

Curso de Física I: Unidades y dimensiones

Jesús Hernández Trujillo
Facultad de Química, UNAM

Febrero de 2025

Medición de cantidades físicas

Medición de
cantidades físicas

Sistema
internacional de
unidades

Análisis dimensional
Conversión de
unidades

⇒ El estudio de los fenómenos naturales involucra la medición de cantidades físicas.

“Medir es saber”

“Si no puedes medirlo, no lo puedes mejorar”

“Cuando puedes medirlo y expresarlo en números, tú sabes algo sobre ello; pero cuando no puedes medirlo, cuando no puedes expresarlo en números, tu conocimiento es escaso e insatisfactorio”

In praise of Lord Kelvin, Physics World, 2007.

Cantidad física: Propiedad atribuida a un fenómeno, cuerpo o sustancia que puede ser medible; consiste en un número (valor) y una unidad.

Ejemplos: la carga eléctrica y la masa.

Medición: Técnica que se utiliza para determinar el valor numérico de una cantidad física.

Unidad de medida: Cantidad particular definida y adoptada por convención con la que otras cantidades del mismo tipo son comparadas para expresar su valor.

Valor de una cantidad física: Expresión de una cantidad física como el producto de un número y una unidad.

Ejemplo: La altura de la torre Latinoamericana:

$$h = 181.3 \text{ metros} = 594.8 \text{ pies}$$

Diagram illustrating the components of a physical quantity expression:

- cantidad física** (physical quantity) points to h .
- valor** (value) points to the numerical values 181.3 and 594.8.
- unidad** (unit) points to the units metros and pies.

El proceso de medición involucra un error experimental y una incertidumbre que se deben a:

1. Las características del aparato.
2. La habilidad del experimentador.
3. El número de mediciones efectuadas.

⇒ La metrología consiste en el estudio de las mediciones.

⇒ Se requiere comparar la magnitud con una cantidad patrón que se adopta como unidad.

Sistema internacional de unidades

Medición de
cantidades físicas

Sistema
internacional de
unidades

Análisis dimensional
Conversión de
unidades

Cantidades fundamentales.

Se trata de elegir el número más pequeño posible de cantidades físicas como fundamentales:

1. Longitud
2. Tiempo
3. Masa
4. Corriente eléctrica
5. Temperatura
6. Cantidad de sustancia
7. Intensidad luminosa

⇒ Todas las demás unidades se obtienen a partir de éstas multiplicando diferentes potencias de las unidades base.

En mayo de 2019 entraron en vigor nuevas definiciones de las unidades fundamentales.

<https://youtu.be/rdhybZKx6Ug>

- Este evento tuvo un fuerte impacto en la metrología

The seven defining constants of the SI and the seven corresponding units they define:

Defining constant	Symbol	Numerical value	Unit
hyperfine transition frequency of Cs	$\Delta\nu_{\text{Cs}}$	9 192 631 770	Hz
speed of light in vacuum	c	299 792 458	m s^{-1}
Planck constant	h	$6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$	J s
elementary charge	e	$1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$	C
Boltzmann constant	k	$1.380\,649 \times 10^{-23}$	J K^{-1}
Avogadro constant	N_{A}	$6.022\,140\,76 \times 10^{23}$	mol^{-1}
luminous efficacy	K_{cd}	683	lm W^{-1}

<https://www.bipm.org>

Consulta también:
<https://www.physics.nist.gov/cuu/units>

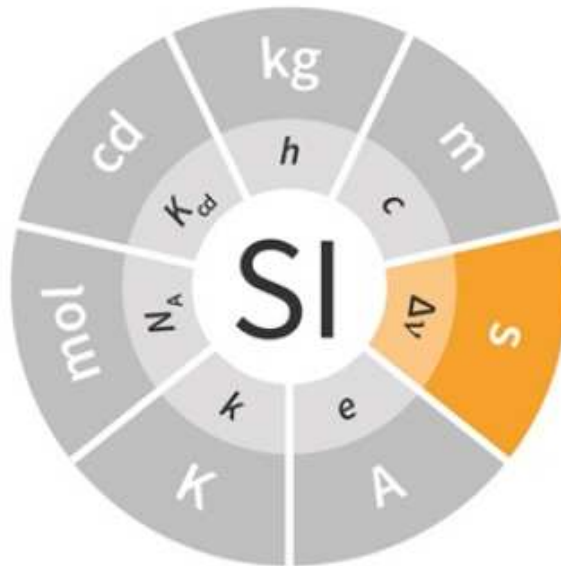


The SI base units:

Base quantity		Base unit	
Name	Typical symbol	Name	Symbol
time	t	second	s
length	$l, x, r, \text{etc.}$	metre	m
mass	m	kilogram	kg
electric current	I, i	ampere	A
thermodynamic temperature	T	kelvin	K
amount of substance	n	mole	mol
luminous intensity	I_v	candela	cd

• The second

The second, symbol s, is the SI unit of time. It is defined by taking the fixed numerical value of the caesium frequency $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, the unperturbed ground-state hyperfine transition frequency of the caesium-133 atom, to be 9 192 631 770 when expressed in the unit Hz, which is equal to s^{-1} .



This definition implies the exact relation $\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770\text{ Hz}$. Inverting this relation gives an expression for the unit second in terms of the defining constant $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

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

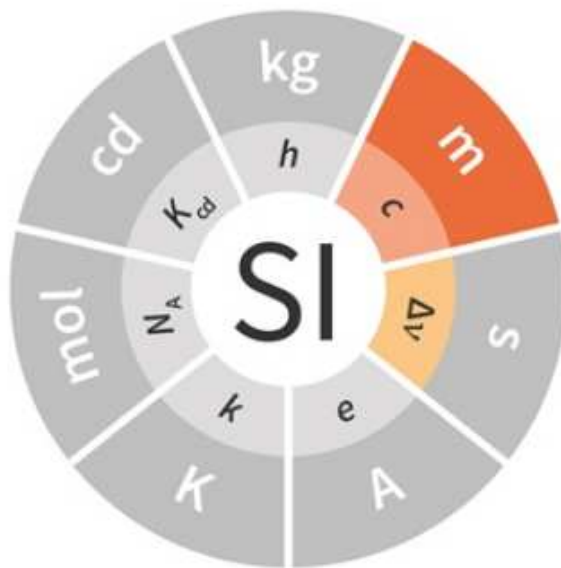
or

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

The effect of this definition is that the second is equal to the duration of 9 192 631 770 periods of the radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the unperturbed ground state of the ^{133}Cs atom.

➤ The metre

The metre, symbol m, is the SI unit of length. It is defined by taking the fixed numerical value of the speed of light in vacuum c to be 299 792 458 when expressed in the unit m s^{-1} , where the second is defined in terms of the caesium frequency $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.



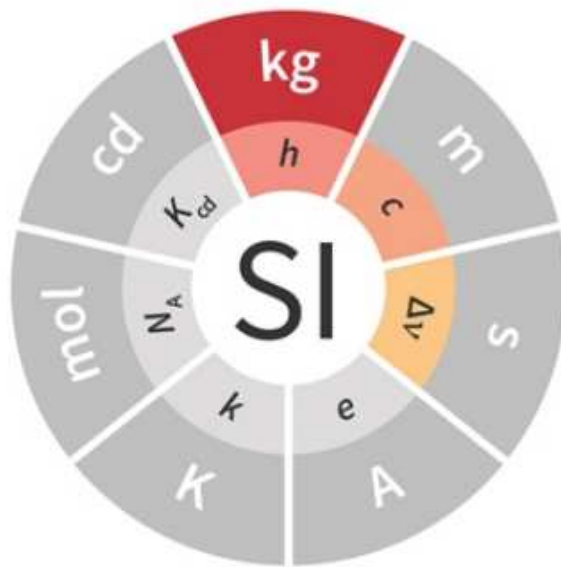
This definition implies the exact relation $c = 299\,792\,458\,\text{m s}^{-1}$. Inverting this relation gives an exact expression for the metre in terms of the defining constants c and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

$$1\,\text{m} = \left(\frac{c}{299\,792\,458} \right) \text{s} = \frac{9\,192\,631\,770}{299\,792\,458} \frac{c}{\Delta\nu_{\text{Cs}}} \approx 30,663\,319 \frac{c}{\Delta\nu_{\text{Cs}}}.$$

The effect of this definition is that one metre is the length of the path travelled by light in vacuum during a time interval with duration of $1/299\,792\,458$ of a second.

➤ The kilogram

The kilogram, symbol kg, is the SI unit of mass. It is defined by taking the fixed numerical value of the Planck constant h to be $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$ when expressed in the unit J s, which is equal to $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$, where the metre and the second are defined in terms of c and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.



This definition implies the exact relation $h = 6.626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ kg m}^2 \text{s}^{-1}$. Inverting this relation gives an exact expression for the kilogram in terms of the three defining constants h , $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ and c :

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

which is equal to

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

The effect of this definition is to define the unit $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$ (the unit of both the physical quantities action and angular momentum). Together with the definitions of the second and the metre this leads to a definition of the unit of mass expressed in terms of the Planck constant h .

▼ The ampere

The ampere, symbol A, is the SI unit of electric current. It is defined by taking the fixed numerical value of the elementary charge e to be $1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$ when expressed in the unit C, which is equal to A s, where the second is defined in terms of $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.



This definition implies the exact relation $e = 1.602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ A s}$. Inverting this relation gives an exact expression for the unit ampere in terms of the defining constants e and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

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

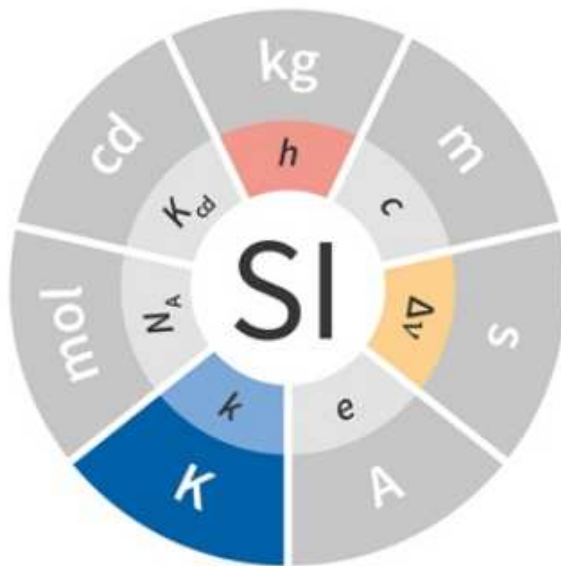
which is equal to

$$1 \text{ A} = \frac{1}{(9\,192\,631\,770)(1.602\,176\,634 \times 10^{-19})} \Delta\nu_{\text{Cs}} e \approx 6.789\,687 \times 10^8 \Delta\nu_{\text{Cs}} e$$

The effect of this definition is that one ampere is the electric current corresponding to the flow of $1/(1.602\,176\,634 \times 10^{-19})$ elementary charges per second.

The kelvin

The kelvin, symbol K, is the SI unit of thermodynamic temperature. It is defined by taking the fixed numerical value of the Boltzmann constant k to be $1.380\,649 \times 10^{-23}$ when expressed in the unit J K^{-1} , which is equal to $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$, where the kilogram, metre and second are defined in terms of h , c and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.



This definition implies the exact relation $k = 1.380\,649 \times 10^{-23} \text{ kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$. Inverting this relation gives an exact expression for the kelvin in terms of the defining constants k , h and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

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

which is equal to

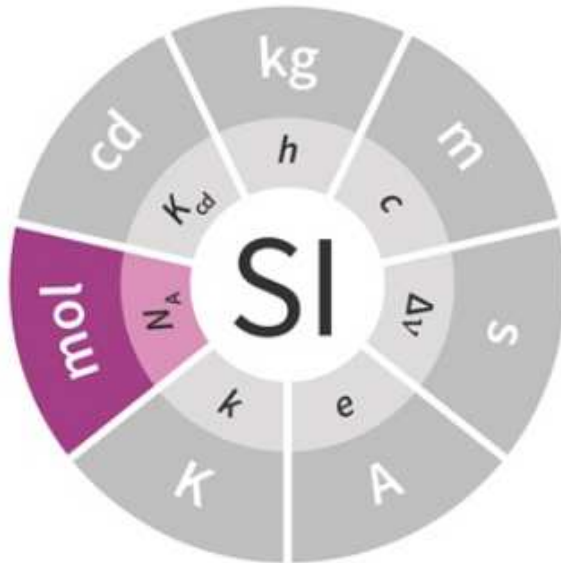
$$1 \text{ K} = \frac{1.380\,649 \times 10^{-23}}{(6.626\,070\,15 \times 10^{-34})(9\,192\,631\,770)} \frac{\Delta\nu_{\text{Cs}} h}{k} \approx 2.266\,6653 \frac{\Delta\nu_{\text{Cs}} h}{k}$$

The effect of this definition is that one kelvin is equal to the change of thermodynamic temperature that results in a change of thermal energy $k T$ by $1.380\,649 \times 10^{-23} \text{ J}$.

• The mole

The mole, symbol mol, is the SI unit of amount of substance. One mole contains exactly $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$ elementary entities. This number is the fixed numerical value of the Avogadro constant, N_A , when expressed in the unit mol^{-1} and is called the Avogadro number.

The amount of substance, symbol n , of a system is a measure of the number of specified elementary entities. An elementary entity may be an atom, a molecule, an ion, an electron, any other particle or specified group of particles.



This definition implies the exact relation $N_A = 6.022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Inverting this relation gives an exact expression for the mole in terms of the defining constant N_A :

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

The effect of this definition is that the mole is the amount of substance of a system that contains $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$ specified elementary entities.

▼ The candela

The candela, symbol cd, is the SI unit of luminous intensity in a given direction. It is defined by taking the fixed numerical value of the luminous efficacy of monochromatic radiation of frequency 540×10^{12} Hz, K_{cd} , to be 683 when expressed in the unit lm W^{-1} , which is equal to cd sr W^{-1} , or $\text{cd sr kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3$, where the kilogram, metre and second are defined in terms of h , c and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

This definition implies the exact relation $K_{\text{cd}} = 683 \text{ cd sr kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3$ for monochromatic radiation of frequency $\nu = 540 \times 10^{12}$ Hz. Inverting this relation gives an exact expression for the candela in terms of the defining constants K_{cd} , h and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

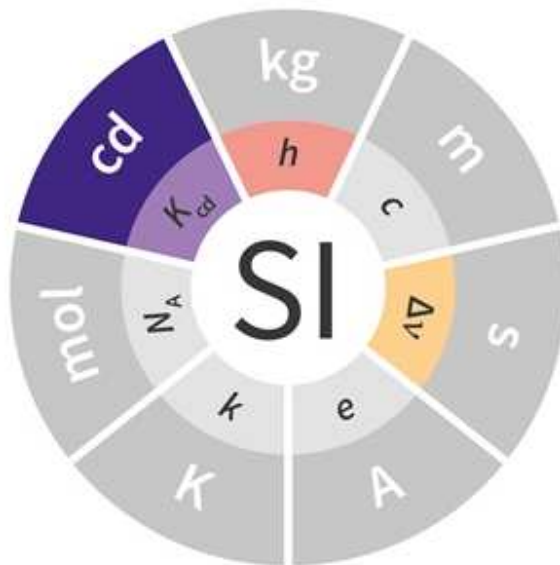
$$1 \text{ cd} = \left(\frac{K_{\text{cd}}}{683} \right) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-3} \text{ sr}^{-1}$$

which is equal to

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

$$\approx 2.614\,830 \times 10^{10} (\Delta\nu_{\text{Cs}})^2 h K_{\text{cd}}$$

The effect of this definition is that one candela is the luminous intensity, in a given direction, of a source that emits monochromatic radiation of frequency 540×10^{12} Hz and has a radiant intensity in that direction of $(1/683) \text{ W/sr}$.



Unidades derivadas

Medición de
cantidades físicas
Sistema
internacional de
unidades

Análisis dimensional
Conversión de
unidades

Las unidades derivadas se obtienen mediante combinaciones de las unidades fundamentales.

Ejemplos:

volumen : $(\text{longitud})^3 [=] \text{m}^3$

densidad : $\text{masa/volumen} [=] \text{kg/m}^3$

fuerza : $\text{masa} \times \text{aceleración} [=] \text{kg m s}^{-2} \equiv \text{N}$

Análisis dimensional

Medición de
cantidades físicas
Sistema
internacional de
unidades

Análisis dimensional
Conversión de
unidades

- La dimensión es la naturaleza física de una cantidad.

Ejemplos:

1. Área: longitud al cuadrado.
2. Velocidad: longitud entre tiempo.

- Análisis dimensional: Método que permite verificar que las ecuaciones son dimensionalmente compatibles.

¿Cuál de las siguientes ecuaciones es dimensionalmente compatible?

1. $v = at$
2. $d = vt^2$

Algunos prefijos:

factor	nombre	símbolo
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^{-1}	deci	d

factor	nombre	símbolo
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	ato	a

Ejercicio:

En las mediciones de posición x (en metros) de una pelota respecto al tiempo t (en segundos), se obtiene la siguiente relación:

$$x = c_1 t + c_2 t^2$$

¿Cuáles son las unidades de las constantes c_1 y c_2 ?

Conversión de unidades

El procedimiento consiste en “multiplicar por uno” mediante factores adecuados cuantas veces sea necesario.

Ejemplo: Convertir un valor de velocidad de km/h a m/s.

$$85 \text{ km/h} = \frac{85 \text{ km}}{\text{h}} \left(\frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) \left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \right) = 23.61 \text{ m/s}$$

Ejercicio:

De acuerdo con la reglamentación del gobierno de México, la leche entera de vaca debe tener una densidad mínima de 1.029 g/cm³ a 15 °C. Expresa la densidad de la leche en kg/m³.

Ver:

<http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4692/seeco/seeco.htm>

Ejercicio:

Eratóstenes fue un científico director de la biblioteca de Alejandría que calculó el perímetro de la tierra. Él sabía que en Siena (actual Asuán en Egipto) el día de solsticio de verano los objetos no proyectaban sombra alguna (pues la ciudad se ubica sobre la línea del trópico de cáncer). Clavó un palo en el suelo a mediodía del solsticio de verano en Alejandría y la sombra que proyectaba formaba un ángulo de $1/50$ parte de una circunferencia. Adicionalmente, él sabía que la distancia entre Siena y Alejandría era de 5040 estadios ($1 \text{ estadio} = 157 \text{ m}$). Obtén los valores del radio y la circunferencia de la tierra.

Ver:

<https://www.bbc.com/mundo/noticias-64722522>

