que derivan de esas decisiones.
- **13ª- CGPM, 1967 – 1968, Resolución 4** (CR, 104 y *Metrologia*, 1968, 4, 43): **definición de la unidad SI de temperatura termodinámica (kelvin)**

La 13ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

Considerando que es útil formular más explícitamente la definición de la unidad de temperatura termodinámica contenida en la Resolución 3 de la 10ª. CGPM (1954), decide expresar esa definición como sigue:

'el kelvin, unidad de temperatura termodinámica, es la fracción  $1 / 273.16$  de la temperatura termodinámica del punto triple del agua'.

## 2.6 Cantidad de materia

- **14ª. CGPM, 1971, Resolución 3** (CR, 78 y *Metrologia*, 1972, **8**, 36): **unidad SI de cantidad de materia (mol)**

La 14ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

**considerando** la sugerencia de la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada, de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, y de la Organización Internacional de Standardización, relativas a la necesidad de definir una unidad de cantidad de materia,

### **decide**

1. el mol es la cantidad de materia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como hay átomos en 0.012 kilogramos de carbono 12; su símbolo es 'mol'.
2. Cuando se utiliza el mol, las entidades elementales deben especificarse y pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, otras partículas o grupos especificados de tales partículas.
3. El mol es una unidad de base del Sistema Internacional de Unidades.

## 2.7 Intensidad luminosa

- **CIPM, 1946, Resolución** (PV, 20, 119 – 122): **definiciones de unidades fotométricas**

...

4. las unidades fotométricas pueden definirse como sigue:

**Nueva candela** (unidad de intensidad luminosa) – el valor de la nueva candela es tal que la luminosidad del radiador total a la temperatura de solidificación del platino es 60 nuevas candelas por centímetro cuadrado.

**Nuevo lumen** (unidad de flujo luminoso) – el nuevo lumen es el flujo luminoso emitido en un ángulo sólido unitario (estereoradián) por una fuente puntual uniforme con una intensidad luminosa de 1 nueva candela.

5 ...

- **13ª. CGPM, 1967 – 1968, Resolución 5** (CR, 104 y *Metrologia*, 1968, **4**, 43 – 44): **unidad SI de intensidad luminosa (candela)**

La 13ª. Conferencia General de Pesas y Medias (CGPM),

### **considerando**



- la definición de la unidad de intensidad luminosa ratificada por la 9ª. CGPM (1948) y contenida en la 'Resolución relativa al cambio de unidades fotométricas' adoptada por el Comité Internacional de Pesas y Medidas en 1946 (PV, 20, 119) en virtud de las atribuciones conferidas por la 8ª. CGPM (1933),
- que su definición fija satisfactoriamente la unidad de intensidad luminosa, pero que su expresión textual puede ser objeto de crítica,

**decide** expresar la definición de la candela como sigue:

‘la candela es la intensidad luminosa, en la dirección perpendicular, de una superficie de 1 / 600 000 metros cuadrados de un cuerpo negro a la temperatura de solidificación del platino bajo una presión de 101 325 newtons por metro cuadrado’.

- **16ª. CGPM, 1979, Resolución 3** (CR, 100 y *Metrologia*, 1980, **16**, 56): **unidad SI de intensidad luminosa (candela)**

La 16ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

**considerando**

- que a pesar de los notables esfuerzos de algunos laboratorios aún persisten excesivas divergencias entre los resultados de las realizaciones de la candela basadas en el patrón primario actual de cuerpo negro,
- que las técnicas radiométricas están desarrollándose rápidamente, permitiendo precisiones que ya son equivalentes a las fotométricas, y que estas técnicas ya están en uso en laboratorios nacionales para realizar la candela sin tener que construir un cuerpo negro,
- que la relación entre las magnitudes luminosas de fotometría y las magnitudes radiométricas, esto es el valor de 683 lumens por watt para la eficacia de la radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  hertz ha sido adoptada por el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) en 1977,
- que este valor ha sido aceptado como suficientemente exacto para el sistema de magnitudes luminosas fotópicas, y que implica solamente un cambio de aproximadamente un 3 % para el sistema de unidades luminosas escotópicas, y que por lo tanto asegura una continuidad satisfactoria,
- que ha llegado el momento de dar a la candela una definición que permitirá una mejora tanto en su facilidad de realización como en la precisión de los patrones fotométricos, y que se aplique a magnitudes fotométricas fotópicas y escotópicas y a magnitudes aún sin definir en el campo mesópico,

**decide**

1. que la candela es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  hertz y que tiene una intensidad radiante en esa dirección de 1 / 683 watt por estereoradián.

2. La definición de la candela (en ese momento llamada nueva candela) adoptada por el CIPM en 1946 en razón de las atribuciones conferidas por la 8ª. CGPM en 1933, ratificada por la 9ª. CGPM en 1948, luego corregida por la 13ª. CGPM en 1967, queda derogada.

### 3. Decisiones relativas a las unidades SI derivadas y suplementarias

#### 3.1 Unidades SI derivadas

- **12ª. CGPM, Resolución 7 (CR, 94): curie**

La 12ª. Conferencia General de Pesas y Medidas,

**considerando** que el curie ha sido usado por largo tiempo en muchos países como unidad de actividad de radionucleidos,

**reconociendo** que en el Sistema Internacional de Unidades (SI) la unidad de esta actividad es el segundo a la potencia menos uno ( $s^{-1}$ ),

**acepta** que el curie se mantenga, fuera del SI, como unidad de actividad, con el valor  $3.7 \times 10^{10} s^{-1}$ . El símbolo de esta unidad es Ci.

#### **13ª. CGPM, 1967 – 1968, Resolución 6 (CR, 105 y *Metrologia*, 1968, 4, 44) : unidades SI derivadas**

La 13ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),  
Considerando que es útil agregar algunas unidades derivadas a la lista del parágrafo 4 de la Resolución 12 de la 11ª. CGPM (1960),

Decide agregar:

número de onda	1 por metro	$m^{-1}$
entropía	joule por kelvin	J / K
capacidad calorífica específica	joule por kilogramo kelvin	J / (kg · K)
conductividad térmica	watt por metro kelvin	W / ( m · K)
intensidad radiante	watt por estereoradián	W / sr
actividad (de una fuente radiactiva)	1 por segundo	$s^{-1}$

- **15ª. CGPM, 1975, Resoluciones 8 y 9 (CR, 105 y *Metrologia*, 1975, 11, 180): unidades SI para radiación ionizante (becquerel, gray)**

La 15ª. Conferencia General de Pesas y Medidas,

Debido a los apremiantes requerimientos, expresados por la Comisión Internacional de Medición y Unidades de Radiación (ICRU), de extender el uso del Sistema Internacional de Unidades a desarrollos y aplicaciones radiológicas,

Debido a la necesidad de hacer tan fácil como sea posible el uso de las unidades para los no especialistas,

tomando en consideración también los graves riesgos de errores en actividades terapéuticas,

**adopta** el nombre especial para la unidad SI de actividad:

*becquerel*, símbolo Bq, igual a 1 recíproco de segundo (Resolución 8),

**adopta** el siguiente nombre especial para la unidad SI de radiación ionizante:

*gray*, símbolo Gy, igual a 1 joule por kilogramo (Resolución 9 ).

Nota: el gray es la unidad SI de dosis absorbida. En el campo de la radiación ionizante el gray puede también usarse con otras magnitudes físicas que se expresan en joules por kilogramo: el Comité Consultivo de Unidades se hace responsable por estudiar este tema en colaboración con las organizaciones internacionales competentes.

- **16ª.CGPM, 1979, Resolución 5** (CR, 100 y *Metrologia*, 1980, **16**, 56): **nombre especial para la unidad SI de dosis equivalente (sievert)**

La 16ª. Conferencia General de Pesas y Medidas,

considerando

- el esfuerzo hecho en la introducción de unidades SI en el campo de las radiaciones ionizantes,
- el riesgo que tiene para los seres humanos una dosis subestimada de radiación, riesgo que podría resultar de la confusión entre dosis absorbida y dosis equivalente,
- que la proliferación de nombres especiales representa un peligro para el Sistema Internacional de Unidades y debe evitarse en todas las formas posibles, pero que esta es una regla que puede ser rota cuando está de por medio la salvaguardia de la salud humana,

**adopta** el nombre especial sievert, símbolo Sv, para la unidad SI de dosis equivalente en la campo de la radioprotección. El sievert es igual a un joule por kilogramo.

- **CIPM, 1984, Recomendación 1** (PV, 52, 31 y *Metrologia*, 1985, **21**, 90): **relativa al sievert**

El Comité Internacional de Pesas y Medidas,

**considerando** la confusión que continúa existiendo en el tema de la resolución 5, aprobada por la 16ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (1979),

decide introducir la siguiente explicación en el folleto 'El Sistema Internacional de Unidades (SI)':

La magnitud dosis equivalente  $H$  es el producto de la dosis absorbida  $D$  de radiación ionizante y los factores adimensionales  $Q$  (factor de calidad) y  $N$  (producto de cualesquiera otros factores multiplicativos) estipulados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica:

$$H = Q \cdot N \cdot D$$

Por lo tanto, para una radiación dada, el valor numérico de  $H$  en joules por kilogramo puede diferir del de  $D$  en joules por kilogramo dependiendo de los valores de  $Q$  y de  $N$ . Con el propósito de evitar cualquier riesgo de confusión entre la dosis absorbida  $D$  y la dosis equivalente  $H$ , se deben utilizar los nombres especiales para las unidades respectivas, esto es, el nombre gray debe usarse en lugar de joules por kilogramo para la unidad de dosis absorbida  $D$  y el nombre sievert en lugar de joules por kilogramo para la unidad de dosis equivalente  $H$ .

### 3.2 Unidades suplementarias SI

- **CIPM, 1980, Recomendación 1** (PV, 48, 24 y *Metrologia*, 1981, 17, 72): **unidades suplementarias SI (radián y estereoradián)**

El Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM),

Tomando en cuenta la Resolución 3 adoptada por ISO/TC 12 en 1978 y la Recomendación U1 (1980) adoptada por el Comité Consultivo de Unidades en su 7<sup>a</sup>. Reunión,

Considerando

- Que las unidades radián y estereoradián son habitualmente introducidas en expresiones de unidades cuando se requiere aclaración, especialmente en fotometría en donde el estereoradián juega un rol importante en distinguir entre unidades correspondientes a magnitudes diferentes,
- Que en las ecuaciones usadas generalmente se expresa el ángulo plano como el cociente de dos longitudes y el ángulo sólido como el cociente de un área y el cuadrado de una longitud, y por lo consiguiente esas magnitudes se tratan como magnitudes adimensionales,
- Que el estudio de los formalismos usados en el campo científico muestra que no existe ninguno que sea al mismo tiempo coherente y en el cual las magnitudes ángulo plano y ángulo sólido puedan ser consideradas como magnitudes de base,

considerando también

- Que la interpretación dada por la CIPM en 1969 para la clase de unidades suplementarias introducidas en la Resolución 12 de la 11<sup>a</sup>. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) en 1960 permite la libertad de tratar al radián y al estereoradián como unidades de base SI,

- Que tal posibilidad compromete la coherencia interna del SI basado en solamente siete unidades de base,

**decide** interpretar la clase de unidades suplementarias del Sistema Internacional como la clase de unidades derivadas adimensionales para las cuales el CGPM permite la libertad de utilizarlas o no en las expresiones de unidades derivadas SI.

- **20ª. CGPM, 1995, Resolución 8** (CR, 223 y *Metrologia*, 1996, **33**, 83): **eliminación de la clase de unidades suplementarias del SI**

La 20ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- que la 11ª. Conferencia General en 1960 en su Resolución 12 estableciendo el Sistema Internacional de Unidades, SI, distinguió entre tres clases de unidades SI: las unidades de base, las unidades derivadas y las unidades suplementarias, estas últimas comprendiendo el radián y el estereoradián,
- que el status de las unidades suplementarias, en relación con las unidades de base y con las unidades derivadas dio lugar a debate,
- que el Comité Internacional de Pesas y Medidas, en 1980, habiendo observado que el ambiguo status de las unidades suplementarias compromete la coherencia interna del SI, ha interpretado en su Recomendación 1 (CI-1980) las unidades suplementarias en el SI como unidades derivadas adimensionales,

aprobando la interpretación dada por el Comité Internacional en 1980,

**decide**

- interpretar las unidades suplementarias del SI, esto es el radián y el estereoradián, como unidades derivadas adimensionales, cuyos símbolos pueden, pero no necesariamente, ser usados en expresiones para otras unidades derivadas, según sea conveniente,
- y en consecuencia, eliminar la clase de las unidades suplementarias como una clase separada del SI.

#### **4. Decisiones concernientes a la terminología y la aceptación de unidades para uso con el SI**

##### **4.1 Prefijos SI**

- **12ª. CGPM, 1964, Resolución 8** (CR, 94): **prefijos SI femto y atto**

La 12ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM)

**decide** agregar a la lista de prefijos para la formación de los nombres de múltiplos y submúltiplos de unidades, adoptada por la 11ª. CGPM, Resolución 12, parágrafo 3, los siguientes dos nuevos prefijos:

Factor multiplicativo	prefijo	símbolo
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a

- **15ª. CGPM, 1975, Resolución 10** (CR, 106 y *Metrologia*, 1975, 11, 180 – 181): **prefijos SI peta y exa**

La 15ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM)

**decide** agregar a la lista de prefijos SI para usarse para múltiplos, la cual fue adoptada por la 11ª. CGPM, Resolución 12, parágrafo 3, los dos siguientes prefijos:

Factor multiplicativo	prefijo	símbolo
$10^{15}$	peta	P
$10^{18}$	exa	E

- **19ª. CGPM, 1991, Resolución 4** (CR, 185 y *Metrologia*, 1992, 29, 3): **prefijos SI zetta, zepto, yotta y yocto**

La 19ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM)

**decide** agregar a la lista de prefijos SI para ser usados para múltiplos y submúltiplos de unidades, adoptada por la 11ª. CGPM, Resolución 12, parágrafo 3, la 12ª. CGPM, Resolución 8 y la 15ª. CGPM, Resolución 10, los siguientes prefijos:

Factor multiplicativo	prefijo	símbolo
$10^{21}$	zetta	Z
$10^{-21}$	zepto	z
$10^{24}$	yotta	Y
$10^{-24}$	yocto	y

## 4.2 Símbolos de unidades y números

- **9ª. CGPM, 1948, Resolución 7** (CR, 70): **escritura e impresión de símbolos de unidades y de números**

### Principios

Tipo romano, normal, en general en minúsculas, para símbolos de unidades; no obstante, si los símbolos se derivan de nombres propios se utilizan tipos romanos mayúsculos. Esos símbolos no se siguen de un punto.

Para números, la coma (práctica francesa) o el punto (práctica británica) se utilizan para separar la parte entera de un número respecto de la parte decimal. Los números pueden dividirse en grupos de tres para facilitar su lectura, sin insertar ni puntos ni comas en los espacios entre grupos.

unidad	símbolo	unidad	símbolo
• metro	m	ampère	A
• metro cuadrado	m <sup>2</sup>	volt	V
• metro cúbico	m <sup>3</sup>	watt	W
• micrón	μ	ohm	Ω
• litro	l	coulomb	C
• gramo	g	farad	F
• tonelada	t	henry	H
segundo	s	hertz	Hz
erg	erg	poise	P
dina	dyn	newton	N
grado Celsius	°C		
		• candela	
		(nueva candela)	cd
• grado absoluto	°K	lux	lx
• caloría	cal	lumen	lm
bar	bar	stilb	sb
hora	h		

#### Notas

1. los símbolos cuyos nombres de unidad están precedidos por puntos son aquellos que ya han sido adoptados por una decisión del CIPM.
2. el símbolo del estereo, unidad de volumen de leña, será 'st' y no 's', la cual le había sido asignada previamente por el CIPM.
3. para indicar un intervalo o diferencia de temperatura, en lugar de temperatura, la palabra 'grado' o su abreviatura debe ser usada.

#### 4.3 Nombres de unidades

- **13<sup>a</sup>. CGPM, 1967 – 1968, Resolución 7 (CR, 105 y *Metrologia*, 1968, 4, 44): derogación de decisiones anteriores (micrón, nueva candela)**

La 13<sup>a</sup>. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

**considerando** que las decisiones subsecuentes de la Conferencia General relativas al Sistema Internacional de Unidades son incompatibles con partes de la Resolución 7 de la 9ª. CGPM (1948),

**decide** por lo tanto remover de la Resolución 7 de la 9ª. Conferencia:

1. el nombre de unidad 'micrón' y el símbolo 'μ', el cual había sido asignado a esa unidad pero el cual ahora se transforma en un prefijo;
2. el nombre de unidad 'nueva candela'.

### **Unidades aceptadas para uso con el SI; un ejemplo: el litro**

- **3ª. CGPM, 1901 (CR, 38 – 39): declaración concerniente a la definición del litro**

La conferencia declara

1. la unidad de volumen, para determinaciones de alta exactitud, es el volumen ocupado por una masa de 1 kilogramo de agua pura, a su máxima densidad y a presión atmosférica estandar, ese volumen se denomina 'litro'.
2. ...

- **11ª. CGPM, 1960, Resolución 13 (CR, 88): decímetro cúbico y litro**

La 11ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- que el decímetro cúbico y el litro no son iguales y difieren en alrededor de 28 partes en  $10^6$ ,
- que las determinaciones de magnitudes físicas que involucran mediciones de volumen se hacen más y más exactas, por lo tanto aumentando el riesgo de confusión entre el decímetro cúbico y el litro,

requiere que el Comité Internacional de Pesas y Medidas estudie el problema y entregue sus conclusiones a la 12ª. CGPM.

- **CIPM, 1961, Recomendación (PV, 29, 34): decímetro cúbico y litro**

El Comité Internacional de Pesas y Medidas recomienda que los resultados de mediciones exactas de volumen se expresen en unidades del Sistema Internacional y no en litros.

- **12ª. CGPM, 1964, Resolución 6 (CR, 93): litro**

La 12ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),



considerando que la Resolución 13 adoptada por la 11ª. CGPM en 1960 y la Recomendación adoptada por el Comité Internacional de Pesas y Medidas en 1961,

1. **deroga** la definición del litro dada en 1901 por la 3ª. CGPM,
  2. **declara** que la palabra 'litro' sea empleada como un nombre especial del decímetro cúbico,
  3. **recomienda** que el nombre litro no se emplee para informar resultados de mediciones de volumen de alta exactitud.
- **16ª. CGPM, 1979, Resolución 6 (CR, 101 y *Metrologia*, 1980, 16, 56 – 57): símbolos para el litro**

La 16ª. Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

**reconociendo** los principios generales adoptados para la escritura de los símbolos de las unidades en la Resolución 7 de la 9ª. CGPM (1948),

**considerando** que el símbolo l para la unidad litro fue adoptado por el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) en 1879 y confirmado en la misma Resolución de 1948,

**considerando** también que, con el objeto de evitar la confusión entre la letra l y el número 1, varios países han adoptado el símbolo L en lugar de l para la unidad litro,

**considerando** que el nombre litro, a pesar no estar incluido en el Sistema Internacional de Unidades, debe ser admitido para uso general con el Sistema,

**decide**, como una excepción, adoptar los dos símbolos l y L como símbolos para ser usados para la unidad litro,

**considerando** además que en el futuro solamente uno de esos dos símbolos deberá mantenerse,

**invita** al CIPM a seguir el desarrollo del uso de esos dos símbolos y a dar a la 18ª. CGPM su opinión sobre la posibilidad de suprimir uno de ellos.

### 3. El Sistema Internacional de Unidades

Suplemento 2000; agregados y enmiendas a la 7<sup>a</sup>. Edición (1998)

Página 95 (del documento original)

#### 2.1.1.3 Unidad de tiempo (segundo)

La nota referente a la definición del segundo debe leerse como sigue:

En su reunión de 1997, el CIPM afirmó que:

Esta definición se refiere al átomo de cesio en reposo a temperatura 0 K

Esta nota tuvo la intención de aclarar que la definición SI del segundo está basada en un átomo de Cs no perturbado por radiación de cuerpo negro, esto es, en un medio ambiente cuya temperatura es 0 K, y que las frecuencias de los patrones primarios de frecuencia deben por lo tanto corregirse por el desplazamiento debido a la radiación ambiente, como se enunció en la reunión de la CCTF en 1999.

Páginas 99 – 102 (del documento original)

Para tener en cuenta la adopción del katal por la 21<sup>a</sup>. Conferencia General en su reunión de Octubre de 1999, las siguientes secciones del folleto del SI se modifican como sigue:

#### 2.2.2 Unidades con nombres y símbolos especiales; unidades que incorporan unidades con nombres y símbolos especiales

Por conveniencia, ciertas unidades derivadas, que se registran en la Tabla 3, reciben nombres y símbolos especiales. Estos nombres y símbolos pueden asimismo ser usados para expresar otras unidades derivadas: la Tabla 4 muestra algunos ejemplos. Los nombres y símbolos especiales son una forma compacta de expresión de unidades de uso frecuente.

Entre esos nombres y símbolos, las cuatro últimas entradas de la Tabla 3 son de particular interés dado que fueron aceptadas por la 15<sup>a</sup>. CGPM (1975, Resoluciones 8 y 9; CR, 105 y *Metrologia*, 1975, 11, 180), la 16<sup>a</sup>. CGPM (1979, Resolución 5; CR, 100 y *Metrologia*, 1980, 16, 56) y la 21<sup>a</sup>. CGPM (1999, Resolución 12; CR) con el propósito específico de salvaguardar la salud humana.

En las Tablas 3 y 4 se muestra en la columna final cómo las unidades SI pueden expresarse en términos de las unidades de base SI. En esa columna, los factores tales como  $m^0$ ,  $kg^0$ , ..., los que son todos iguales a 1, no se muestran explícitamente.

Tabla 3. Unidades SI con nombres y símbolos especiales

Magnitud derivada	nombre	símbolo	Unidad derivada SI	
			Expresada en términos de otras unidades SI	Expresada en términos de otras unidades de base SI
ángulo plano	radián <sup>(a)</sup> (b)	rad		$m \cdot m^{-1} = 1$
ángulo sólido	estereoradián <sup>(a)</sup> (b)	sr <sup>(c)</sup>		$m^2 \cdot m^{-2} = 1$
frecuencia	hertz	Hz		$s^{-1}$
fuerza	newton	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
presión, esfuerzo	pascal	Pa	$N / m^{-2}$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
energía, trabajo, cantidad de calor	joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
potencia, flujo radiante	watt	W	$J / s$	$m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3}$
carga eléctrica, cantidad de electricidad	coulomb	C		$s \cdot A$
diferencia de potencial eléctrico, fuerza electromotriz	volt	V	$W / A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
capacitancia	farad	F	$C / V$	$m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^4$
resistencia eléctrica	ohm	$\Omega$	$V / A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
conductancia eléctrica	siemens	S	$A / V$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
flujo magnético	weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
densidad de flujo magnético	tesla	T	$Wb / m^2$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
inductancia	henry	H	$Wb / A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
temperatura Celsius	grado Celsius <sup>(d)</sup>	$^{\circ}C$		K
flujo luminoso	lumen	lm	$cd \cdot sr$ <sup>(c)</sup>	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd = cd$
iluminancia	lux	lx	$lm / m^2$	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd = m^{-2} \cdot cd$
actividad (de un radionucleído)	becquerel	Bq		$s^{-1}$
dosis absorbida, energía específica (impartida), kerma	gray	Gy	$J / kg$	$m^2 \cdot s^{-2}$
dosis equivalente, dosis equivalente ambiente, dosis equivalente direccional, dosis equivalente personal, dosis equivalente orgánica	sievert	Sv	$J / kg$	$m^2 \cdot s^{-2}$
actividad catalítica	katal	kat		$s^{-1} \cdot mol$

(e) puede ser ventajoso usar el radián y el esterorradián en expresiones de unidades derivadas para distinguir entre magnitudes de diferente naturaleza pero con la misma dimensión. Algunos ejemplos de su uso en la formación de unidades derivadas se dan en la Tabla 4.

(f) en la práctica, los símbolos rad y sr se usan cuando es apropiado, pero la unidad derivada '1' en combinación con un valor numérico en general se omite.

(g) en fotometría, generalmente el nombre esterorradián y el símbolo sr se mantienen en las expresiones de unidades.

(h) esta unidad puede usarse en combinación con prefijos SI, por ejemplo miligrado Celsius, m  $^{\circ}C$ .

Tabla 4. Ejemplos de unidades derivadas SI cuyos nombres y símbolos incluyen unidades derivadas SI con nombres y símbolos especiales

Magnitud derivada	Unidad derivada SI		
	nombre	símbolo	Expresada en términos de unidad de base SI
viscosidad dinámica	pascal segundo	Pa · s	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
momento de una fuerza	newton metro	N · m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
tensión superficial	newton por metro	N / m	$kg \cdot s^{-2}$
velocidad angular	radián por segundo	rad / s	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} = s^{-1}$
aceleración angular	radián por segundo cuadrado	rad / s <sup>2</sup>	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2} = s^{-2}$
densidad de flujo de calor, irradiancia	watt por metro cuadrado	W / m <sup>2</sup>	$kg \cdot s^{-3}$
capacidad calorífica, entropía	joule por kelvin	J / K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
capacidad calorífica específica, entropía específica	joule por kilogramo kelvin	J / (kg · K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
energía específica	joule por kilogramo	J / kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
conductividad térmica	watt por metro kelvin	W / (m · K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
densidad de energía	joule por metro cúbico	J / m <sup>3</sup>	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
fuerza de campo eléctrico	volt por metro	V / m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
densidad de carga eléctrica	coulomb por metro cúbico	C / m <sup>3</sup>	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
densidad de flujo eléctrico	coulomb por metro cuadrado	C / m <sup>2</sup>	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
permitividad	farad por metro	F / m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
permeabilidad	henry por metro	H / m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
energía molar	joule por mol	J / mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
entropía molar, capacidad calorífica molar	joule por mol kelvin	J / (mol · K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
exposición (rayos X y $\gamma$ )	coulomb por kilogramo	C / kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
tasa de dosis absorbida	gray por segundo	Gy / s	$m^2 \cdot s^{-3}$
intensidad radiante	watt por estereoradián	W / sr	$m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
radiancia	watt por metro cuadrado estereoradián	W / (m <sup>2</sup> · sr)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = kg \cdot s^{-3}$
(actividad) de concentración catalítica	katal por metro cúbico	kat / m <sup>3</sup>	$m^{-3} \cdot s^{-1} \cdot mol$

Una unidad SI puede corresponder a varias magnitudes diferentes, como se indicó en el párrafo 1.2. En la Tabla anterior, que no es exhaustiva, hay varios ejemplos. De esa forma el joule por kelvin (J / K) es la unidad SI para la magnitud capacidad calorífica así como para la magnitud entropía; también el ampère (A) es la unidad SI para la magnitud de base corriente eléctrica, así como para la magnitud derivada fuerza magnetomotriz. Por lo tanto es importante no usar la unidad aislada para especificar la magnitud. Esta regla se aplica no solamente a los textos científicos y técnicos sino también, por ejemplo, a los instrumentos de medición (esto es, un instrumento debería indicar la unidad y la magnitud medida).

Una unidad derivada puede ser expresada de varias formas combinando los nombres de las unidades de base con nombres especiales para unidades derivadas. Esto, no obstante, es una licencia algebraica que debe ser gobernada por consideraciones físicas de sentido común. El joule, por ejemplo, puede ser formalmente escrito como newton metro, o aún kilogramo metro cuadrado por segundo cuadrado, pero en dadas situaciones algunas formas pueden ser más útiles que otras.

En la práctica, para ciertas magnitudes se prefiere usar ciertos nombres de unidades especiales, o combinaciones de nombres de unidades, con el propósito de facilitar la distinción entre diferentes magnitudes que tienen la misma dimensión. Por ejemplo, la unidad SI de frecuencia es el hertz, en lugar del recíproco del segundo, y la unidad SI de velocidad angular es el radián por segundo en lugar del recíproco del segundo (en ese caso el retener la palabra radián enfatiza el hecho que la velocidad angular es igual a  $2\pi$  veces la frecuencia rotacional). Similarmente la unidad SI de momento de una fuerza es el newton metro en lugar del joule.

En el campo de la radiación ionizante, la unidad SI de actividad es el becquerel en lugar del recíproco del segundo, y las unidades SI de dosis absorbida y de dosis equivalente son el gray y el sievert, respectivamente, en lugar del joule por kilogramo. Los nombres especiales becquerel, gray y sievert fueron introducidos específicamente debido al peligro para la salud humana que podría originarse por errores debidos a las unidades recíproco del segundo y joule por kilogramo.

**Agregado al final de la Sección 3.1 de la página 127** (del documento original)

### **3.1 Unidades derivadas SI**

- **21ª. CGPM, 1999, Resolución 12: nombre especial para la unidad derivada SI mol por segundo, el katal, para la expresión de la actividad catalítica**

La 21ª. Conferencia General de Pesas y Medidas,

considerando

- la importancia para la salud y seguridad humana de facilitar el uso de las unidades SI en los campos de la medicina y la bioquímica,
- que una unidad ajena al SI, llamada ‘unidad’, símbolo U, igual a  $1 \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}$ , la cual no es coherente con el SI, ha sido de uso difundido en medicina y bioquímica desde 1964 para expresar la actividad catalítica,
- que la ausencia de un nombre especial para la unidad SI derivada coherente mol por segundo ha llevado a que los resultados de mediciones clínicas se expresaran en diversas unidades locales,
- que el uso de las unidades SI en medicina y química clínica se recomienda fuertemente por las uniones internacionales de esos campos,

- que la Federación Internacional de Química Clínica y Medicina de Laboratorio ha requerido del Comité Consultivo de Unidades la recomendación del nombre especial katal, símbolo kat, para la unidad SI mol por segundo,
- que aunque la proliferación de nombres especiales representa un peligro para el SI, se hacen excepciones en temas relativos a la salud y seguridad humana (15ª. Conferencia General, 1975, Resoluciones 8 y 9, 16ª. Conferencia General, 1979, Resolución 5),

teniendo en cuenta que el nombre katal, símbolo kat, ha sido usado para la unidad SI mol por segundo por más de treinta años para expresar la actividad catalítica, decide adoptar el nombre especial katal, símbolo kat, para la unidad SI mol por segundo para expresar actividad catalítica, especialmente en los campos de la medicina y la bioquímica, y recomienda que cuando se use el katal, el mesurando se especifique refiriéndose al procedimiento de medición; el procedimiento de medición debe identificar la reacción indicadora.