

Propiedades y magnitudes

La concepción actual de la ciencia se generalizó a principios del siglo xvii, cuando se aceptó que a la observación se le tenía que añadir la medición de los fenómenos. Para comprobar una hipótesis, el experimento debe estar controlado, lo cual implica que debemos comparar dos o más casos que son idénticos en todo excepto en aquella propiedad de la que queremos comprobar su supuesta influencia sobre el fenómeno en estudio. Experimentar supone, en general, medir y comparar las medidas obtenidas por uno o varios investigadores. Ello exige la existencia de unidades de medida. Las unidades se definen arbitrariamente, es decir, no importa cuál sea su tamaño o cantidad, lo importante es que representen un patrón aceptado por todos y que sean fácilmente reproducibles por cualquiera que las necesite. A veces la definición de una unidad ha cambiado a lo largo de la historia a fin de facilitar su reproducción exacta acorde con las necesidades de la investigación y de la industria. Así ha sucedido con el metro, que de ser una fracción del meridiano terrestre ha pasado a convertirse en la distancia recorrida por la luz durante un cierto tiempo medido mediante un reloj atómico.

Magnitudes

Toda propiedad susceptible de ser medida es una magnitud. Para medir se pueden seguir dos métodos:

1. Comparar directamente con un patrón unidad, normalmente ajustado a un aparato de medida, como una regla milimetrada para medir longitudes o un reloj cronómetro para medir tiempos.

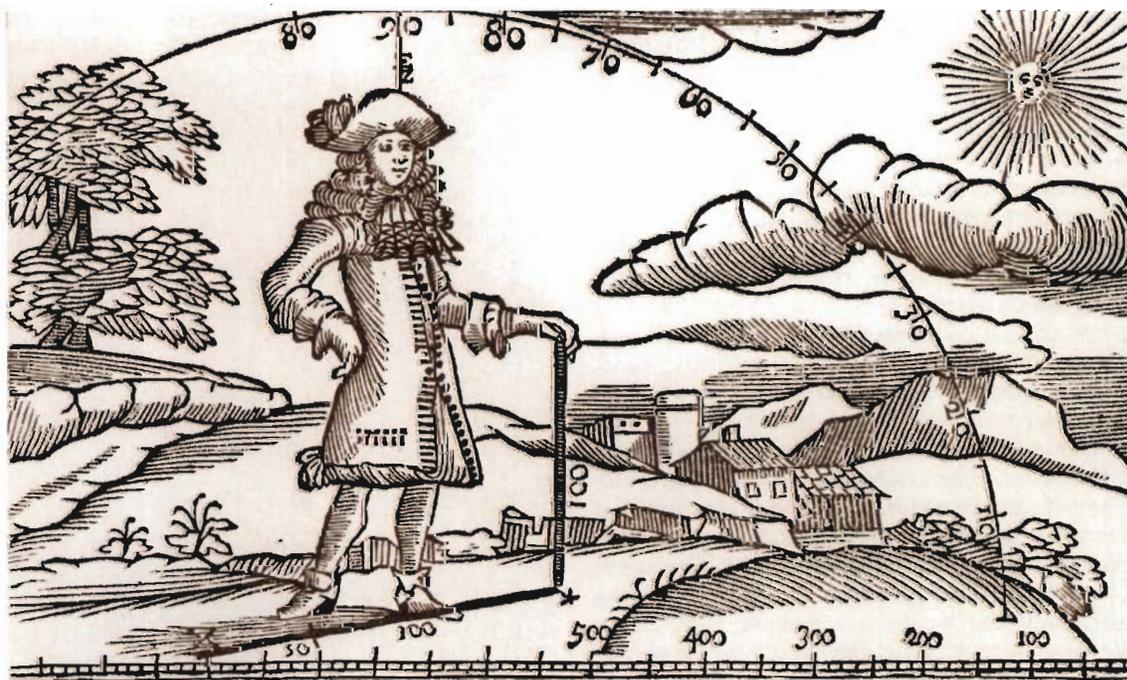
2. Obtener el valor de la magnitud a través de operaciones aritméticas con medidas directas, como la superficie de una hoja de papel que se calcula midiendo primero su anchura y su longitud para luego multiplicarlas.

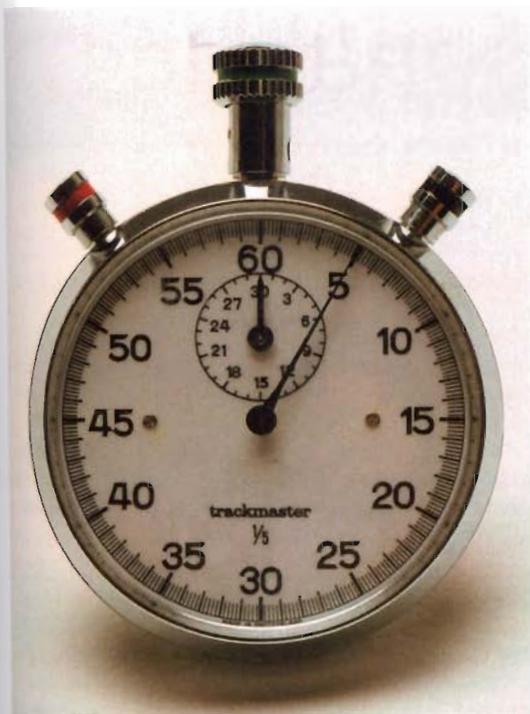
En cualquier caso, el resultado será un número, es decir, una valoración cuantitativa de la propiedad. Este número vendrá seguido de la abreviatura del nombre del patrón unidad o una combinación aritmética de uno o más patrones unidad. Así, por ejemplo, el ancho de una hoja de papel puede ser de 27 cm, donde cm es la abreviatura de la unidad patrón centímetro, o la superficie de una hoja puede ser de 52 cm², donde cm² es el producto de centímetros por centímetros.

Magnitudes fundamentales y derivadas

De todas las magnitudes utilizadas en las ciencias experimentales existen sólo unas pocas especiales; su singularidad consiste en ser totalmente independientes de las demás. Estas magnitudes se pueden definir sin utilizar las otras y por ello se denominan fundamentales. El resto de magnitudes se clasifican

La medición de las magnitudes, como complemento necesario de la observación, se generalizó en el siglo xvii. Xilografía francesa, de finales del siglo xviii, que ilustra la medición del tiempo y la distancia.





El reloj cronómetro permite medir tiempos según un patrón unidad y obtener un número como resultado, es decir, una valoración cuantitativa de la magnitud.

como derivadas porque pueden obtenerse mediante fórmulas matemáticas a partir de otras fundamentales.

La longitud y el tiempo son las magnitudes fundamentales más usuales; en estos dos casos su uso cotidiano nos permite reconocerlas sin necesidad de tener una definición rigurosa. La tercera magnitud fundamental surge del concepto de materia; para poder contabilizar la materia se pueden utilizar dos fenómenos que la caracterizan:

- La inercia, es decir, la oposición de la materia a cambiar su movimiento tanto en velocidad o dirección;
- la atracción de la Tierra sobre la materia.

Surgen dos posibilidades como magnitud fundamental: la masa y la fuerza de atracción. En general la masa es la tercera magnitud fundamental, pero en ciertos ámbitos tecnológicos se ha usado la segunda posibilidad. Existen otras magnitudes fundamentales como la temperatura y la intensidad de corriente eléctrica. Todas estas magnitudes serán definidas más adelante.

Demasiado grande o demasiado pequeño

Cuando se obtiene el valor numérico de una magnitud, dependiendo de la unidad patrón utilizada, podemos encontrarnos en dos casos extremos: el valor es muy grande, del orden de millones o más, o el valor es muy pequeño, del orden de millonésima parte o menos. Para que sea posible trabajar en ambos casos existen dos estrategias: la notación científica o el uso de múltiplos o submúltiplos de la unidad utilizada.

La notación científica consiste en convertir el valor numérico en el producto de un número entero o de-

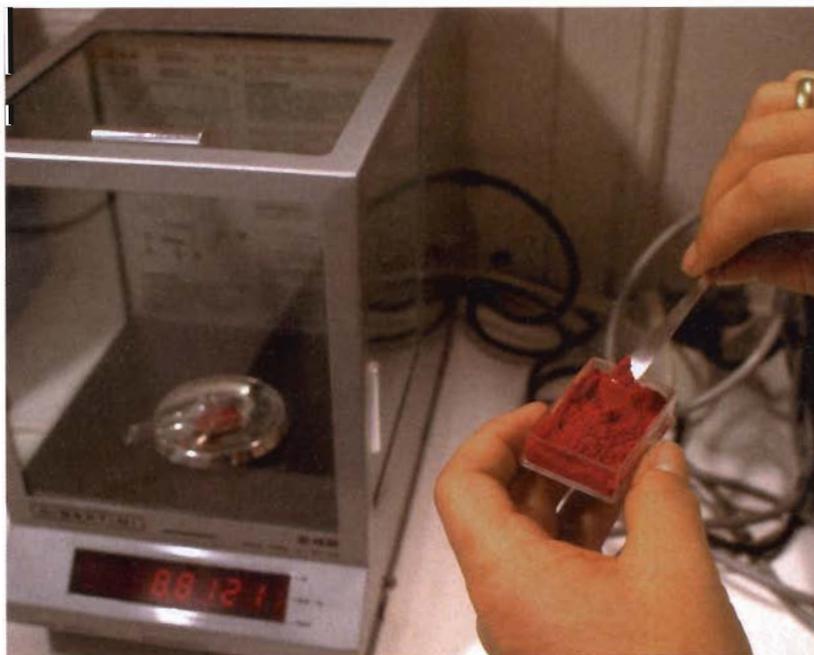
Prefijos de unidades

Prefijo	Símbolo	Valor
exa	E	1.000.000.000.000.000.000 = 10^{18}
peta	P	1.000.000.000.000.000 = 10^{15}
tera	T	1.000.000.000.000 = 10^{12}
giga	G	1.000.000.000 = 10^9
mega	M	1.000.000 = 10^6
kilo	k	1.000 = 10^3
hecto	h	100 = 10^2
deca	da	10 = 10^1
—	—	1 = 10^0
deci	d	0,1 = 10^{-1}
centi	c	0,01 = 10^{-2}
mili	m	0,001 = 10^{-3}
micro	μ	0,000.001 = 10^{-6}
nano	n	0,000.000.001 = 10^{-9}
pico	p	0,000.000.000.001 = 10^{-12}
femto	f	0,000.000.000.000.001 = 10^{-15}
atto	a	0,000.000.000.000.000.001 = 10^{-18}

cimal comprendido entre el 1 y el 10 con una potencia de 10. En el caso de valores grandes la potencia de 10 será positiva; así, $3.200.000 \text{ m} = 3,2 \cdot 10^6 \text{ m}$. Cuando el valor es pequeño la potencia será negativa: $0,0000573 \text{ s} = 5,73 \cdot 10^{-5} \text{ s}$.

El cambio de la unidad a un múltiplo o a un submúltiplo implica el uso de prefijos que determinan su relación. Así en el sistema métrico decimal los prefijos deca, hecto y kilo (da, h, k) significan respectivamente 10, 100 y 1.000 veces mayor, mientras deci, centi y mili (d, c, m) significan respectivamente 10, 100 y 1.000 veces menor. Por ejemplo: 3.700 metros (3.700 m) equivalen a 3,7 kilómetros (3,7 km); 0,094 metros (0,094 m) equivalen a 9,4 centímetros (9,4 cm). Posteriormente se han añadido prefijos para valores más grandes o más pequeños.

Gracias a las balanzas de precisión, los investigadores pueden medir la masa de cantidades minúsculas de un producto y asegurar la exactitud de sus experimentos.



Sistema internacional de unidades

Existen varias posibilidades de escoger las magnitudes fundamentales y obtener otras magnitudes derivadas. La Conferencia General de Pesas y Medidas es un organismo internacional que fija un sistema de unidades llamado sistema internacional (SI); en el SI hay siete magnitudes fundamentales, dos llamadas suplementarias y un conjunto completo de magnitudes derivadas que en algunos casos se asocian a unidades con nombre propio, que suelen corresponder a nombres de prestigiosos científicos que trabajaron en investigaciones relacionadas con estas magnitudes.

Las magnitudes fundamentales

En el sistema internacional de unidades las siete magnitudes fundamentales escogidas son: la longitud (l), la masa (m), el tiempo (t), la intensidad de corriente (I), la temperatura (T), la cantidad de materia (n) y la intensidad luminosa (I_v). A éstas se añaden dos magnitudes suplementarias: el ángulo plano y el ángulo sólido.

Con estas magnitudes se puede hacer un análisis dimensional de cualquier magnitud derivada; así, la

velocidad [v], que se define como el cociente entre una longitud y un tiempo, puede expresarse como $[v] = l \cdot t^{-1}$; la aceleración, definida como el cociente entre una velocidad y un tiempo, se expresa $[a] = [v] \cdot t^{-1} = l \cdot t^{-2}$; igualmente para la fuerza, definida por la segunda ley de Newton como el producto de la masa por la aceleración, obtenemos $[F] = m [a] = m \cdot l \cdot t^{-2}$.

Las unidades escogidas

Las unidades seleccionadas en el SI para las siete magnitudes fundamentales son:

– El metro (m), definido originalmente como la diezmilésima parte de la distancia entre el Ecuador y el Polo Norte, fue definido por el Conferencia General de Pesas y Medidas, en octubre de 1983, como la longitud recorrida por la luz en el vacío durante $1/299.972.458$ s.

– El segundo (s), fue definido originalmente como la $31.556.925,9747$ parte de un año trópico, que a su vez es el tiempo que tardó el Sol en volver a pasar por un mismo punto en el firmamento el año 1900. En la actualidad se define de forma alternativa a partir del espectro de emisión de un átomo de cesio-133 como la duración de $9.192.631.770$ periodos de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio-133.

– El kilogramo (kg), que es la masa de un objeto de platino iridiado que se guarda en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas de Sèvres (Francia).

La medición de la longitud, una de las siete magnitudes fundamentales, es imprescindible para calcular otras magnitudes derivadas, como la velocidad.



Unidades fundamentales del sistema internacional

Magnitud	Unidad	Símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Temperatura	kelvin	K
Cantidad de materia	mol	mol
Intensidad de corriente eléctrica	amperio	A
Intensidad luminosa	candela	cd

- El amperio (A), que se define como la intensidad de corriente eléctrica que cuando pasa por dos hilos conductores paralelos situados en el vacío a una distancia de un metro, originan una fuerza entre ellos de $2 \cdot 10^{-7}$ newtons.

- El kelvin (K), que es la 273,16 parte de la temperatura del punto triple del agua.

- El mol (mol), que es la cantidad de sustancia que contiene tantas unidades elementales como átomos hay en 12 g del isótopo 12 del carbono. Un mol es $6,02 \cdot 10^{23}$.

- La candela (cd), que es la intensidad luminosa que suministra una fuente que emite luz monocromática de 540 terahercios de frecuencia con una intensidad energética de 1/683 vatios por esterorradianes.

Las unidades de las magnitudes derivadas

Para obtener las unidades correspondientes a una magnitud derivada se hace un análisis dimensional. Por ejemplo, en el caso de la aceleración hemos visto $[a] = l \cdot t^{-2}$. El siguiente paso consiste en cambiar las magnitudes por sus unidades; $[a]$: m/s².

En algunos casos se introduce un nombre para las unidades de las magnitudes derivadas. Por ejemplo, en el caso de la fuerza, $[F] = m \cdot l \cdot t^{-2}$; $[F]$: kg · m, que define la unidad de fuerza, el newton, en el SI.

Las magnitudes suplementarias

El SI define dos magnitudes suplementarias, necesarias pero adimensionales. El ángulo plano se calcula como cociente entre el arco de circunferencia y el radio, $[\text{ángulo plano}] = l/l$, pero el resultado se trata con el nombre de radián (rad). El ángulo sólido es el cociente entre la superficie esférica que interseca un cono y el cuadrado del radio de esta esfera, $[\text{ángulo sólido}] = l^2/l^2$, pero el resultado se trata con el nombre de estereorradián (sr).

Unidades de superficie, volumen y capacidad

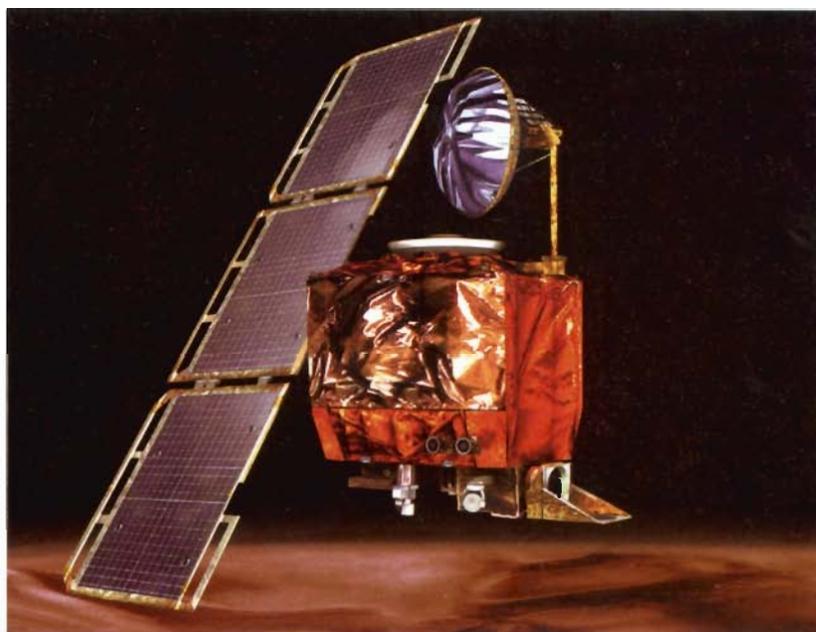
La superficie como magnitud derivada permite un análisis dimensional $[S] = l^2$; por tanto sus unidades serán m². En el caso de trabajar con km la superficie calculada estaría en km². Esto crea un problema de relación; 1.000 m² no corresponden a 1 km² pues 1.000 m² sería una superficie rectangular de 10 m · 100 m y no 1 km · 1 km = 1.000 m · 1.000 m. Por ello

los múltiplos y submúltiplos de unidades de superficie siguen un criterio diferente; la relación viene determinada por el cuadrado. Ejemplos: 1 dam² = 10² m² = 100 m²; 1 hm² = 100² m² = 10.000 m²; 1 dm² = 0,1² m² = 0,01 m².

Igualmente en el caso del volumen, $[V] = l^3$, la unidad del SI será el m³, pero las relaciones entre múltiplos y submúltiplos se determina por el cubo. Ejemplos: 1 dam³ = 10³ m³ = 1.000 m³, 1 km³ = 1.000³ m³ = 1.000.000.000 m³, 1 dm³ = 0,1³ m³ = 0,001 m³.

Cuando se miden volúmenes de fluidos el SI acepta utilizar medidas de capacidad basadas en el litro (L), esta unidad es igual a 1 dm³, pero los múltiplos y submúltiplos del litro siguen las relaciones normales, por ello 1 m³ = 1 kL y 1 cm³ = 1 mL.

La nave no tripulada *Mars Climate Orbiter* se estrelló sobre la superficie de Marte en 1999. Una de las causas del accidente fue el uso de unidades de medida anglosajonas en un programa informático diseñado para unidades del sistema internacional.

**Factores de conversión**

El factor de conversión se utiliza para transformar una cantidad expresada en una unidad en su equivalente en otra unidad. El factor es un cociente formado por la misma cantidad expresada en las dos unidades. Por ejemplo, 1 km es igual a 1.000 m, por tanto para pasar 2,7 km a metros basta con calcularlo de la siguiente manera:

$$2,7 \text{ km} \cdot \frac{1.000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 2.700 \text{ m}$$