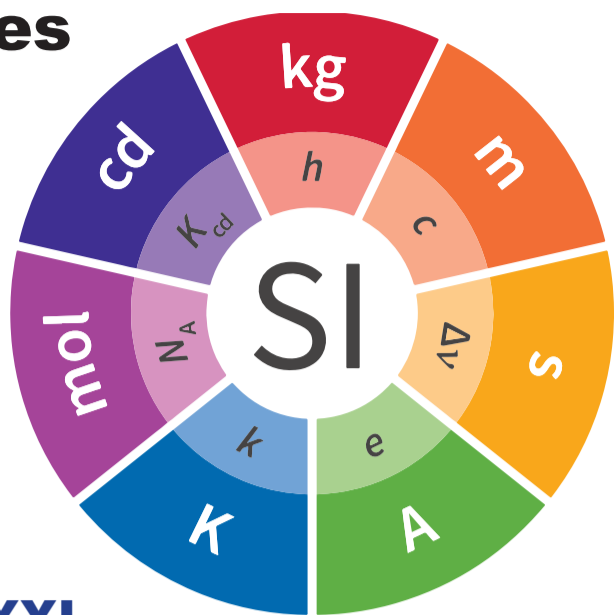


# Sistema Internacional de Unidades revisado

Un **SI** para el siglo **XXI**



## Basado en los valores de 7 constantes universales

El sistema internacional de unidades, SI, es aquel en el que:

- la frecuencia de la transición hiperfina del estado fundamental no perturbado del átomo de cesio 133,  $\Delta\nu_{Cs}$ , es 9 192 631 770 Hz,
- la velocidad de la luz en el vacío,  $c$ , es 299 792 458 m/s,
- la constante de Planck,  $h$ , es  $6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$  J·s,
- la carga elemental,  $e$ , es  $1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$  C,
- la constante de Boltzmann,  $k$ , es  $1,380\ 649 \times 10^{-23}$  J·K<sup>-1</sup>,
- la constante de Avogadro,  $N_A$ , es  $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>,
- la eficacia luminosa de la radiación monocromática de  $540 \times 10^{12}$  Hz,  $K_{cd}$ , es 683 lm/W.

Como cualquier magnitud medible, el valor de una constante universal puede expresarse como el producto de un número y una unidad  $Q=\{Q\} [Q]$ .

Las siguientes definiciones especifican el valor numérico exacto de cada constante, cuando su valor se expresa en la unidad SI correspondiente. Al fijar el valor numérico exacto, la unidad resulta definida, ya que el producto del valor numérico  $\{Q\}$  por la unidad  $[Q]$  tiene que ser igual al valor  $Q$ , invariante, de la constante.

### Nuevas definiciones



El **kilogramo**, símbolo **kg**, es la unidad SI de masa. Se define al fijar el valor numérico de la constante de Planck,  $h$ , en  $6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ , cuando se expresa en la unidad **J·s**, igual a  $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , donde el metro y el segundo se definen en función de  $c$  y  $\Delta\nu_{Cs}$

De  $h = 6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , expresando el segundo y el metro en función de los valores numéricos fijados para la frecuencia del cesio  $\Delta\nu_{Cs}$  y la velocidad de la luz  $c$ , se obtiene la unidad de masa **[kg]** en función de la constante de Planck  $h$

$$1 \text{ kg} = \left( \frac{h}{6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}} \right) \text{ m}^2 \cdot \text{s} = 1,475\ 5211 \dots \times 10^{40} \frac{h \Delta\nu_{Cs}}{c^2}$$



El **amperio**, símbolo **A**, es la unidad SI de intensidad de corriente eléctrica. Se define al fijar el valor numérico de la **carga elemental**,  $e$ , en  $1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ , cuando se expresa en la unidad **C**, igual a **A·s**, donde el segundo se define en función de  $\Delta\nu_{Cs}$

De  $e = 1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19} \text{ A} \cdot \text{s}$ , expresando el segundo en función del valor numérico fijo de la frecuencia del cesio  $\Delta\nu_{Cs}$ , se obtiene la unidad **[A]** en función de la carga elemental  $e$

$$1 \text{ A} = \left( \frac{e}{1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}} \right) \text{ s}^{-1} = 6,789\ 687 \dots \times 10^8 \Delta\nu_{Cs} e$$

De la definición resulta que el amperio es la corriente eléctrica correspondiente al flujo de  $(1/1,602\ 176\ 634) \times 10^{19} = 6,241\ 509\ 07 \times 10^{18}$  cargas elementales por segundo

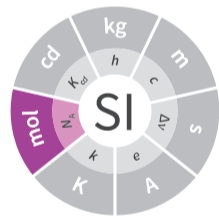


El **kelvin**, símbolo **K**, es la unidad SI de temperatura termodinámica. Se define al fijar el valor numérico de la **constante de Boltzmann**,  $k$ , en  $1,380\ 649 \times 10^{-23}$ , cuando se expresa en la unidad **J·K<sup>-1</sup>**, igual a  $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ , donde el kilogramo, el metro y el segundo se definen en función de  $h$ ,  $c$  y  $\Delta\nu_{Cs}$

De  $k = 1,380\ 649 \times 10^{-23} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ , expresando el kilogramo, el segundo y el metro en función de los valores numéricos fijados para la constante de Planck  $h$ , la frecuencia del cesio  $\Delta\nu_{Cs}$  y la velocidad de la luz  $c$ , se obtiene la unidad **[K]** en función de  $k$ ,  $h$  y  $\Delta\nu_{Cs}$

$$1 \text{ K} = \left( \frac{1,380\ 649}{k} \right) 10^{-23} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} = 2,266\ 6653 \dots \frac{\Delta\nu_{Cs} h}{k}$$

De la definición resulta que el kelvin es la variación de temperatura termodinámica que da lugar a una variación de energía térmica  $kT$ , de valor  $1,380\ 649 \times 10^{-23}$  J



El **mol**, símbolo **mol**, es la unidad SI de cantidad de sustancia. Un mol contiene exactamente  $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$  entidades elementales. Esta cifra es el valor numérico fijo de la **constante de Avogadro**,  $N_A$ , cuando se expresa en la unidad **mol<sup>-1</sup>**, y se denomina número de Avogadro

De  $N_A = 6,022\ 140\ 76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ , se obtiene la unidad **[mol]** en función de  $N_A$

$$1 \text{ mol} = \left( \frac{6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}}{N_A} \right)$$

De la definición resulta que el mol es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene  $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$  entidades elementales especificadas.

### Definiciones reescritas



El **segundo**, símbolo **s**, es la unidad SI de tiempo. Se define al fijar el valor numérico de la **frecuencia de la transición hiperfina del estado fundamental no perturbado del átomo de cesio 133**,  $\Delta\nu_{Cs}$ , en **9 192 631 770**, cuando se expresa en la unidad **Hz**, igual a **s<sup>-1</sup>**

De  $\Delta\nu_{Cs} = 9\ 192\ 631\ 770 \text{ s}^{-1}$  se obtiene la expresión para la unidad **[s]** en función del valor de la constante  $\Delta\nu_{Cs}$

$$1 \text{ s} = \frac{9\ 192\ 631\ 770}{\Delta\nu_{Cs}}$$

De la definición resulta que 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 fundamental no perturbado del átomo de cesio 133

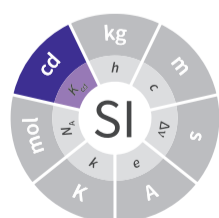


El **metro**, símbolo **m**, es la unidad SI de longitud. Se define al fijar el valor numérico de la **velocidad de la luz en el vacío**,  $c$ , en **299 792 458**, cuando se expresa en la unidad **m s<sup>-1</sup>**, donde el segundo se define en función de la frecuencia del cesio  $\Delta\nu_{Cs}$

De  $c = 299\ 792\ 458 \text{ m s}^{-1}$  se obtiene la expresión de la unidad **[m]** en función de las constantes  $c$  y  $\Delta\nu_{Cs}$

$$1 \text{ m} = \left( \frac{c}{299\ 792\ 458} \right) \text{ s} = 30,663\ 319 \dots \frac{c}{\Delta\nu_{Cs}}$$

De la definición resulta que el metro es la longitud del trayecto recorrido por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de  $1/299\ 792\ 458$  de segundo



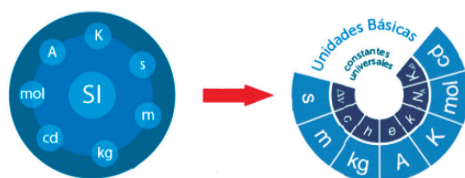
La **candela**, símbolo **cd**, es la unidad SI de intensidad luminosa en una dirección dada. Se define al fijar el valor numérico de la **eficacia luminosa de la radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  Hz**,  $K_{cd}$ , en **683**, cuando se expresa en la unidad **lm·W<sup>-1</sup>**, igual a **cd·sr·W<sup>-1</sup>**, o a **cd·sr·kg<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup>·s<sup>3</sup>**, donde el kilogramo, el metro y el segundo se definen en función de  $h$ ,  $c$  y  $\Delta\nu_{Cs}$

De  $K_{cd} = 683 \text{ cd sr kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^3$  se obtiene la unidad **[cd]** en función de las constantes  $K_{cd}$ ,  $h$  y  $\Delta\nu_{Cs}$

$$1 \text{ cd} = \left( \frac{K_{cd}}{683} \right) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-3} \text{ sr}^{-1} = 2,614\ 830 \dots \times 10^{10} (\Delta\nu_{Cs})^2 h K_{cd}$$

De la definición resulta que la candela es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  Hz y que tiene una intensidad radiante, en esa dirección, de  $(1/683)$  W/sr

El nuevo **SI** no supondrá cambio alguno en la vida diaria, únicamente en las mediciones de gran exactitud y baja incertidumbre de los centros de metrología



El **SI** aplicará las **reglas de la naturaleza** para crear las **reglas de las mediciones**

Más información en:

Bureau International des Poids et Mesures  
<http://www.bipm.org/>

The NIST Reference on Constants, Units, and Uncertainty  
[physics.nist.gov/Constants](http://physics.nist.gov/Constants)

CEM CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA  
<http://www.cem.es>

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO  
CEM CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA  
C/ del Alfar 2. 28760 Tres Cantos, Madrid. Tel. +34] 918 074 700  
[cem@cem.es](mailto:cem@cem.es) | [www.cem.es](http://www.cem.es)