

Sistema Internacional de Unidades SI > 1. Unidades de Medida

El **Sistema SI** fue establecido en 1960 por la XI Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM):

"El Sistema Internacional de Unidades, SI, es el sistema coherente de unidades adoptado y recomendado por la CGPM"

En la XIV CGPM en 1971 el sistema SI fue ampliado de nuevo con la adición del mol como unidad básica para la cantidad de sustancia.

Clases de unidades SI

Se distinguen dos clases de unidades SI:

- Las unidades *básicas*;
- Las unidades *derivadas*.

Desde el punto de vista científico, la división de las unidades SI en estas dos clases es arbitraria puesto que no es impuesta por la física. A pesar de ello, la Conferencia General tomó en consideración las ventajas que presenta la adopción de un sistema de unidades, único y práctico, para las relaciones internacionales, la enseñanza y la investigación científica y decidió fundar el Sistema Internacional sobre la elección de siete unidades bien definidas que conviene considerar como independientes desde el punto de vista dimensional: el metro, el kilogramo, el segundo, el amperio, el kelvin, el mol y la candela.

Estas unidades SI son llamadas *unidades básicas*.

La segunda clase de unidades SI es la de las unidades derivadas. Son las que están formadas combinando las unidades básicas según relaciones algebraicas que enlazan las magnitudes correspondientes. Los nombres y los símbolos de esas unidades están expresados con la ayuda de nombres y símbolos de las unidades básicas. Algunos de ellos pueden ser sustituidos por nombres y símbolos especiales que pueden ser utilizados para expresar los nombres y símbolos de otras unidades derivadas.

Las unidades SI de estas dos clases forman un conjunto coherente de unidades, con el sentido dado a la palabra coherente por los especialistas, es decir un sistema de unidades ligadas entre sí por reglas de multiplicación y división sin otro factor numérico más que el 1. Siguiendo la recomendación 1 (1969; PV, 37, 30-31 y Metrología, 1970, 6, 66) del Comité Internacional, las unidades de este conjunto coherente son designadas bajo el nombre de unidades SI.

Es importante subrayar que cada magnitud física solo tiene una unidad SI, aunque esta puede ser expresada bajo diferentes formas. Lo contrario, sin embargo, no es cierto; una misma unidad SI en algunos casos puede emplearse para expresar valores de magnitudes diferentes.

Los prefijos SI

La Conferencia General adoptó una serie de prefijos para la formación de los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI. Siguiendo la Recomendación 1 (1969) del Comité Internacional, anteriormente mencionado, el conjunto de estos prefijos está designado bajo el nombre de prefijos SI.

Las unidades SI, es decir las unidades básicas y las unidades derivadas del SI, forman un conjunto coherente, *el conjunto de unidades SI*. Los múltiplos y los submúltiplos de las unidades SI que están formados mediante prefijos SI deben ser designados por sus nombres completos, *múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI*. Estos múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI no son coherentes con las unidades SI propiamente dichas.

Como excepción a la regla, los múltiplos y submúltiplos del kilogramo están formados ligando nombres de prefijos al nombre de la unidad "gramo" y símbolos de prefijos al símbolo de unidad "g".

Legislación sobre las unidades

Los estados establecen, por vía legislativa, las reglas concernientes a la utilización de unidades en el ámbito nacional, bien de un modo general, bien únicamente en ciertos campos como el comercio, la salud, la seguridad pública o la enseñanza. En la mayoría de los países, estas legislaciones están basadas en el empleo del sistema internacional de unidades.

La Organización internacional de metrología legal (OIML), creada en 1955, se ocupa de la armonización internacional de esas legislaciones.

1.1 Unidades SI

1.1.1 Unidades SI básicas, definiciones:

Las definiciones oficiales de todas las unidades básicas SI son aprobadas por la Conferencia General. La primera de estas definiciones fue aprobada en 1889 y la más reciente en 1983. Estas definiciones son modificadas de vez en cuando para continuar la evolución de las técnicas de medida a fin de permitir una realización más exacta de las unidades básicas.

Unidad de longitud (metro)

La definición del metro basada en el prototipo internacional de platino iridio, en vigor desde 1889, había sido sustituida en la 11ª CGPM (1960) por una definición basada en una longitud de onda de una radiación del criptón 86, con el fin de mejorar la exactitud de la realización del metro. La 17ª CGPM (1983, Resolución 1; CR, 97 y Metrología, 1984, 20, 25) ha sustituido en 1983 esta última definición por la siguiente:

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

Esta definición tiene por efecto fijar la velocidad de la luz exactamente en $299\,792\,458\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. El antiguo prototipo internacional del metro, que fue confirmado por la 1ª CGPM en 1889 (CR, 34-38), sigue conservado en el BIPM en las condiciones fijadas en 1889.

Unidad de masa (kilogramo)

El prototipo internacional del kilogramo de platino iridio está conservado en el Bureau Internacional en las condiciones fijadas por la 1ª CGPM 1889 (CR, 34-38) cuando sancionó este prototipo y declaró:

Este prototipo será considerado desde ahora como unidad de masa.

La 3ª CGPM (1901; CR, 70), en una declaración tendente a eliminar la ambigüedad que existía en el uso normal del significado del término "peso", confirma que:

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

Unidad de tiempo (segundo)

El segundo, unidad de tiempo, fue definido en origen como la fracción $1/86\,400$ del día solar medio. La definición exacta del "día solar medio" competía a los astrónomos. Sin embargo, sus trabajos han demostrado que el día solar medio no presenta las garantías requeridas de exactitud, debido a irregularidades de la rotación de la tierra. Para proporcionar más precisión a la unidad de tiempo, la 11ª CGPM (1960; CR, 86) establece una definición, otorgada por la Unión Astronómica Internacional que estaba fundada sobre el año tropical. De todas formas, las investigaciones experimentales ya habían demostrado que un patrón atómico de intervalo de tiempo, basado en la transición entre dos niveles de energía de un átomo o de una molécula, podía ser realizado y reproducido con una exactitud mucho más elevada. Considerando que una definición de alta precisión de la unidad de tiempo del Sistema Internacional era indispensable, la 13ª CGPM (1967-1968, Resolución 1; CR, 103 y Metrología, 1968, 4, 43) sustituyó la definición del segundo por la siguiente:

El segundo es la duración de $9\,192\,631\,770$ periodos de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo cesio 133.

Durante su sesión de 1997, el Comité Internacional confirmó que:

Esta definición se refiere a un átomo de cesio en reposo, a una temperatura de 0 K.

Unidad de la corriente eléctrica (amperio)

Unidades eléctricas, llamadas "internacionales", para la corriente y para la resistencia, fueron introducidas por el Congreso Internacional de electricidad, celebrado en Chicago en 1893, y las definiciones del amperio "internacional" y del ohmio "internacional" fueron confirmados por la Conferencia Internacional de Londres en 1908.

Aunque la opinión unánime de reemplazar estas unidades "internacionales" por unidades llamadas "absolutas" ya fue puesto de manifiesto en la 8ª CGPM (1933), la decisión formal de suprimir estas unidades "internacionales" fue tomada por la 9ª CGPM (1948) que adoptó para el amperio, unidad de corriente eléctrica, la definición siguiente propuesta por el Comité Internacional (1946, Resolución 2; PV, 20, 129-137):

El amperio es la intensidad de una corriente constante que, mantenida en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y situados a una distancia de 1 metro uno del otro en el vacío, produciría entre esos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} newton por metro de longitud.

La expresión "unidad MKS de fuerza" que figura en el texto original de 1946 ha sido sustituida aquí por "newton", nombre adoptado para esta unidad por la 9ª CGPM (1948, Resolución 7; CR, 70). Esta definición tiene por efecto el fijar la permeabilidad del vacío a $4\pi \times 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$ exactamente.

Unidad de temperatura termodinámica (kelvin)

La definición de unidad de temperatura termodinámica fue en realidad otorgada por la 10ª CGPM (1954, Resolución 3; CR, 79) que eligió el punto triple del agua como punto fijo fundamental atribuyéndole la temperatura de 273,16 K por definición. La 13ª CGPM, (1967-1968, Resolución 3; CR, 104 y Metrología, 1968, 4, 43) adoptó el nombre *Kelvin* (símbolo K) en vez de "grado kelvin" (símbolo °K) y definió la unidad de temperatura termodinámica como sigue (Resolución 4; CR 104 y Metrología, 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 al modo en que las escalas de temperatura eran habitualmente definidas, resultó de uso corriente expresar la temperatura termodinámica, símbolo T , en función de su diferencia en razón a la temperatura de referencia $T_0 = 273,15 \text{ K}$, punto de congelación del agua. Esta diferencia de temperatura es llamada temperatura Celsius, símbolo t , y es definida por la ecuación:

$$t = T - T_0$$

La unidad de temperatura Celsius es el grado Celsius, símbolo °C, igual a la unidad kelvin por definición. Un intervalo o una diferencia de temperatura puede expresarse tanto en kelvin como en grados Celsius (13ª CGPM, 1967-1968, Resolución 3, mencionada anteriormente). El valor numérico de una temperatura Celsius expresada en grados Celsius es dada por la relación:

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

El kelvin y el grado Celsius son también unidades de la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90) adoptada por el Comité Internacional en 1989 en su Recomendación 5 (CI-1989) (PV, 57, 26 y Metrología, 1990, 27, 13).

Unidad de cantidad de sustancia (mol)

Después del descubrimiento de las leyes fundamentales de la química, se ha utilizado, para especificar las cantidades de los diversos elementos o compuestos químicos, unidades que llevan, por ejemplo, los nombres de "átomo-gramo" y "molécula-gramo". Esas unidades estaban ligadas directamente a los "pesos atómicos" y a los "pesos moleculares" que eran en realidad masas relativas. Los "pesos atómicos" fueron primeramente ligados al del elemento químico oxígeno, tomado por convención igual a 16. Pero, mientras que los físicos separaban

los isótopos con el espectrómetro de masa y atribuían el valor 16 a uno de los isótopos del oxígeno, los químicos atribuían el mismo valor a la mezcla (de composición ligeramente variable) de los isótopos 16, 17 y 18 que constituían el elemento oxígeno natural. Un acuerdo entre la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (UIPPA) y la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (UICPA) puso fin a esta dualidad en 1959-1960. Desde entonces, físicos y químicos han convenido atribuir el valor 12, exactamente, al "peso atómico", o según una formulación más correcta a la masa atómica relativa, del isótopo 12 de carbono (carbono 12, ^{12}C). La escala unificada así obtenida da valores de masas atómicas relativos.

Quedaba definir la unidad de cantidad de masa fijando la masa correspondiente al carbono 12; por un acuerdo internacional, esta masa fue fijada a 0,012 kg y la unidad de magnitud "cantidad de sustancia" recibió el nombre de mol (símbolo mol).

Siguiendo las propuestas del UIPPA, de UICPA y de ISO, el Comité Internacional dio en 1967 y confirmó en 1969 una definición del mol que fue finalmente adoptada por la 14ª CGPM (1971, Resolución 3; CR, 78 y Metrología, 1972, 8, 36):

- El mol es la cantidad de sustancia de un sistema que tiene tantas entidades elementales como hay átomos en 0,012 kilogramos de carbono 12; su símbolo es el "mol".

- Cuando se emplea el mol, las entidades elementales deben ser especificadas y pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, y otras partículas o agrupamientos especificados de tales partículas.

En 1980, el Comité Internacional aprobó el acta del CCU (1980) que precisaba:

En esta definición, se entiende que se refiere a átomos de carbono 12 no ligados, en reposo y en su estado fundamental.

Unidad de intensidad luminosa (candela)

Las unidades de intensidad luminosa fundadas sobre los patrones de llama o filamento incandescente, que estaban en uso en diferentes países antes de 1948, fueron primero reemplazados por la "nueva vela", basada en la luminiscencia del radiador de Planck (cuerpo negro) a la temperatura de congelación del platino. Esta modificación fue preparada ya antes de 1937 por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) y por el Comité Internacional; la decisión fue tomada por el Comité Internacional en 1946. Fue ratificada en 1948 por la 9ª CGPM que adoptó para esta unidad un nuevo nombre internacional, la candela (símbolo cd); en 1967, la 13ª CGPM (Resolución 5; CR, 104 y Metrología, 1968, 4, 43-44) dio una forma enmendada a la definición de 1946.

En 1979, a causa de las dificultades experimentales de realización del radiador de Planck a las temperaturas elevadas y de las nuevas posibilidades ofrecidas por la radiometría, es decir la medida de la potencia de las radiaciones ópticas, la 16ª CGPM (1979, Resolución 3; CR, 100 y Metrología, 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 una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} hercios y cuya intensidad de energía en esa dirección es 1/683 vatios por estereorradián.

Simbolos de las unidades básicas

Las unidades básicas del Sistema Internacional están agrupadas en la tabla I con su nombre y su símbolo (10ª CGPM (1954, Resolución 5; CR, 80); 11ª CGPM (1960, Resolución 12; CR, 87); 13ª CGPM (1967-1968, Resolución 3; CR, 104 y Metrología, 1968, 4, 43); 14ª CGPM (1971, Resolución 3; CR, 78 y Metrología, 1972, 8, 36)).

Tabla 1. Unidades SI básicas

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

1.1.2 Unidades SI derivadas

Las unidades derivadas son unidades que pueden ser expresadas a partir de las unidades básicas mediante símbolos matemáticos de multiplicación y de división. Ciertas unidades derivadas han recibido nombres especiales y símbolos particulares que pueden ser utilizados con los símbolos de otras unidades básicas o derivadas para expresar las unidades de otras magnitudes.

Unidades expresadas a partir de las unidades básicas

La tabla 2 da algunos ejemplos de unidades derivadas expresadas directamente a partir de unidad básica. Las unidades derivadas están obtenidas por multiplicación y división de las unidades básicas.

Tabla 2. Ejemplos de unidades SI derivadas, expresadas a partir de las unidades básicas

Magnitudes derivadas	Nombre	Símbolo		
Superficie	metro cuadrado	m ²		
Volumen	metro cúbico	m ³		
Velocidad	metro por segundo	m/s		
Aceleración	metro por segundo cuadrado	m/s ²		
Número de ondas	metro a la potencia menos uno	m ⁻¹		
Masa en volumen	kilogramo por metro cúbico	kg/m ³		
Volumen másico	metro cúbico por kilogramo	m ³ /kg		
Densidad de corriente	amperio por metro cuadrado	A/m ²		
Campo magnético	amperio por metro	A/m		
Concentración (de cantidad de sustancia)	mol por metro cúbico	mol/m ³		
Intensidad luminosa	candela por metro cuadrado	cd/m ²		
Índice de refracción	(el número) uno	1 ^(a)		

(a) En general, uno se emplea para el símbolo « 1 » con un valor numérico

Unidades de nombres especiales y símbolos particulares; unidades que utilizan unidades con nombres especiales y símbolos particulares

Por comodidad algunas unidades derivadas mencionadas en la tabla 3, reciben un nombre especial y un símbolo particular. Esos nombres y símbolos pueden ellos mismos ser utilizados para expresar otras unidades derivadas: algunos ejemplos figuran en la tabla 4. Los nombres especiales y los símbolos particulares permiten expresar, bajo forma reducida, unidades frecuentemente utilizadas.

Los tres últimos nombres y símbolos de unidades que figuran en la parte baja de la tabla 3 son particulares: fueron específicamente aprobados por la 15ª CGPM (1975, Resolución 8 y 9; CR, 105 y Metrología, 1975, 11, 180) y la 16ª CGPM (1979, Resolución 5; CR, 100 y Metrología, 1980, 16, 56) para la salvaguarda de la salud humana.

En la última columna de las tablas 3 y 4 se encuentra la expresión de las unidades SI mencionadas en función de unidades SI básicas. En esta columna, los factores tales que m⁰, kg⁰, etc., considerados como iguales a 1, no son generalmente escritos explícitamente.

Tabla 3. Unidades SI derivadas con nombres especiales y símbolos particulares

Magnitudes derivadas	Nombre	Símbolo	Expresión utilizando otras unidades SI	Expresión en unidades SI básicas
Ángulo plano	radián ^(a)	rad		m·m ⁻¹ =1 ^(b)
Ángulo sólido	estereorradián ^(a)	sr ^(c)		m ² ·m ⁻² =1 ^(b)
Frecuencia	hercio	HZ		s ⁻¹
Fuerza	newton	N		m·kg·s ⁻²
Presión, tensión	pascal	Pa	N/m ²	m ⁻¹ ·kg·s ⁻²
Energía, trabajo, cantidad de calor	julio	J	N·m	m ² ·kg·s ⁻²
Potencia, flujo radiante	vatio	W	J/s	m ² ·kg·s ⁻³
Carga eléctrica, cantidad de electricidad	culombio	C		A·s
Diferencia de potencial	voltio	V	W/A	m ² ·kg·s ⁻³ ·A ⁻¹

eléctrico, fuerza
electromotriz

Capacitancia eléctrica	faradio	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Resistencia eléctrica	ohmio	Ω	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 de inducción magnética	weber	Wb	V·S	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Inducción magnética	tesla	T	Wb/m ²	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Inductancia	henrio	H	Wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Temperatura Celsius	grado Celsius ^(d)	° C		K
Flujo luminoso	lumen	lm	cd·sr ^(c)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd = cd$
Iluminancia	lux	lx	lm/m ²	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd = m^{-2} \cdot cd$
Actividad (de un radionucleido)	becquerel	Bq		s ⁻¹
Dosis absorbida, kerma, energía específica (comunicada)	gray	Gy	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
Dosis equivalente, índice de dosis equivalente	sievert	Sv	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
Actividad catalítica	katal	kat		mol·s ⁻¹

(a) El radián y el estereorradián pueden ser útiles en las expresiones de las unidades derivadas, para distinguir magnitudes de naturaleza diferente que tienen la misma dimensión. Ejemplos de su utilización para formar nombres de unidades derivadas son mencionados en la tabla 4.

(b) En la práctica, se emplean los símbolos rad y sr cuando es de utilidad, pero la unidad derivada "l" no es habitualmente mencionada.

(c) En fotometría 1, se mantiene generalmente el nombre y símbolo del estereorradián, sr, en la expresión de las unidades.

(d) Esta unidad puede ser utilizada en asociación con prefijos SI, como por ejemplo para expresar el submúltiplo miligrado Celsius, m° C.

Tabla 4. Ejemplos de unidades SI derivadas con nombre y símbolos que conllevan unidades SI derivadas con nombres especiales y símbolos particulares

Magnitudes derivadas	Nombre	Símbolo	Expresión de unidades SI básicas
Viscosidad dinámica	pascal segundo	Pa·s	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
Momento de 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 ²	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2} = s^{-2}$
Flujo térmico superficial	vatio por metro cuadrado	W/m ²	$kg \cdot s^{-3}$
Capacidad térmica, entropía	julio por kelvin	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
Capacidad térmica másica	julio por kilogramo		
Entropía másica	kelvin	J/(kg·K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
Energía másica	julio por kilogramo	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$

Conductividad térmica	vatio por metro kelvin	W/(m·K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
Energía volúmica	julio por metro cúbico	J/m ³	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Campo eléctrico	voltio por metro	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Densidad de carga o carga volúmica	culombio por metro cúbico	C/m ³	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
Desplazamiento eléctrico	culombio por metro cuadrado	C/m ²	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
Permitividad	faradio por metro	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Permeabilidad	henrio por metro	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^2$
Energía molar	julio por mol	J/mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
Entropía molar, capacidad térmica molar	julio por mol kelvin	J/(mol·K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
Exposición (rayos x -- y)	culombio por kilogramo	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
De dosis absorbida	gray por segundo	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$
Intensidad radiante	vatio por estereorradián	W/sr	$m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Iluminancia energética	vatio por metro cuadrado estereorradián	W/(m ² ·sr)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = kg \cdot s^{-3}$

Una misma unidad puede corresponder a varias magnitudes diferentes como se ha mencionado en el párrafo. En la tabla de arriba donde la numeración de las magnitudes citadas no es limitativa, encontramos varios ejemplos. Así el joule por kelvin (J/K) es el nombre de la unidad SI para la magnitud capacidad térmica al igual que para la magnitud entropía; de la misma manera el amperio (A) es el nombre de la unidad SI para la magnitud básica corriente eléctrica al igual que para la magnitud derivada fuerza magnetomotriz. No es suficiente entonces indicar el nombre de la unidad para hacer conocer la magnitud medida : esta regla se aplica no solamente a los textos científicos y técnicos sino también, por ejemplo, a los aparatos de medida (es decir que deben llevar no solamente la indicación de la unidad sino también la indicación de la magnitud medida).

Una unidad derivada puede frecuentemente expresarse de varias maneras utilizando nombres de unidades básicas y nombres especiales de unidades derivadas. Esta libertad algebraica es de todas maneras limitada por las consideraciones físicas del sentido común. El julio, por ejemplo, puede escribirse newton metro, o bien kilogramo metro cuadrado por segundo cuadrado, pero según las circunstancias algunas formas pueden ser más útiles que otras.

En la práctica, con el fin de reducir el riesgo de confusión entre las magnitudes que tienen la misma dimensión, se expresa su unidad empleando de preferencia un nombre especial o una combinación particular de unidades. Por ejemplo, se llama hercio a la unidad SI de frecuencia, en vez de segundo a la potencia menos uno y la unidad SI de velocidad angular radián por segundo en vez de segundo a la potencia menos uno (en el caso de uso del nombre radián señala el hecho que la velocidad angular es igual a 2π la frecuencia de rotación). De la misma manera, se llama newton metro a la unidad SI de momento de fuerza en vez de julio.

En el campo de las radiaciones ionizantes, se llama becquerel a la unidad SI de actividad en vez de segundo a la potencia menos uno, y se llama gray y sievert a la unidad SI de dosis absorbida y la unidad SI de dosis equivalente, respectivamente, en vez de joule por kilogramo. Los nombres especiales de becquerel, gray y sievert han sido introducidos específicamente en razón de los peligros para la salud humana que podrían resultar de equivocaciones en el uso de las unidades segundo a la potencia menos uno y julio por kilogramo.

Unidades de magnitudes sin dimensión y magnitudes de dimensión uno

Algunas magnitudes están definidas por el cociente de dos magnitudes de la misma naturaleza; tienen una dimensión que puede ser expresada por el número uno. La unidad asociada a tales magnitudes es necesariamente una unidad derivada coherente con las otras unidades del SI, y como resulta del cociente de dos unidades SI idénticas, esta unidad puede también ser expresada por el número uno. Tanto es así que la unidad SI de todas las magnitudes cuya dimensión es el producto de dimensión igual a uno, es el número uno. Se puede citar, como ejemplo de tales magnitudes, el índice de refracción, la permeabilidad relativa o el factor de rozamiento. Entre las otras magnitudes que tienen por unidad el número uno, están los « números característicos » como el número de Prandtl C_p/λ y los números que sirven para indicar una cuenta, como los números de moléculas, la degeneración (número de niveles de energía) o la función de la partición en termodinámica estadística. Todas esas magnitudes están descritas como sin dimensión, o de dimensión uno, y tienen por unidad la unidad SI coherente 1. El valor de esas magnitudes no es expresado más que por un número, en general la unidad 1 no es mencionada explícitamente. En algunos casos, se atribuye a esta unidad un nombre especial, en vista de evitar principalmente la confusión con algunas unidades derivadas compuestas. Es el caso del radián, estereorradián y neper.

1.2 Múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI

Prefijos SI

La 11ª CGPM (1960, Resolución 12; CR, 87) ha adoptado una serie de prefijos y símbolos de prefijos para formar nombres y símbolos de múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI de 10^{12} a 10^{-12} . Los prefijos para 10^{-15} y 10^{-18} fueron añadidos por la 12ª CGPM (1964, Resolución 8; CR, 94), para 10^{15} y 10^{18} por la 15ª CGPM (1975, Resolución 10; CR, 106 y Metrología, 1975, 11, 180-181) y para 10^{21} , 10^{24} , 10^{-21} y 10^{-24} por la 19ª CGPM (1991, Resolución 4; CR, 97 y Metrología, 1992, 29, 3). Los prefijos y símbolos de prefijos que han sido adoptados figuran en la tabla 5.

Estos prefijos SI representan estrictamente las potencias de 10. No deben ser utilizados para expresar múltiplos de dos (por ejemplo, un kilobit representa 1000 bits y no 1024 bits).

Tabla 5. Prefijos SI

Factor	Prefijo	Símbolo		
10^1	deca	da		
10^2	hecto	h		
10^3	kilo	k		
10^6	mega	M		
10^9	giga	G		
10^{12}	tera	T		
10^{15}	peta	P		
10^{18}	exa	E		
10^{21}	zetta	Z		
10^{24}	yotta	Y		
10^{-1}	deci	d		
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}	atto	a		
10^{-21}	zepto	z		
10^{-24}	yocto	y		

El kilogramo

Entre las unidades básicas del Sistema Internacional, la unidad de masa es la única cuyo nombre contiene un prefijo por razones históricas. Los nombres y los símbolos de los múltiplos y submúltiplos decimales de la unidad de masa, están formados por la unión de prefijos a la palabra « gramo » y de símbolos de estos prefijos al símbolo de la unidad « g » (CIPM, 1967, Recomendación 2; PV, 35, 29 y Metrología, 1968, 4, 45).

Por ejemplo : $10^{-6}\text{kg} = 1\text{ mg}$ (1 miligramo) pero no $1\ \mu\text{kg}$ (1 microkilogramo)

1.3 Unidades fuera del SI

El uso de las unidades SI está recomendado en las ciencias, las técnicas y el comercio. Estas unidades están adoptadas a nivel internacional por la Conferencia General y sirven hoy en día para definir todas las otras unidades. Las unidades básicas del SI y las unidades SI derivadas, comprendiendo las unidades que tienen nombres especiales, tienen la ventaja esencial de formar un conjunto coherente y, en consecuencia torna inútiles las conversiones entre unidades cuando se dan valores particulares a las magnitudes en las ecuaciones entre magnitudes.

Pero se constata que algunas unidades fuera del SI son todavía ampliamente utilizadas en las publicaciones científicas, técnicas o comerciales y algunas lo serán probablemente todavía durante numerosos años. Otras unidades fuera del SI, como las unidades del tiempo, son de uso tan extendido a la vida cotidiana y tan profundamente enraizada en la historia y en la cultura de los hombres, que seguirán siendo utilizadas en el futuro previsible. Es la razón por la cual las principales unidades fuera del SI están mencionadas en las tablas siguientes.

No es por que las tablas de unidades fuera del SI figuran en este documento que se puede deducir que hay que alentar el uso de estas unidades. A la excepción de algunos casos discutidos más adelante, las unidades SI deben ser siempre utilizadas preferentemente a las unidades fuera del SI. Es deseable evitar asociar las unidades SI con las unidades de fuera del SI; en particular, la asociación de estas unidades con las unidades SI para formar unidades compuestas debe ser limitada en casos particulares con el fin de no perder la ventaja de la coherencia dada para el uso de las unidades SI.

Unidades en uso junto con el SI

El Comité Internacional (1969) ha reconocido que los usuarios podían tener necesidad de utilizar las unidades SI en asociación con algunas unidades que no pertenecen al Sistema Intencional pero que juegan un papel importante y que son ampliamente extendidas. Estas unidades que fueron clasificadas en tres categorías: las unidades en uso junto con el SI; las unidades mantenidas temporalmente; las unidades a desaconsejar. Reconsiderando esta clasificación el Comité Internacional (1996) aprobó una nueva clasificación de las unidades de fuera del SI que pueden ser utilizadas con el SI: las unidades de uso con el SI, tabla 6; las unidades en uso junto con el SI cuyo valor es obtenido experimentalmente, tabla 7; las otras unidades de uso junto con el SI, correspondiente a necesidades específicas, tabla 8.

La tabla 6 da a lista de las unidades fuera del SI en uso junto con el SI. Comprende unidades empleadas cotidianamente, en particular las unidades usuales de tiempo y de ángulo, así como otras unidades cada vez más importantes desde el punto de vista técnico.

Tabla 6. Unidades fuera del Sistema Internacional en uso con el Sistema Internacional

Nombre	Símbolo	Valor en unidad SI		
minuto	min	1 min = 60 s		
hora ^(a)	h	1 h = 60 min = 3600 s		
día	d	1 d = 24 h = 86 400 s		
grado ^(b)	°	1° = (π/180) rad		
minuto	'	1' = (1/60)° = (π/10 800) rad		
segundo	"	1" = (1/60)' = (π/648 000) rad		
litro ^(c)	l, L	1 l = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³		
tonelada ^(d,e)	t	1 t = 10 ³ kg		
belio ^(g,h)	B	1 B = (1/2) ln 10 (Np) ⁽ⁱ⁾		
neper ^(f,h)	Np	1 Np = 1		

(a) El símbolo de esta unidad está incluido en la Resolución 7 de la 9^o CGPM (1948; CR, 70).

(b) La norma ISO 31 recomienda que el grado sea subdividido de forma decimal en vez de utilizar el minuto y el segundo.

(c) Esta unidad y el símbolo l han sido adoptados por el Comité Internacional en 1879 (PV, 1879, 41). El otro símbolo, L, ha sido adoptado por la 16^a CGPM (1979, Resolución 6; CR, 101 y Metrología, 1980, 16, 56-57) para evitar el riesgo de confusión entre la letra l y el número 1. La definición actual del litro está dada en la Resolución 6 de la 12^a CGPM (1964; CR, 93).

(d) Esta unidad y su símbolo han sido adoptados por el Comité Internacional en 1879 (PV, 1879, 41).

(e) En algunos países de lengua inglesa, esta unidad lleva el nombre de « metric ton ».

(f) El neper es utilizado para expresar el valor de dimensiones logarítmicas tales como el nivel de campo, nivel de potencia, nivel de presión acústica o el decrecimiento logarítmico. Los logaritmos naturales son utilizados para obtener los valores numéricos de las magnitudes expresadas en neper. El neper es coherente con el SI, pero no ha sido todavía adoptado por la Conferencia General como unidad SI. Para más información, ver la norma internacional ISO 31.

(g) El belio se utiliza para expresar el valor de magnitudes logarítmicas tales como el nivel de campo, nivel de potencia, nivel de presión acústica o la atenuación. Los logaritmos de base diez son utilizados para obtener los valores numéricos de magnitudes expresadas en belios. El submúltiplo decibelio, dB, es de uso corriente. Para más información, ver la norma internacional ISO 31.

(h) Es especialmente importante precisar la magnitud en cuestión cuando se utilizan estas unidades. No hay que contar sobre la unidad para especificar la magnitud.

(i) Np figura entre paréntesis porque, aunque el neper sea coherente con el SI todavía no ha sido adoptado por la Conferencia General.

La tabla 7 menciona tres unidades fuera del SI en uso junto con el SI, cuyo valor expresado en unidades SI se obtiene experimentalmente y no es pues conocido exactamente. Estos valores están acompañados entre paréntesis de incertidumbre-tipo compuesta (factor k : = 1) sobre las dos últimas cifras. Estas unidades son de uso corriente en ciertos ámbitos especializados.

Tabla 7. Unidades fuera del SI en uso junto con el Sistema Internacional cuyo valor en unidades SI es obtenido experimentalmente

Nombre	Símbolo	Definición	Valor en unidad	
--------	---------	------------	-----------------	--

			SI
electrón-voltio ^(a)	eV	(b)	1 eV = 1,602 177 33 (49) · 10 ⁻¹⁹ J
unidad de masa atómica	u	(c)	1 u = 1,660 540 2 (10) · 10 ⁻²⁷ kg
unidad astronómica	ua	(d)	1 ua = 1,495 978 706 91 (30) · 10 ¹¹ m

(a) Los valores del electrón-voltio y de la unidad de masa atómica unificada están dados en CODATA Boletín, 1986, n° 63.

El valor de la unidad astronómica está dado en el IERS Convenciones (1996), D.D. McCarthy ed., IERS Technical Note 21, Observatorio de París, julio 1996.

(b) El electrón-voltio es la energía cinética adquirida por el electrón después de atravesar una diferencia de potencial de 1 V en el vacío.

(c) La unidad de masa unificada es igual a 1/12 de la masa de un átomo del nucleído ¹²C, no ligado, en reposo, y en su estado fundamental. En el dominio de la bioquímica la unidad de masa unificada es también llamada dalton, símbolo Da.

(d) La unidad astronómica es una unidad de longitud; su valor es aproximadamente igual a la distancia media entre la tierra y el sol. Y es tal que, cuando se utiliza para describir movimientos de cuerpos en el sistema solar, la constante gravitacional heliocéntrica es (0.017 202 098 95)² ua³ d⁻².

La tabla 8 menciona otras unidades fuera del SI utilizadas de forma corriente con el SI, con el fin de responder a las necesidades específicas en el campo comercial o jurídico, o a intereses científicos particulares. La equivalencia de esas unidades con las unidades SI debe ser mencionada en todos los documentos en los cuales son utilizadas. Es preferible evitar emplearlas.

Tabla 8. Otras unidades fuera del SI en uso junto con el Sistema Internacional

Nombre	Símbolo	Valor en unidad SI
milla marina ^(a)		1 milla marina = 1852 m
nudo		1 milla marina por hora = (1852/3600) m/s
área ^(b)	a	1 a = 1 dam ² = 100 m ²
hectárea ^(b)	ha	1 ha = 1 hm ² = 10 ⁴ m ²
bar ^(c)	bar	1 bar = 0,1 Mpa = 100 kPa = 10 ⁵ Pa
ångström	Å	1 Å = 0,1 nm = 10 ⁻¹⁰ m
barn ^(d)	b	1 b = 100 fm ² = 10 ⁻²⁸ m ²

(a) La milla marina es una unidad especial empleada en navegación marítima y aérea para expresar la distancia. Este valor fue adoptado por convención por la Primera Conferencia Hidrográfica Internacional extraordinaria, Mónaco, 1929, bajo el nombre de « milla marina internacional ».

No existe símbolo convenido a nivel internacional. En origen, esta unidad fue elegida porque una milla marina en la superficie de la tierra es interceptada aproximadamente por un minuto de ángulo en el centro de la tierra.

(b) Las unidades área y hectárea y sus símbolos fueron adoptados por el Comité Internacional en 1879 (PV, 1879, 41) y son utilizados para expresar superficies agrarias.

(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 empleada en física nuclear para expresar las secciones eficaces.

Otras unidades fuera del SI

Ciertas unidades fuera del SI siguen siendo utilizadas ocasionalmente. Algunas de ellas son importantes para la interpretación de textos

científicos antiguos. Están mencionadas en las tablas 9 y 10, pero es preferible evitar emplearlas.

La tabla 9 da las relaciones entre las unidades CGS y las unidades SI; menciona las unidades CGS que tienen nombres especiales. En el campo de la mecánica, el sistema de unidades CGS está basado en tres magnitudes y sus unidades básicas: el centímetro, el gramo y el segundo. En el campo de la electricidad y del magnetismo, las unidades estaban también expresadas en función de esas tres unidades básicas. Esas unidades podrían ser expresadas de diferentes maneras, varios sistemas diferentes han sido establecidos, por ejemplo el Sistema CGS electrostático, el Sistema CGS electromagnético y el Sistema CGS de Gauss. Estos tres últimos sistemas, el sistema de magnitudes y el sistema de ecuaciones correspondientes son diferentes de los que se utilizan con las unidades SI.

Tabla 9. Unidades CGS derivadas con nombres especiales

Nombre	Símbolo	Valor en unidad SI		
ergio ^(a)	erg	1 erg = 10 ⁻⁷ J		
dina ^(a)	dyn	1 dyn = 10 ⁻⁵ N		
poise ^(a)	P	1 P = 1 dyn s cm ⁻² = 0,1 Pa s		
stokes	St	1 St = 1 cm ² s ⁻¹ = 10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹		
stilb ^(a)	sb	1 sb = 1 cd cm ⁻² = 10 ⁴ cd m ⁻²		
phot	ph	1 ph = 1 cd sr cm ⁻² = 10 ⁴ lx		
gal ^(b)	Gal	1 Gal = 1 cm s ⁻² = 10 ⁻² m s ⁻²		
maxwell ^(c)	Mx	1 Mx = 1 G cm ² = 10 ⁻⁸ Wb		
gauss ^(c)	G	1 G = 1 Mx cm ⁻² = 10 ⁻⁴ T		
øersted ^(c)	Oe	1 Oe $\hat{=}$ (10 ³ /4π) A m ⁻¹		

(a) Esta unidad y su símbolo fueron incluidas en la Resolución 7 de la 9^o CGPM (1948; CR, 70).

(b) El gal es una unidad especial de medida empleada en geodesia y en geofísica para expresar la aceleración debida a la gravedad.

(c) Esta unidad forma parte del Sistema CGS « electromagnético » de tres dimensiones, basado en ecuaciones irracionales cuantitativas, y debe ser comparada con cuidado con las correspondientes unidades del Sistema Internacional, basado en ecuaciones racionales suponiendo cuatro dimensiones y cuatro cantidades para la teoría de electromagnetismo. El flujo magnético, Φ, y la densidad de flujo magnético, B, están definidas por ecuaciones similares en los sistemas CGS y SI, por ello las correspondientes unidades pueden ser relacionadas tal como se muestra en la tabla. No obstante, el campo magnético irracionalizado, H (irracionalizado) = 4π x H (racionalizado). El símbolo de equivalencia $\hat{=}$ se utiliza para indicar que cuando H(irracionalizado) = 1 Oe, H(racionalizado) = (10³/4π) A m⁻¹

La tabla 10 concierne a las unidades de uso corriente en los textos antiguos. Es preferible evitarlas en los textos actuales si no se quiere perder las ventajas del SI. Cada vez que estas unidades sean mencionadas en un documento, conviene precisar su equivalencia en unidades SI.

Tabla 10. Ejemplos de otras unidades fuera del Sistema Internacional

Nombre	Símbolo	Valor en unidad SI		
curie ^(a)	Ci	1 Ci = 3,7 x 10 ¹⁰ Bq		
röntgen ^(b)	R	1 R = 2,58 x 10 ⁻⁴ C/kg		
rad ^(c,f)	rad	1 rad = 1 cGy = 10 ⁻² Gy		
rem ^(d,f)	rem	1 rem = 1 cSv = 10 ⁻² Sv		
Unidad X ^(e)		1 Unidad X \cong 1,002 x 10 ⁻⁴ nm		

gamma ^(f)	γ	$1 \gamma = 1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{ T}$		
jansky	Jy	$1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$		
fermi ^(f)		$1 \text{ fermi} = 1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$		
quilate ^(g)		$1 \text{ quilate} = 200 \text{ mg} = 2 \times 10^{-4} \text{ kg}$		
torr	Torr	$1 \text{ Torr} = (101325/760) \text{ Pa}$		
atmosfera normal ^(h)	atm	$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$		
caloria	cal	(i)		
micra ^(f)	μ	$1 \mu = 1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$		

(a) El curie es una unidad empleada en física nuclear para expresar la actividad de los radionucléidos (12ª CGPM, 1964, Resolución 7; CR, 94).

(b) El röntgen es una unidad especial empleada para expresar la exposición a la radiación x o Y.

(c) El rad es una unidad especial empleada para expresar la dosis absorbida de radiación ionizante. Cuando existe un riesgo de confusión con el símbolo del radián, se puede utilizar rd como símbolo del rad.

(d) El rem es una unidad especial empleada en radio-protección para expresar la equivalencia de dosis.

(e) La unidad X se empleaba para expresar las longitudes de onda de los rayos x. Su equivalencia con la unidad SI es aproximada.

(f) Esta unidad fuera del sistema SI es equivalente a un submúltiplo decimal de una unidad SI.

(g) El quilate fue adoptado por la 4ª CGPM en 1907 (CR, 89-91) para el comercio de los diamantes, perlas finas y piedras preciosas.

(h) Resolución 4 de la 10ª CGPM (1954; CR, 79). La designación « atmósfera normal » queda admitida para la presión de referencia de 101325 Pa.

(i) Varias calorías han estado en uso :

* Caloría llamada «a 15 ° C» : $1 \text{ Cal}_{15} = 4,1855 \text{ J}$ (valor adoptado por el Comité Internacional en 1950; PV, 1950, 22, 79-80);

* Caloría llamada «IT» (International Table): $1 \text{ cal}_{\text{IT}} = 4,1868 \text{ J}$ (5th International Conference on Properties of Steam, Londres, 1956);

* Caloría llamada «Termoquímica» : $1 \text{ cal}_{\text{th}} = 4,184 \text{ J}$.

(j) La micra y su símbolo adoptados por el Comité Internacional en 1879 (PV, 1979, 41) y retomado en la Resolución 7 de la 9ª CGPM (1948; CR, 70), fueron suprimidos por la 13ª CGPM (1967-1968, Resolución 7; CR, 105 y Metrología, 1968, 4, 44).

1.4 Reglas de escrituras de nombres y símbolos de las unidades SI

Principios generales

Los principios generales concernientes a la escritura de los símbolos de las unidades y de los nombres fueron primero propuestos por la 9ª CGPM (1948, Resolución 7). Después fueron adoptados y puestos en formato por la ISO/TC 12 (ISO 31, Magnitudes y unidades).

Símbolos de las unidades SI

Los símbolos de las unidades SI (y muchos otros símbolos de las unidades fuera del SI) deben ser escritos según las reglas siguientes:

- Los símbolos de las unidades se imprimen en caracteres romanos (rectos). En general los símbolos de las unidades se escriben en minúsculas, pero, si el nombre de la unidad deriva de un nombre propio, la primera letra del símbolo es mayúscula. El nombre de la unidad propiamente dicha comienza siempre por una minúscula, salvo si se trata de la primera palabra de una frase o del nombre «grado Celsius».

- Los símbolos de las unidades quedan invariables en plural.

- Los símbolos de las unidades no están seguidos por un punto, salvo si se encuentran situados al final de una frase, el punto releva en este caso de la puntuación habitual.

Expresión algebraica de los símbolos de las unidades SI

De acuerdo con los principios generales adoptados por la ISO/TC 12 (ISO 31), el Comité Internacional recomienda que las expresiones algebraicas que comprenden símbolos de unidades SI deben expresarse bajo una forma normalizada.

- Cuando una unidad derivada está formada multiplicando dos o varias unidades, está expresada con la ayuda de símbolos de unidades separados por puntos a media altura o por un espacio.

Por ejemplo: N·m o N m.

· Cuando una unidad derivada está formada dividiendo una unidad por otra, se puede utilizar una barra inclinada (/), una barra horizontal o bien exponentes negativos.

Por ejemplo: m/s o m·s⁻¹.

· No se debe nunca hacer seguir sobre una misma línea una barra inclinada de un signo de multiplicación o de división, al menos que paréntesis sean añadidos a fin de evitar toda ambigüedad.

Por ejemplo : m/s² o m·s⁻² pero no m/s/s

m·kg/(s³·A) o m·kg·s⁻³·A⁻¹ ni m·kg/s³/A ni m·kg/s³·A.

Reglas de empleo de los prefijos SI

De acuerdo con los principios generales adoptados por la ISO (ISO 31), el Comité Internacional recomienda que se observen las reglas siguientes en el empleo de los prefijos SI:

· Los símbolos de los prefijos se imprimen en caracteres romanos (rectos), sin espacio entre el símbolo del prefijo y el símbolo de la unidad.

· El conjunto formado por el símbolo de un prefijo junto al símbolo de una unidad constituye un nuevo símbolo inseparable (símbolo de un múltiplo o submúltiplo de esta unidad) que se puede elevar a una potencia positiva o negativa y combinar con otros símbolos de unidades para formar símbolos de unidades compuestas.

Por ejemplo: 1 cm³ = (10⁻² m)³ = 10⁻⁶ m³

μs⁻¹ = (10⁻⁶ s)⁻¹ = 10⁶ s⁻¹

1 V/cm = (1 V)/(10⁻² m) = 10² V/m

1 cm⁻¹ = (10⁻² m)⁻¹ = 10² m⁻¹. · No se deben utilizar los prefijos compuestos, es decir formados por la yuxtaposición de varios prefijos.

Por ejemplo: 1 nm pero no 1 mμm.

· Un prefijo no debe ser nunca empleado solo.

Por ejemplo: 10⁶/m³ pero no M/m³.

Notación numérica

1. Debe dejarse un espacio entre grupos de 3 dígitos, tanto a la izquierda como a la derecha de la coma (15 739,012 53). En números de cuatro dígitos puede omitirse dicho espacio. La coma no debe usarse como separador de los miles.

2. Las operaciones matemáticas solo deben aplicarse a símbolos de unidades (kg/m³) y no a nombres de unidades (kilogramo/metro cúbico).

3. Debe estar perfectamente claro a qué símbolo de unidad pertenece el valor numérico y qué operación matemática se aplica al valor de la magnitud:

Ejemplos: 35 cm x 48 cm pero no 35 x 48 cm

100 g ± 2 g pero no 100 ± 2g

(BIPM: Sistema Internacional de Unidades, 7ª edición, suplemento 2000)

Metrología > Glosario de Términos

[1. Magnitudes y unidades](#)

[2. Mediciones](#)

[3. Resultados de medición](#)

[4. Instrumentos de medida](#)

[5. Características de los instrumentos de medida](#)

[6. Patrones](#)

[7. Términos y conceptos estadísticos](#)

[8. Incertidumbre de medida](#)

1. MAGNITUDES Y UNIDADES

► 1.1 Magnitud (mensurable)

Atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia, que es susceptible de ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente.

NOTA:
1. El término 'magnitud' puede referirse a una magnitud en sentido general [ver ejemplo a)] o a una magnitud particular [ver ejemplo b)].

EJEMPLOS:

a) Magnitudes en sentido general: longitud, tiempo, masa, temperatura, resistencia eléctrica, concentración en cantidad de sustancia;

b) Magnitudes particulares:

- longitud de una varilla determinada
- resistencia eléctrica de un hilo conductor determinado
- concentración en cantidad de sustancia de etanol en una muestra dada de vino

2. Las magnitudes que pueden clasificarse unas con respecto a otras en orden creciente (o decreciente) se denominan magnitudes de la misma naturaleza.

3. Las magnitudes de la misma naturaleza pueden agruparse juntas en categorías de magnitudes, por ejemplo:

- trabajo, calor, energía
- espesor, circunferencia, longitud de onda

4. Los símbolos de las magnitudes se dan en ISO 31.

► 1.2 Sistema de magnitudes

Conjunto de magnitudes, en sentido general, entre las cuales existen relaciones definidas

► 1.3 Magnitud básica

Cualquiera de las magnitudes que, en un sistema de magnitudes, se aceptan por convenio como funcionalmente independientes las unas de las otras.

EJEMPLO:
Las magnitudes longitud, masa y tiempo son generalmente tomadas como magnitudes básicas en el campo de la mecánica.

NOTA:
Las magnitudes básicas correspondientes a las unidades básicas del Sistema Internacional de unidades (SI) se dan en la nota del 1.12.

► 1.4 Magnitud derivada

Magnitud definida, en un sistema de magnitudes, como una función de las magnitudes básicas de este sistema.

EJEMPLO:

En un sistema que tiene como unidades básicas la longitud, la masa y el tiempo, la velocidad es una magnitud derivada definida como el cociente de la longitud por el tiempo.

► 1.5 Dimensión de una magnitud

Expresión que representa una magnitud de un sistema de magnitudes como el producto de potencias de factores que representan las magnitudes básicas de este sistema.

EJEMPLOS:

a) En un sistema que tiene como unidades básicas la longitud, la masa y el tiempo, cuyas dimensiones se designan respectivamente por L, M y T, la dimensión de la fuerza es LMT^{-2} .

b) En este mismo sistema de magnitudes, ML^{-3} es la dimensión tanto de la concentración en masa como la densidad de masa.

NOTAS:

1. El factor que representa una magnitud básica se denomina "dimensión" de esta magnitud básica
2. Para las particularidades del álgebra de dimensiones, ver ISO 31-0

► 1.6 Magnitud de dimensión uno o Magnitud adimensional

Magnitud en cuya expresión dimensional todos los exponentes de las dimensiones de las magnitudes básicas se reducen a cero.

EJEMPLOS:

Dilatación lineal relativa, factor de rozamiento, número de Mach, índice de refracción, fracción molar, fracción en masa.

► 1.7 Unidad (de medida)

Magnitud particular, definida y adoptada por convenio, con la que se comparan otras magnitudes de la misma naturaleza para expresarlas cuantitativamente con respecto a esta magnitud.

NOTAS:

1. Las unidades de medida tienen asignados por convenio sus nombres y símbolos.
2. Las unidades de las magnitudes que tienen la misma dimensión pueden tener el mismo nombre y el mismo símbolo, incluso si estas magnitudes no son de la misma naturaleza.

► 1.8 Símbolo de una unidad (de medida)

Signo convencional que designa una unidad de medida.

EJEMPLOS:

- a) m es el símbolo del metro
- b) A es el símbolo del ampère

► 1.9 Sistema de unidades (de medida)

Conjunto de las unidades básicas y de las unidades derivadas, definidas según reglas dadas, para un sistema de magnitudes determinado.

EJEMPLOS:

- a) Sistema Internacional de unidades, SI
- b) Sistema de unidades CGS

► 1.10 Unidad (de medida) (derivada) coherente

Unidad de medida derivada que puede expresarse como un producto de potencias de las unidades básicas con un factor de proporcionalidad igual a uno.

NOTA:

La coherencia puede establecerse solamente con respecto a las unidades básicas de un sistema determinado. Una unidad puede ser coherente en un sistema y no serlo en otro.

► 1.11 Sistema coherente de unidades (de medida)

Sistema de unidades de medida en el que todas las unidades de medida son coherentes.

EJEMPLO:

Las unidades siguientes (expresadas por sus símbolos) forman parte del sistema coherente de unidades de la mecánica en el Sistema Internacional de unidades, SI:

m; kg; s;

m^2 ; m^3 ; $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$; $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$;

$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $\text{N} = \text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$;

$\text{Pa} = \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$; $\text{J} = \text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$;

$\text{W} = \text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-3}$

► 1.12 Sistema Internacional de unidades, SI

Sistema coherente de unidades adoptado y recomendado por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM).

NOTA:

El SI se basa actualmente en las siete unidades básicas siguientes:

Magnitud	Nombre	Símbolo
longitud	metro	m
masa	kilogramo	kg
tiempo	segundo	s
corriente eléctrica	ampère	A
temperatura termodinámica	kelvin	K
cantidad de sustancia	mol	mol
intensidad luminosa	candela	cd

► 1.13 Unidad básica (de medida)

Unidad de medida de una magnitud básica en un sistema de magnitudes dado.

NOTA:

En todo sistema de unidades coherente, hay una sola unidad básica para cada magnitud básica.

► 1.14 Unidad derivada (de medida)

Unidad de medida de una magnitud derivada en un sistema de magnitudes dado.

NOTA:

Determinadas unidades derivadas tienen nombres y símbolos especiales; por ejemplo, en el Sistema SI:

Magnitud	Nombre	Símbolo
fuerza	newton	N
energía	joule	J
presión	pascal	Pa

► 1.15 Unidad (de medida) fuera del sistema

Unidad de medida que no pertenece a un sistema de unidades dado.

EJEMPLOS:

- El electronvolt (aproximadamente $1,602\ 18 \times 10^{-19}$ J) es una unidad de energía fuera del sistema SI
- El día, la hora, el minuto, son unidades de tiempo fuera del sistema SI

► 1.16 Múltiplo de una unidad (de medida)

Unidad de medida mayor que una unidad dada y formada a partir de ella según un escalonamiento establecido por convenio.

EJEMPLOS:

- Uno de los múltiplos decimales del metro es el kilómetro
- Uno de los múltiplos no decimales del segundo es la hora

► 1.17 Submúltiplo de una unidad (de medida)

Unidad de medida menor que una unidad dada y formada a partir de ella según un escalonamiento establecido por convenio.

EJEMPLO:

Uno de los submúltiplos decimales del metro es el milímetro.

► 1.18 Valor (de una magnitud)

Expresión cuantitativa de una magnitud particular, generalmente en forma de una unidad de medida multiplicada por un número.

EJEMPLOS:

- a) Longitud de una varilla: 5,34 m ó 534 cm;
- b) Masa de un cuerpo: 0,152 kg ó 152 g;
- c) Cantidad de sustancia de una muestra de agua (H₂O): 0,012 mol ó 12 mmol

NOTAS:

- 1. El valor de una magnitud puede ser positivo, negativo o nulo.
- 2. El valor de una magnitud puede expresarse en más de una forma.
- 3. Los valores de las magnitudes de dimensión uno se expresan generalmente en forma de números.
- 4. Ciertas magnitudes, para las que no se puede definir su relación con la unidad, pueden expresarse por referencia a una escala convencional de referencia o a un procedimiento de medida especificado, o a ambos.

► 1.19 Valor verdadero (de una magnitud)

Valor en consistencia con la definición de una magnitud particular dada.

NOTAS:

- 1. Es un valor que se obtendría por una medición perfecta.
- 2. Todo valor verdadero es por naturaleza indeterminado.
- 3. Es mejor utilizar en conjunción con 'valor verdadero' el artículo indefinido 'un' que el artículo definido 'el' porque el valor verdadero puede tener varios valores que se correspondan con la definición de una magnitud particular dada.

► 1.20 Valor convencionalmente verdadero (de una magnitud)

Valor atribuido a una magnitud particular y aceptado, algunas veces por convenio, como teniendo una incertidumbre apropiada para un uso dado.

EJEMPLOS:

- a) En un lugar dado, el valor atribuido a la magnitud realizada por un patrón de referencia puede ser tomado como un valor convencionalmente verdadero
- b) El valor de la constante de Avogadro, $N_A = 6,022\ 136\ 7 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, recomendado por CODATA (1986)

NOTAS:

- 1. El valor convencionalmente verdadero es denominado, a veces, valor asignado, mejor estimación del valor, valor convencional o valor de referencia. En este sentido, el término 'valor de referencia' no debe confundirse con el mismo término utilizado en el sentido de la nota 5.7.
- 2. A menudo se utiliza un gran número de resultados de medida de una magnitud para establecer un valor convencionalmente verdadero.

► 1.21 Valor numérico (de una magnitud)

Número que multiplica a la unidad de medida en la expresión del valor de una magnitud.

EJEMPLOS:

En los ejemplos de 1.18, los números:

- a) 5,34, 534
- b) 0,152, 152
- c) 0,012, 12

► 1.22 Escala convencional de referencia

Para magnitudes particulares de una naturaleza dada, conjunto ordenado de valores, continuo o discreto, definido por convenio como referencia para clasificar en orden creciente o decreciente las magnitudes de esta naturaleza.

EJEMPLOS:

- a) La escala de dureza de Mohs
 - b) La escala de pH en química
 - c) La escala de índices de octano para los carburantes
-

2. MEDICIONES

▶ 2.1 Medición

Conjunto de operaciones que tienen por finalidad determinar un valor de una magnitud.

NOTA:

El desarrollo de las operaciones puede ser automático.

▶ 2.2 Metrología

Ciencia de la medida.

NOTA:

La metrología comprende todos los aspectos, tanto teóricos como prácticos, que se refieren a las mediciones, cualesquiera que sean sus incertidumbres, y en cualesquiera de los campos de la ciencia y de la tecnología en que tengan lugar.

▶ 2.3 Principio de medida

Base científica de una medición.

EJEMPLOS:

- a) El efecto termoeléctrico utilizado para la medición de la temperatura
- b) El efecto Josephson utilizado para la medición de la tensión eléctrica
- c) El efecto Doppler utilizado para la medición de la velocidad
- d) El efecto Raman utilizado para la medición del número de ondas de las vibraciones moleculares.

▶ 2.4 Método de medida

Sucesión lógica de las operaciones, descritas de una forma genérica, utilizadas en la ejecución de las mediciones.

NOTA:

El método de medida puede ser calificado de diversas formas tales como:

- Método de sustitución
- Método diferencial
- Método de cero

▶ 2.5 Procedimiento de medida

Conjunto de operaciones, descritas de forma específica, utilizadas en la ejecución de mediciones particulares según un método dado.

NOTA:

El procedimiento de medida está habitualmente descrito en un documento a menudo él mismo denominado 'procedimiento de medida' (o 'método de medida') que da suficientes detalles para que un operador pueda efectuar una medición sin necesidad de otras informaciones.

▶ 2.6 Mensurando

Magnitud particular sometida a medición.

EJEMPLO:

Presión de vapor de una muestra dada de agua a 20 °C.

NOTA:

La definición del mensurando puede necesitar indicaciones relativas a magnitudes tales como el tiempo, la temperatura y la presión.

▶ 2.7 Magnitud de influencia

Magnitud que no es el mensurando pero que tiene un efecto sobre el resultado de la medición.

EJEMPLOS:

- a) Temperatura de un micrómetro en la medida de una longitud
- b) Frecuencia en la medida de la amplitud de una tensión eléctrica alterna
- c) Concentración de bilirrubina en la medida de la concentración de hemoglobina en una muestra de plasma sanguíneo humano.

▶ 2.8 Señal de medida

Magnitud que representa al mensurando y con el que está funcionalmente relacionado.

EJEMPLOS:

- a) La señal eléctrica de salida de un transductor de presión
- b) La frecuencia dada por un convertidor de tensión-frecuencia
- c) La fuerza electromotriz de una célula electroquímica de concentración utilizada para medir una diferencia de concentración

NOTA:

La señal de entrada de un sistema puede denominarse 'estímulo'; la señal de salida puede denominarse 'respuesta'.

► 2.9 Valor transformado (de un mensurando)

valor de una señal de medida que representa a un mensurando dado.

3. RESULTADOS DE MEDICIÓN

► 3.1 Resultado de una medición

Valor atribuido a un mensurando, obtenido por medición.

NOTAS:

1. Cuando se da un resultado, se indicará claramente si se refiere:

- A la indicación
- Al resultado sin corregir
- Al resultado corregido

y si aquél proviene de una media obtenida a partir de varios valores.

2. Una expresión completa del resultado de una medición incluye información sobre la incertidumbre de medida.

► 3.2 Indicación (de un instrumento de medida)

Valor de una magnitud proporcionado por un instrumento de medida.

NOTAS:

1. El valor leído sobre el dispositivo visualizador puede denominarse indicación directa; la cual deberá multiplicarse por la constante del instrumento para obtener la indicación.

2. La magnitud puede ser el mensurando, una señal de medida o cualquier otra magnitud utilizada para calcular el valor del mensurando.

3. Para una medida materializada, la indicación es el valor que le es asignado.

► 3.3 Resultado sin corregir

Resultado de una medición antes de la corrección del error sistemático.

► 3.4 Resultado corregido

Resultado de una medición después de la corrección del error sistemático.

► 3.5 Exactitud de medida

Grado de concordancia entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando.

NOTAS:

1. El concepto 'exactitud' es cualitativo.

2. El término 'precisión' no debe utilizarse por 'exactitud'.

► 3.6 Repetibilidad (de los resultados de las mediciones)

Grado de concordancia entre resultados de sucesivas mediciones del mismo mensurando, mediciones efectuadas con aplicación de la totalidad de las mismas condiciones de medida.

NOTAS:

1. Estas condiciones se denominan condiciones de repetibilidad.

2. Las condiciones de repetibilidad comprenden

- El mismo procedimiento de medida
- El mismo observador

- El mismo instrumento de medida utilizado en las mismas condiciones
- El mismo lugar
- Repetición durante un corto periodo de tiempo

3. La repetibilidad puede expresarse cuantitativamente por medio de las características de dispersión de los resultados.

► 3.7 Reproducibilidad (de los resultados de las mediciones)

Grado de concordancia entre los resultados de las mediciones del mismo mensurando, mediciones efectuadas bajo diferentes condiciones de medida.

NOTAS:

1. Para que una expresión de la reproducibilidad sea válida, es necesario especificar las condiciones que han variado.
2. Las condiciones variables pueden comprender:
 - principio de medida
 - método de medida
 - observador
 - instrumento de medida
 - patrón de referencia
 - lugar
 - condiciones de utilización
 - tiempo
3. La reproducibilidad puede expresarse cuantitativamente por medio de las características de dispersión de los resultados.
4. Los resultados aquí considerados son habitualmente resultados corregidos.

► 3.8 Desviación estándar experimental

Para una serie de n mediciones de un mismo mensurando, la magnitud s que caracteriza la dispersión de los resultados, dada por la fórmula:

siendo x_i el resultado de la i -ésima medición y \bar{x} la media aritmética de los n resultados considerados.

NOTAS:

1. Considerando la serie de n valores como muestra de una distribución, \bar{x} es un estimador insesgado de la media μ , y s^2 es un estimador insesgado de la varianza σ^2 de dicha distribución.
2. La expresión s/n es una estimación de la desviación estándar de la distribución de \bar{x} y se denomina desviación estándar experimental de la media.
3. La desviación estándar experimental de la media en ocasiones se denomina, incorrectamente, error de la media.

► 3.9 Incertidumbre de medida

Parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando.

NOTAS:

1. El parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación estándar (o un múltiplo de ésta) o la semiamplitud de un intervalo con un nivel de confianza determinado.
2. La incertidumbre de medida comprende, en general, varios componentes. Algunos pueden ser evaluados a partir de la distribución estadística de los resultados de series de mediciones y pueden caracterizarse por sus desviaciones estándar experimentales. Los otros componentes, que también pueden ser caracterizados por desviaciones estándar, se evalúan asumiendo distribuciones de probabilidad, basadas en la experiencia adquirida o en otras informaciones.
3. Se entiende que el resultado de la medición es la mejor estimación del valor del mensurando, y que todos los componentes de la incertidumbre, comprendidos los que provienen de efectos sistemáticos, tales como los componentes asociados a las correcciones y a los patrones de referencia, contribuyen a la dispersión.

Esta definición es la de la 'Guía para la expresión de la incertidumbre de medida' donde sus bases están expuestas con detalle (en particular ver 2.2.4 y el anexo D [10]).

► 3.10 Error (de medida)

Resultado de una medición menos un valor verdadero del mensurando.

NOTAS:

1. Considerando que un valor verdadero no puede ser determinado, en la práctica se utiliza un valor convencionalmente verdadero (ver 1.19 y 1.20).
2. Cuando sea necesario hacer la distinción entre 'error' y 'error relativo', el primero es a veces denominado 'error absoluto de medida'. No hay que confundirlo con el valor absoluto del error, que es el módulo del error.

▶ 3.11 Desviación

Valor menos su valor de referencia.

▶ 3.12 Error relativo

Relación entre el error de medida y un valor verdadero del mensurando.

NOTA:
Considerando que un valor verdadero no puede ser determinado, en la práctica se utiliza un valor convencionalmente verdadero (ver 1.19 y 1.20).

▶ 3.13 Error aleatorio

Resultado de una medición menos la media de un número infinito de mediciones del mismo mensurando, efectuadas bajo condiciones de repetibilidad.

NOTAS:

1. El error aleatorio es igual al error menos el error sistemático.
2. Como no pueden hacerse más que un número finito de mediciones, solamente es posible determinar una estimación del error aleatorio.

▶ 3.14 Error sistemático

Media que resultaría de un número infinito de mediciones del mismo mensurando efectuadas bajo condiciones de repetibilidad, menos un valor verdadero del mensurando.

NOTAS:

1. El error sistemático es igual a error menos el error aleatorio.
2. El valor verdadero, como el error sistemático y sus causas, no pueden ser conocidos completamente.
3. Para un instrumento de medida, ver 'error de justeza' (5.25).

▶ 3.15 Corrección

Valor sumado algebraicamente al resultado sin corregir de una medición para compensar un error sistemático.

NOTAS:

1. La corrección es igual al opuesto del error sistemático estimado.
2. Puesto que el error sistemático no puede conocerse perfectamente, la compensación no puede ser completa.

▶ 3.16 Factor de corrección

Factor numérico por el que se multiplica el resultado sin corregir de una medición para compensar un error sistemático.

NOTA:

Puesto que el error sistemático no puede conocerse perfectamente, la compensación no puede ser completa.

4. INSTRUMENTOS DE MEDIDA

▶ 4.1 Instrumento de medida, aparato de medida

Dispositivo destinado a utilizarse para hacer mediciones, sólo o asociado a uno o varios dispositivos anexos.

▶ 4.2 Medida materializada

Dispositivo destinado a reproducir o a proporcionar, de una manera permanente durante su utilización, uno o varios valores conocidos de una magnitud dada.

EJEMPLOS:

- a) masa contrastada
- b) medida de volumen (de uno o varios valores, con o sin escala)
- c) resistencia eléctrica patrón

- d) bloque patrón
- e) generador de señales patrón
- f) material de referencia

NOTA:

La magnitud en cuestión puede denominarse magnitud proporcionada.

► 4.3 Transductor de medida

Dispositivo que hace corresponder a una magnitud de entrada otra de salida según una ley determinada.

EJEMPLOS:

- a) termopar
- b) transformador de intensidad
- c) galga extensométrica
- d) electrodo de pH

► 4.4 Cadena de medida

Serie de elementos de un instrumento de medida o de un sistema de medida que constituye el camino que recorre la señal de medida desde la entrada hasta la salida.

EJEMPLO:

Una cadena de medida electroacústica comprendiendo un micrófono, un atenuador, un filtro, un amplificador y un voltímetro.

► 4.5 Sistema de medida

Conjunto completo de instrumentos de medida y otros equipos ensamblados para ejecutar mediciones específicas.

EJEMPLOS:

- a) equipamiento para medir la conductividad de los materiales semiconductores
- b) equipamiento para calibrar termómetros clínicos

NOTAS:

1. El sistema puede comprender medidas materializadas y reactivos químicos.
2. Un sistema de medida instalado permanentemente se denomina instalación de medida.

► 4.6 Instrumento (de medida) visualizador

Instrumento de medida que muestra una indicación.

EJEMPLOS:

- a) voltímetro con indicación analógica
- b) frecuencímetro digital
- c) micrómetro

NOTAS:

1. La indicación puede ser analógica (continua o discontinua) o digital.
2. Los valores de varias magnitudes pueden indicarse simultáneamente.
3. Un instrumento de medida visualizador puede, además, proporcionar un registro.

► 4.7 Instrumento (de medida) registrador

Instrumento de medida que proporciona un registro de la indicación.

EJEMPLOS:

- a) barógrafo
- b) dosímetro termoluminiscente
- c) espectrómetro registrador

NOTAS:

1. El registro (visualización) puede ser analógico (línea continua o discontinua) o digital.
2. Los valores de varias magnitudes pueden registrarse (visualizarse) simultáneamente.
3. Un instrumento registrador también puede visualizar una indicación.

► 4.8 Instrumento (de medida) totalizador

Instrumento de medida que determina el valor de un mensurando por adición de los valores parciales de este mensurando obtenidos simultánea o consecutivamente de una o varias fuentes.

EJEMPLOS:

- a) báscula-puente totalizadora para ferrocarriles
- b) instrumento de medida totalizador de potencia eléctrica

► 4.9 Instrumento (de medida) integrador

Instrumento de medida que determina el valor de un mensurando integrando una magnitud en función de otra magnitud.

EJEMPLO:

Contador de energía eléctrica

► 4.10 Instrumento de medida (con indicación) analógico

Instrumento de medida en el cual la señal de salida o la visualización es una función continua del mensurando o de la señal de entrada.

NOTA:

Este término se refiere a la forma de presentación de las señales de salida o de la visualización, no al principio de funcionamiento del instrumento.

► 4.11 Instrumento de medida (con indicación) digital

Instrumento de medida que proporciona una señal de salida o una visualización en forma digital.

NOTA:

Este término se refiere a la forma de presentación de las señales de salida o de la visualización, no al principio de funcionamiento del instrumento.

► 4.12 Dispositivo visualizador, dispositivo indicador

Parte de un instrumento de medida que visualiza una indicación.

NOTAS:

1. Este término puede incluir el dispositivo por medio del cual el valor suministrado por una medida materializada se visualiza o ajusta.
2. Un dispositivo visualizador analógico proporciona una visualización analógica; un dispositivo visualizador digital proporciona una visualización digital.
3. Una forma de presentación de la visualización, bien por medio de una visualización digital en el que la cifra de menor valor significativo se desplaza continuamente, permitiendo también la interpolación, o bien por medio de una visualización digital suplementada por una escala y un índice, se denomina visualización semi-digital.

► 4.13 Dispositivo registrador

Parte de un instrumento de medida que proporciona un registro de una indicación.

► 4.14 Sensor

Elemento de un instrumento de medida o de una cadena de medida que está directamente sometido a la acción del mensurando.

EJEMPLOS:

- a) unión de medida de un termómetro termoelectrónico
- b) rotor de un caudalímetro de turbina
- c) tubo Bourdon de un manómetro
- d) flotador de un instrumento de medida de nivel
- e) receptor fotoeléctrico de un espectrofotómetro

NOTA:

En ciertos campos, se utiliza para este concepto el término 'detector'.

► 4.15 Detector

Dispositivo o sustancia que indica la presencia de un fenómeno sin proporcionar necesariamente un valor de una magnitud asociada.

EJEMPLOS:

- a) detector de fugas de halógeno
- b) papel de tornasol

NOTAS:

1. Una indicación puede producirse solamente cuando el valor de la magnitud alcanza un umbral dado, algunas veces denominado umbral de detección del detector.

2 En determinados campos, el término 'detector' se utiliza para el concepto 'sensor'.

► 4.16 Índice

Parte fija o móvil de un dispositivo indicador cuya posición, con referencia a los trazos de una escala, permite determinar un valor indicado.

EJEMPLOS:

- a) aguja
- b) punto luminoso
- c) superficie de un líquido
- d) plumilla registradora

► 4.17 Escala (de un instrumento de medida)

Conjunto ordenado de trazos con cualquier numeración asociada, que forma parte de un dispositivo indicador de un instrumento de medida.

► 4.18 Longitud de escala

Para una escala dada, longitud de la línea uniforme comprendida entre el primero y el último trazo y que pasa por los puntos medios de los trazos más pequeños.

NOTAS:

1. La línea puede ser real o imaginaria, curva o recta.

2. La longitud de la escala se expresa en unidades de longitud, cualquiera que sea la unidad del mensurando o la unidad marcada sobre la escala.

► 4.19 Rango de indicación

Conjunto de valores limitado por las indicaciones extremas.

NOTAS:

1. Para una visualización analógica, este conjunto puede denominarse 'rango de escala'.

2. El rango de las indicaciones se expresa en unidades de la visualización, cualquiera que sea la unidad del mensurando y se especifica normalmente por sus límites inferior y superior, por ejemplo 100 °C a 200 °C.

3. Ver nota de 5.2

► 4.20 División (de escala)

Parte de una escala comprendida entre dos trazos consecutivos cualesquiera.

► 4.21 Longitud de una división (de escala)

Distancia entre dos trazos sucesivos, medida a lo largo de la misma línea que para la longitud de la escala.

NOTA:

La longitud de una división se expresa en unidades de longitud, cualquiera que sea la unidad del mensurando o la unidad marcada sobre la escala.

► 4.22 Escalón, valor de una división (de escala)

Diferencia entre los valores correspondientes a dos trazos sucesivos.

NOTA:

El escalón se expresa en las unidades marcadas sobre la escala, cualquiera que sea la unidad del mensurando.

► 4.23 Escala lineal

Escala en la que la longitud y el valor de cada división están relacionados por un coeficiente de proporcionalidad constante a lo largo de la escala.

NOTA:

Una escala lineal cuyos escalones son constantes se denomina escala regular.

► 4.24 Escala no lineal

Escala en la que la longitud y el valor de cada división están relacionados por un coeficiente de proporcionalidad no constante a lo largo de la escala.

NOTA:

Ciertas escalas no lineales se designan con nombres especiales tales como escala logarítmica, escala cuadrática.

► 4.25 Escala con cero decalado

Escala cuyo rango no incluye el valor cero.

EJEMPLO:

Escala de un termómetro clínico.

► 4.26 Escala expandida

Escala en la que una parte del rango ocupa una longitud relativamente más grande que las otras partes.

► 4.27 Dial

Parte fija o móvil de un dispositivo visualizador que lleva la o las escalas.

NOTA:

En ciertos dispositivos de visualización, el dial toma la forma de rodillos o de discos cifrados desplazándose con respecto a un índice fijo o a una ventana.

► 4.28 Numeración de una escala

Conjunto ordenado de números asociados a los trazos de la escala.

► 4.29 Marcado de escala (de un instrumento de medida)

Posicionamiento material de cada marca (eventualmente de determinadas marcas principales solamente) de un instrumento de medida en función del valor correspondiente del mensurando.

► 4.30 Ajuste (de un instrumento de medida)

Operación destinada a llevar un instrumento de medida a un estado de funcionamiento conveniente para su utilización.

NOTA:

El ajuste puede ser automático, semiautomático o manual.

► 4.31 Reglaje (de un instrumento de medida)

Ajuste utilizando únicamente los medios puestos a disposición del usuario.

5. CARACTERÍSTICAS DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA

► 5.1 Rango nominal

Rango de las indicaciones que pueden obtenerse mediante ajustes particulares de los controles de un instrumento de medida.

NOTAS:

1. El rango nominal se expresa normalmente por sus límites inferior y superior; por ejemplo, '100 °C a 200 °C'. Cuando el límite inferior es cero, el rango nominal se expresa habitualmente solo por el límite superior; por ejemplo, un rango nominal de 0 V a 100 V como '100 V'.

2. Ver nota de 5.2

► 5.2 Intervalo de medida

Módulo de la diferencia entre los dos límites de un rango nominal.

EJEMPLO:

Para un rango nominal de -10 V a +10 V, el intervalo de medida es 20 V.

NOTA:

En ciertas áreas científicas, la diferencia entre los valores mayor y menor se denomina rango.

► 5.3 Valor nominal

Valor redondeado o aproximado de una característica de un instrumento de medida que sirve de guía para su utilización.

EJEMPLOS:

- El valor 100 Ω marcado sobre una resistencia patrón
- El valor 1 L marcado sobre una vasija calibrada con un único trazo
- El valor 0,1 mol/L de la concentración en cantidad de sustancia de una solución de ácido clorhídrico, HCl
- El valor 25 °C del punto de control de un baño termostático

► 5.4 Rango de medida

Conjunto de valores del mensurando para los que el error de un instrumento de medida se supone comprendido entre los límites especificados.

NOTAS:

- El error se establece por referencia a un valor convencionalmente verdadero.
- Ver nota de 5.2

► 5.5 Condiciones nominales de funcionamiento

Condiciones de utilización para las que las características metroológicas específicas de un instrumento de medida se supone que están comprendidas entre límites dados.

NOTA:

Las condiciones nominales de funcionamiento especifican generalmente valores nominales asignados para el mensurando y para las magnitudes de influencia.

► 5.6 Condiciones límite

Condiciones extremas que un instrumento de medida debe poder soportar sin daño y sin degradación de sus características metroológicas específicas cuando con posterioridad es utilizado en sus condiciones nominales de funcionamiento.

NOTAS:

- Las condiciones límite pueden ser diferentes para el almacenamiento, el transporte y el funcionamiento.
- Las condiciones límite pueden comprender valores límite para el mensurando y para las magnitudes de influencia.

► 5.7 Condiciones de referencia

Condiciones de utilización prescritas para los ensayos de funcionamiento de un instrumento de medida o para la intercomparación de los resultados de las medidas.

NOTA:

Las condiciones de referencia comprenden generalmente valores de referencia o rangos de referencia para las magnitudes de influencia que afecten al instrumento de medida.

► 5.8 Constante (de un instrumento)

Coefficiente por el cual debe multiplicarse la indicación directa de un instrumento de medida para obtener el valor indicado del mensurando o de una magnitud a utilizar en el cálculo del valor del mensurando.

NOTAS:

- Los instrumentos de medida multirango que no llevan más que un solo visualizador tienen varias constantes que se corresponden, por ejemplo, con diferentes posiciones de un mecanismo selector.
- Cuando la constante es el número uno, generalmente no se indica sobre el instrumento.

► 5.9 Respuesta característica

Relación entre una señal de entrada y la respuesta correspondiente, en condiciones definidas.

EJEMPLO:

Fuerza electromotriz de un termopar en función de la temperatura.

NOTAS:

1. La relación puede expresarse en forma de una ecuación matemática, de una tabla numérica o de un gráfico.
2. Cuando la señal de entrada varía en función del tiempo, la función de transferencia (cociente de la transformada de Laplace de la señal de salida por la transformada de Laplace de la señal de entrada) es una forma de la respuesta característica.

► 5.10 Sensibilidad

Cociente del incremento de la respuesta de un instrumento de medida por el incremento correspondiente de la señal de entrada.

NOTA:

El valor de la sensibilidad puede depender del valor de la señal de entrada.

► 5.11 (Umbral de) discriminación

Máxima variación de la señal de entrada que no provoca variación detectable de la respuesta de un instrumento de medida, siendo la variación de la señal de entrada lenta y monótona.

NOTA:

El umbral de discriminación puede depender, por ejemplo, del ruido (interno o externo) o del rozamiento. También puede depender del valor de la señal de entrada.

► 5.12 Resolución (de un dispositivo visualizador)

La menor diferencia de indicación de un dispositivo visualizador que puede percibirse de forma significativa.

NOTAS:

1. Para un dispositivo visualizador digital, diferencia de la indicación que corresponde al cambio de una unidad en la cifra menos significativa.
2. Este concepto se aplica también a un dispositivo registrador.

► 5.13 Zona muerta

Máximo intervalo en cuyo interior puede hacerse variar la señal de entrada en los dos sentidos sin provocar una variación de la respuesta de un instrumento de medida.

NOTAS:

1. La zona muerta puede depender de la rapidez de las variaciones.
2. Algunas veces, la zona muerta se aumenta deliberadamente para evitar las variaciones de la respuesta debidas a pequeñas variaciones de la señal de entrada.

► 5.14 Estabilidad

Aptitud de un instrumento de medida para conservar constantes sus características metrológicas a lo largo del tiempo.

NOTAS:

1. Cuando se considera la estabilidad en función de una magnitud distinta del tiempo, es necesario mencionarlo explícitamente.
2. La estabilidad puede expresarse cuantitativamente de varias formas, por ejemplo:
 - Por la duración durante la cual una característica metrológica evoluciona en una cantidad dada, o
 - Por la variación de una característica en el curso de un período de tiempo dado.

► 5.15 Transparencia

Aptitud de un instrumento de medida para no alterar el mensurando.

EJEMPLOS:

- a) Una balanza es un instrumento transparente para la medición de masas
- b) Un termómetro de resistencia que calienta el medio cuya temperatura debe medir no es transparente

► 5.16 Deriva

Variación lenta de una característica metrológica de un instrumento de medida.

► 5.17 Tiempo de respuesta

Intervalo de tiempo comprendido entre el instante en que una señal de entrada sufre un cambio brusco especificado y el instante en que la señal de salida alcanza y permanece dentro de límites especificados alrededor de su valor final en régimen estable.

► 5.18 Exactitud de un instrumento de medida

Aptitud de un instrumento de medida para dar respuestas próximas a un valor verdadero.

NOTA:

El concepto de 'exactitud' es cualitativo.

► 5.19 Clase de exactitud

Grupo de instrumentos de medida que satisfacen determinadas exigencias metrológicas destinadas a conservar los errores dentro de límites especificados.

NOTA:

Una clase de exactitud se indica habitualmente por un número o símbolo adoptado por convenio y denominado índice de clase.

► 5.20 Error (de indicación) de un instrumento de medida

Indicación de un instrumento de medida menos un valor verdadero de la magnitud de entrada correspondiente.

NOTAS:

1. Dado que un valor verdadero no puede determinarse, en la práctica se utiliza un valor convencionalmente verdadero (ver 1.19 y 1.20).
2. Este concepto se aplica principalmente cuando se compara el instrumento con un patrón de referencia.
3. Para una medida materializada, la indicación es el valor que le ha sido asignado.

► 5.21 Errores máximos permitidos (de un instrumento de medida), Límites de error permitidos (de un instrumento de medida)

Valores extremos de un error permitido por especificaciones, reglamentos, etc. para un instrumento de medida dado.

► 5.22 Error en un punto de control (de un instrumento de medida)

Error de un instrumento de medida para una indicación especificada o para un valor especificado del mensurando, elegido para el control del instrumento.

► 5.23 Error de cero (de un instrumento de medida)

Error para un valor nulo del mensurando, tomado como punto de control.

► 5.24 Error intrínseco (de un instrumento de medida)

Error de un instrumento de medida, determinado en las condiciones de referencia.

► 5.25 Error de justeza (de un instrumento de medida)

Error sistemático de indicación de un instrumento de medida.

NOTA:

El error de justeza se estima normalmente tomando la media del error de indicación sobre un número apropiado de observaciones repetidas.

► 5.26 Justeza (de un instrumento de medida)

Aptitud de un instrumento de medida para dar indicaciones exentas de error sistemático.

► 5.27 Repetibilidad (de un instrumento de medida)

Aptitud de un instrumento de medida para dar indicaciones muy próximas durante la aplicación repetida del mismo mensurando en las mismas condiciones de medida.

NOTAS:

1. Estas condiciones comprenden:

- reducción al mínimo de las variaciones debidas al observador
- mismo procedimiento de medida
- mismo observador
- mismo equipo de medida, utilizándolo en las mismas condiciones
- mismo lugar
- repetición durante un corto período de tiempo

2. La repetibilidad puede expresarse cuantitativamente por medio de las características de dispersión de las indicaciones.

► 5.28 Error convencional reducido (de un instrumento de medida)

Relación entre el error de un instrumento de medida y un valor especificado para el instrumento.

NOTA:

El valor especificado se denomina generalmente valor convencional y puede ser, por ejemplo, el intervalo de medida o el límite superior del rango nominal del instrumento de medida.

6. PATRONES

► 6.1 Patrón

Medida materializada, instrumento de medida, material de referencia o sistema de medida destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores de una magnitud para que sirvan de referencia.

EJEMPLOS:

- a) patrón de masa de 1 kg
- b) resistencia patrón de 100 Ω
- c) amperímetro patrón
- d) patrón de frecuencia de cesio
- e) electrodo de referencia de hidrógeno
- f) solución de referencia de cortisol en el suero humano, de concentración certificada

NOTAS:

1. Un conjunto de medidas materializadas o de instrumentos de medida similares que, utilizados conjuntamente, constituyen un patrón, se denomina patrón colectivo.

2. Un conjunto de patrones de valores elegidos que, individualmente o por combinación, proporcionan una serie de valores de magnitudes de la misma naturaleza, se denomina serie de patrones.

► 6.2 Patrón internacional

Patrón reconocido por un acuerdo internacional para servir como referencia internacional para la asignación de valores a otros patrones de la magnitud considerada.

► 6.3 Patrón nacional

Patrón reconocido por una decisión nacional, en un país, para servir como referencia para la asignación de valores a otros patrones de la magnitud considerada.

► 6.4 Patrón primario

Patrón que es designado o ampliamente reconocido como poseedor de las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor se acepta sin referirse a otros patrones de la misma magnitud.

NOTA:

El concepto patrón primario es válido tanto para las magnitudes básicas como para las derivadas.

► 6.5 Patrón secundario

Patrón cuyo valor se establece por comparación con un patrón primario de la misma magnitud.

► 6.6 Patrón de referencia

Patrón, en general de la más alta calidad metrológica, disponible en un lugar dado o en una organización determinada, del cual se derivan las mediciones realizadas en dicho lugar.

► 6.7 Patrón de trabajo

Patrón que se utiliza corrientemente para calibrar o controlar medidas materializadas, instrumentos de medida o materiales de referencia.

NOTAS:

1. Un patrón de trabajo es habitualmente calibrado con un patrón de referencia.
2. Un patrón de trabajo utilizado corrientemente para asegurar que las medidas están realizadas correctamente se denomina patrón de control.

► 6.8 Patrón de transferencia

Patrón utilizado como intermediario para comparar patrones.

NOTA:

El término dispositivo de transferencia debe utilizarse cuando el intermediario no es un patrón.

► 6.9 Patrón viajero

Patrón, algunas veces de construcción especial, destinado para ser transportado entre diferentes lugares.

EJEMPLO:

Patrón de frecuencia de cesio, portátil, que funciona con acumulador.

► 6.10 Trazabilidad

Propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con referencias determinadas, generalmente a patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas.

NOTAS:

1. A menudo, este concepto se expresa por el adjetivo trazable.
2. La cadena ininterrumpida de comparación se denomina cadena de trazabilidad.

► 6.11 Calibración

Conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medida o un sistema de medida, o los valores representados por una medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes de esa magnitud realizados por patrones.

NOTAS:

1. El resultado de una calibración permite atribuir a las indicaciones los valores correspondientes del mensurando o bien determinar las correcciones a aplicar a las indicaciones.
2. Una calibración puede también servir para determinar otras propiedades metrológicas tales como los efectos de las magnitudes de influencia.
3. Los resultados de una calibración pueden consignarse en un documento denominado, a veces, certificado de calibración o informe de calibración.

► 6.12 Conservación de un patrón

Conjunto de operaciones necesarias para mantener las características metrológicas de un patrón dentro de unos límites apropiados.

NOTA:

Las operaciones comprenden, habitualmente, una calibración periódica, un almacenamiento en condiciones apropiadas y las precauciones a adoptar durante la utilización.

► 6.13 Material de referencia (MR)

Material o sustancia en la cual uno o más valores de sus propiedades son suficientemente homogéneos y están bien definidos para permitir utilizarlos para la calibración de un instrumento, la evaluación de un método de medición, o la asignación de valores a los materiales.

NOTA:
Un material de referencia puede presentarse bajo la forma de un gas, un líquido o un sólido, puro o compuesto. Ejemplos: el agua para la calibración de viscosímetros, el zafiro que permite calibrar la capacidad térmica en calorimetría y las soluciones utilizadas para la calibración en los análisis químicos.

Esta definición, con su nota, se ha tomado de la Guía ISO 30:1992.

► 6.14 Material de referencia certificado (MRC)

Material de referencia, acompañado de un certificado, en el cual uno o más valores de sus propiedades, están certificados por un procedimiento que establece su trazabilidad con una realización exacta de la unidad en la que se expresan los valores de la propiedad y para la cual cada valor certificado se acompaña de una incertidumbre con la indicación de un nivel de confianza.

NOTAS:

1. La definición de un 'certificado de material de referencia' se da en la Guía ISO 30:1992.
2. Los MRC se preparan en general en lotes en los que los valores de sus propiedades se determinan, dentro de los límites de incertidumbre indicados, por medio de mediciones sobre muestras representativas del lote entero.
3. Las propiedades certificadas de materiales de referencia están, en ocasiones, convenientemente y fiablemente realizadas cuando el material está incorporado a un dispositivo fabricado especialmente, por ejemplo, una sustancia cuyo punto triple es conocido en una célula del punto triple; un vidrio de densidad óptica conocido en un filtro de transmisión; unas esferas con granulometría uniforme montadas sobre una lámina del microscopio. Tales dispositivos pueden ser considerados igualmente como MRC.
4. Todos los MRC responden a la definición de 'patrones' dada en el 'Vocabulario internacional de términos básicos y generales de metrología (VIM)'.
5. Ciertos MR y MRC tienen propiedades que, bien porque no pueden ser referidos a una estructura química establecida, o por otras razones, no pueden ser determinados por métodos de medida físicos y químicos exactamente definidos. Tales materiales comprenden ciertos materiales biológicos como las vacunas, para las que ha sido atribuida una unidad internacional por la Organización Mundial de la Salud.

Esta definición y sus notas están tomadas de la Guía ISO 30:1992.

7. TÉRMINOS Y CONCEPTOS ESTADÍSTICOS

► 7.1 Probabilidad

Número real, entre 0 y 1, asociado a un suceso aleatorio.

NOTA:
Puede referirse a la frecuencia relativa de un suceso, dentro de una larga serie, o al grado de credibilidad de que un suceso ocurra. Para un alto grado de credibilidad, la probabilidad es próxima a 1.

► 7.2 Variable aleatoria; variación

Variable que puede tomar cualquiera de los valores especificados de un conjunto dado, a los que está asociada una distribución de probabilidad.

NOTAS:

1. Una variable aleatoria que puede tomar únicamente valores aislados se denomina 'discreta'. Una variable que puede tomar cualquiera de los valores de un intervalo finito o infinito se denomina 'continua'.
2. La probabilidad de ocurrencia de un suceso A se representa como $\Pr(A)$ o $P(A)$.

► 7.3 Distribución de probabilidad (de una variable aleatoria)

Función que da la probabilidad de que una variable aleatoria tome cualquier valor dado o pertenezca a un conjunto dado de valores.

NOTA:
La probabilidad que cubre el conjunto total de valores de una variable aleatoria es igual a 1.

► 7.4 Función de distribución

Función que da, para cada valor de x , la probabilidad de que la variable aleatoria X sea menor o igual que x :

$$F(x) = \Pr (X \leq x)$$

► 7.5 Función de densidad de probabilidad (para una variable aleatoria continua)

Es la derivada (cuando existe) de la función de distribución:

$$f(x) = dF(x) / dx$$

NOTA:

$f(x)dx$ se denomina 'elemento de probabilidad' o 'probabilidad elemental':

$$f(x)dx = \Pr (x < X < x + dx)$$

► 7.6 Parámetro

Magnitud utilizada para describir la distribución de probabilidad de una variable aleatoria.

► 7.7 Correlación

Relación entre dos o más variables aleatorias dentro de una distribución de dos o más variables aleatorias.

NOTA:

La mayoría de las medidas estadísticas de correlación únicamente miden el grado de linealidad de la relación.

► 7.8 Esperanza (de una variable aleatoria o de una distribución de probabilidad); valor esperado; media

1. Para una variable aleatoria discreta X que toma los valores x_i con probabilidades p_i , la esperanza, si existe, es $\mu = E(X) = \sum p_i x_i$ donde el sumatorio se extiende a todos los valores x_i , que pueda tomar X .

2. Para una variable aleatoria continua X con una función de densidad de probabilidad $f(x)$, la esperanza, si existe, es $\mu = E(X) = \int x f(x) dx$, donde la integral se extiende a todo(s) el(los) intervalo(s) de variación de X .

► 7.8 Variable aleatoria centrada

Variable aleatoria cuya esperanza es cero.

NOTA:

Si la variable aleatoria X tiene por esperanza matemática μ , la correspondiente variable aleatoria centrada es $(X-\mu)$.

► 7.9 Varianza (de una variable aleatoria o de una distribución de probabilidad)

Esperanza del cuadrado de la variable aleatoria centrada.

$$\sigma^2 = V(X) = E \{ [X - E(X)]^2 \}$$

► 7.10 Desviación típica (de una variable aleatoria o de una distribución de probabilidad)

Raíz cuadrada positiva de la varianza:

$$\sigma = \sqrt{V(X)}$$

► 7.11 Distribución normal; distribución de Laplace-Gauss

Distribución de probabilidad de una variable aleatoria continua X , cuya función de densidad de probabilidad es:

para $-\infty < X < \infty$

NOTA:

μ es la esperanza y σ es la desviación típica de la distribución normal.

► 7.12 Población

Totalidad de los elementos a considerar.

En el caso de una variable aleatoria, se considera que la distribución de probabilidad define la población de esa variable.

► 7.13 Frecuencia

Número de ocurrencias de un tipo dado de suceso, o número de observaciones que pertenecen a una clase especificada.

► 7.14 Distribución de frecuencia

Relación empírica entre los valores de una característica y sus frecuencias o frecuencias relativas.

La distribución puede representarse gráficamente como histograma, diagrama de barras, polígono de frecuencias acumulativo, o como tabla de dos entradas.

► 7.15 Media aritmética; promedio

Suma de valores dividida entre el número de valores.

1. El término 'media' se emplea generalmente cuando se hace referencia a un parámetro de una población y el término 'promedio' cuando se refiere al resultado de cálculo sobre datos obtenidos en una muestra.
2. El promedio de una muestra aleatoria simple tomada de una población es un estimador no sesgado de la media de esa población. No obstante, a veces, se utilizan otros estimadores, tales como la media geométrica o armónica, la mediana o la moda.

► 7.16 Varianza

Medida de dispersión, igual a la suma de los cuadrados de las desviaciones de las observaciones con respecto a su promedio, dividido por el número de observaciones menos uno.

EJEMPLO:

Para n observaciones x_1, x_2, \dots, x_n con promedio \bar{x} , la varianza es:

NOTAS:

1. La varianza de la muestra es un estimador insesgado de la varianza de la población.
2. La varianza es $n / (n - 1)$ veces el momento central de orden 2.

► 7.17 Desviación típica

Raíz cuadrada positiva de la varianza.

La desviación típica muestral es un estimador sesgado de la desviación típica poblacional.

► 7.18 Estadístico

Función de variables aleatorias de la muestra.

Un estadístico, como función de variables aleatorias, es también una variable aleatoria y como tal adquiere diferentes valores de una muestra a otra. El valor del estadístico obtenido usando los valores observados en esta función puede emplearse en una prueba estadística o como una estimación de un parámetro de la población, tal como una media o una desviación típica.

► 7.19 Estimación

Proceso de asignar, a partir de observaciones en una muestra, valores numéricos a los parámetros de una distribución elegida como modelo estadístico de la población, de la cual la muestra fue tomada.

► 7.20 Estimador

Estadístico utilizado para estimar un parámetro de una población.

► 7.21 Estimación (valor estimado)

Valor de un estimador obtenido como resultado de una estimación.

► 7.22 Intervalo de confianza bilateral

Si T_1 y T_2 son dos funciones de los valores observados tales que, siendo θ un parámetro poblacional que se desea estimar, la probabilidad $\Pr(T_1 \leq \theta \leq T_2)$ es al menos igual a $(1 - \alpha)$ [donde $(1 - \alpha)$ es un número fijado, positivo y menor que 1], el intervalo entre T_1 y T_2 es un intervalo de confianza bilateral $(1 - \alpha)$ para θ .

1. Los límites T_1 y T_2 del intervalo de confianza son estadísticos y como tales, generalmente toman diferentes valores de una muestra a otra.

2. En una gran cantidad de muestras, la frecuencia relativa de casos en que el valor verdadero del parámetro poblacional θ queda cubierto por el intervalo de confianza, es mayor o igual que $(1 - \alpha)$.

► 7.23 Intervalo de confianza unilateral

Si T es una función de los valores observados tal que, siendo θ un parámetro poblacional que se desea estimar, la probabilidad $\Pr(T \geq \theta)$ [o la probabilidad $\Pr(T \leq \theta)$] es al menos igual a $(1 - \alpha)$ [donde $(1 - \alpha)$ es un número fijado, positivo y menor que 1], el intervalo desde el valor más pequeño posible de θ hasta T (o el intervalo desde T hasta el mayor valor posible de θ) es un intervalo de confianza unilateral $(1 - \alpha)$ para θ .

El límite T del intervalo de confianza es un estadístico y como tal, generalmente toma diferentes valores de una muestra a otra.

► 7.24 Nivel de confianza

Valor $(1 - \alpha)$ de la probabilidad asociada a un intervalo de confianza o a un intervalo estadístico de dispersión.

$(1 - \alpha)$ se expresa frecuentemente como porcentaje.

► 7.25 Intervalo de cobertura estadística

Intervalo del que puede decirse, con un nivel de confianza dado, que contiene al menos una proporción dada de la población.

NOTAS:

1. Cuando los dos límites del intervalo se definen mediante estadísticos, el intervalo es bilateral. Cuando uno de los límites es infinito o es el límite extremo de la variable, el intervalo es unilateral.
2. También se denomina 'intervalo de tolerancia estadística'. Este término no debería usarse porque puede crear confusión con 'intervalo de tolerancia', definido en ISO 3534-2.

▶ 7.26 Grados de libertad

En general, número de términos de una suma, menos número de restricciones sobre los términos de dicha suma.

8. INCERTIDUMBRE DE MEDIDA

▶ 8.1 Incertidumbre típica

Incertidumbre del resultado de una medición, expresada como una desviación típica

▶ 8.2 Evaluación tipo A (de la incertidumbre)

Método de evaluación de incertidumbre por medio de análisis estadístico de series de observaciones.

▶ 8.3 Evaluación tipo B (de la incertidumbre)

Método de evaluación de incertidumbre por medios distintos al análisis estadístico de series de observaciones.

▶ 8.4 Incertidumbre típica combinada

Incertidumbre típica del resultado de una medición, cuando el resultado se obtiene a partir de los valores de otras magnitudes, e igual a la raíz cuadrada positiva de la suma de las varianzas o covarianzas de esas otras magnitudes, ponderadas según el factor de sensibilidad del resultado de medición respecto a la variación de dichas magnitudes.

▶ 8.5 Incertidumbre expandida

Cantidad que define un intervalo en torno al resultado de una medición, en el que puede esperarse encontrar una fracción amplia de la distribución de valores que pueden ser razonablemente atribuidos al mensurando.

NOTAS:

1. La fracción puede entenderse como la probabilidad o el nivel de confianza del intervalo.
2. Para asociar un nivel específico de confianza a un intervalo definido por la incertidumbre expandida, se requieren hipótesis explícitas o implícitas sobre la distribución de probabilidad caracterizada por el resultado de medida y su incertidumbre típica combinada. El nivel de confianza que puede atribuirse a este intervalo posee la misma validez que las hipótesis realizadas.

▶ 8.6 Factor de cobertura

Factor numérico utilizado como multiplicador de la incertidumbre típica combinada, para obtener una incertidumbre expandida.

NOTA:

Un factor de cobertura k típico, toma valores comprendidos entre 2 y 3.

▶ 8.7 Fuentes de incertidumbre

En la práctica existen numerosas fuentes posibles de incertidumbre en una medición, entre ellas:

- a) Definición incompleta del mensurando
- b) Realización imperfecta de la definición del mensurando
- c) Muestra no representativa del mensurando - la muestra analizada puede no representar al mensurando definido
- d) Conocimiento incompleto de los efectos de las condiciones ambientales sobre la medición, o medición imperfecta de dichas condiciones ambientales
- e) Lectura sesgada de instrumentos analógicos, por parte del personal técnico
- f) Resolución finita del instrumento de medida o umbral de discriminación
- g) Valores inexactos de los patrones de medida o de los materiales de referencia
- h) Valores inexactos de constantes y otros parámetros tomados de fuentes externas y utilizados en el algoritmo de tratamiento de los datos

- i) Aproximaciones e hipótesis establecidas en el método y en el procedimiento de medida
- j) Variaciones en las observaciones repetidas del mensurando, en condiciones aparentemente idénticas

Estas fuentes no son necesariamente independientes, y algunas de ellas, a) a i), pueden contribuir a la j). Por supuesto, un efecto sistemático no identificado no puede ser tenido en cuenta en la evaluación de la incertidumbre del resultado de una medición, aunque contribuirá a su error.

► 8.8 Consejos generales

1. En general, a medida que se asciende en la jerarquía de la medición, se exigen más detalles sobre la forma en que han sido obtenidos el resultado de medida y su incertidumbre. Sin embargo, en todos los niveles jerárquicos, desde las actividades comerciales y reglamentarias sobre los mercados, pasando por la ingeniería en la industria, hasta los laboratorios primarios nacionales y el BIPM, toda la información necesaria para poder reevaluar el proceso de medición debe estar a disposición de los interesados que pudieran necesitarla.

2. Diariamente se efectúan numerosas mediciones tanto en la industria como en el comercio, sin que se expliciten sus incertidumbres. Muchas de ellas son además efectuadas con instrumentos sujetos a calibración periódica o a inspección legal. Si se admite que los instrumentos cumplen sus especificaciones u otros documentos normativos existentes que les sean de aplicación, pueden deducirse las incertidumbres de sus indicaciones a partir de dichas especificaciones o de dichos documentos normativos.

3. Cuando se indica el resultado de medida y su incertidumbre, es mejor pecar por exceso de información que por defecto, siendo aconsejable

- a) Describir claramente el método utilizado para calcular el resultado de medida y su incertidumbre, a partir de las observaciones experimentales y de los datos de entrada;
- b) Hacer una lista con todas las componentes de la incertidumbre, documentando completamente la forma en que éstas han sido evaluadas;
- c) Presentar el análisis de los resultados de forma que pueda seguirse fácilmente cada una de sus etapas, y que pueda repetirse de forma independiente, si es necesario, el cálculo del resultado obtenido;
- d) Dar todas las correcciones y constantes utilizadas para el análisis, así como las fuentes utilizadas.

Es conveniente siempre formularse la siguiente pregunta: ¿Se ha proporcionado suficiente información, y en forma clara, para que el resultado pueda ser actualizado posteriormente, si aparece una nueva información o nuevos datos?

► 8.9 Consejos específicos

1. Cuando se expresa el resultado de una medición, y la medida de su incertidumbre viene dada por medio de su incertidumbre típica combinada $u_c(y)$, se debe:

- a) Describir completamente cómo ha sido definido el mensurando Y
- b) Dar la estimación y del mensurando Y, y su incertidumbre típica combinada $u_c(y)$, indicando siempre las unidades utilizadas para y y para $u_c(y)$
- c) Incluir la incertidumbre típica combinada relativa $u_c(y)/|y|$, cuando proceda (con la condición $|y| \neq 0$)
- d) Proporcionar la siguiente información, o hacer referencia a algún documento que la incluya:
 - d1) Valores de entrada x_i estimados y sus incertidumbres típicas $u(x_i)$, junto con una descripción de cómo han sido obtenidas
 - d2) Covarianzas o coeficientes de correlación estimados (preferiblemente ambas cosas), de los valores estimados de entrada que están correlacionados, así como los métodos utilizados para su obtención
 - d3) Grados de libertad de la incertidumbre típica de cada valor estimado de entrada, y su forma de obtención
 - d4) Relación funcional $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ y, si es útil, las derivadas parciales o coeficientes de sensibilidad $\partial f/\partial x_i$. Si alguno de estos coeficientes ha sido obtenido experimentalmente, debe incluirse también su proceso de obtención.

Asimismo, si se considera útil para determinados usuarios del resultado de medida, puede indicarse:

- el número efectivo de grados de libertad ν_{ef}
- las incertidumbres típicas combinadas de tipo A, $u_{\text{cA}}(y)$, y de tipo B, $u_{\text{cB}}(y)$, respectivamente, así como sus grados efectivos de libertad, ν_{efA} y ν_{efB} .

2. Cuando el resultado de medida se acompaña de la incertidumbre expandida $U = k \cdot u_c(y)$, se debe:

- a) Describir completamente la forma en que se ha definido el mensurando Y
- b) Indicar el resultado de medición en la forma $Y = y \pm U$, y dar las unidades de y, y de U
- c) Incluir la incertidumbre expandida relativa $U/|y|$, $|y| \neq 0$, cuando sea apropiado
- d) Dar el valor de k utilizado para obtener U
- e) Proporcionar el nivel de confianza aproximado asociado al intervalo $y \pm U$, e indicar cómo ha sido determinado
- f) Proporcionar la siguiente información, o hacer referencia a algún documento que la incluya:
 - f1) Valores de entrada x_i estimados y sus incertidumbres típicas $u(x_i)$, junto con una descripción de cómo han sido obtenidas
 - f2) Covarianzas o coeficientes de correlación estimados (preferiblemente ambas cosas), asociados a los valores estimados de entrada que están correlacionados, así como los métodos utilizados para su obtención
 - f3) Grados de libertad de la incertidumbre típica de cada valor estimado de entrada, y su forma de obtención
 - f4) Relación funcional $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ y, cuando sea útil, las derivadas parciales o coeficientes de sensibilidad $\partial f/\partial x_i$. Si alguno de estos coeficientes ha sido obtenido experimentalmente, debe incluirse también su proceso de obtención.

3. Los valores numéricos de la estimación y y de su incertidumbre típica $u_c(y)$ o de su incertidumbre expandida U no deben darse con un número excesivo de cifras. Habitualmente basta con dar $u_c(y)$ y U [así como las incertidumbres típicas $u(x_i)$ de las estimaciones de entrada x_i] con dos cifras significativas aunque, en ciertos casos, pueda ser necesario retener cifras suplementarias para evitar la propagación de errores de redondeo en cálculos posteriores.

A la hora de dar los resultados finales, puede ser apropiado redondear las incertidumbres a una cifra superior, más que a la cifra más próxima; no obstante, deberá prevalecer el sentido común, y un valor como $u(x_i) = 28,05$ kHz podrá redondearse al valor inferior 28 kHz. Las estimaciones de entrada y de salida deben redondearse de acuerdo con sus incertidumbres; por ejemplo, si $y = 10,057\ 62\ \Omega$, con $u_c(y) = 27\ \text{m}\Omega$, y deberá redondearse a $10,058\ \Omega$. Los coeficientes de correlación deberán darse con tres cifras significativas, si sus valores absolutos son próximos a la unidad.

4. En el informe detallado que describe el modo de obtención del resultado de medida y de su incertidumbre, deben seguirse las recomendaciones dadas en 1 y 2, según el caso, proporcionando:

- a) Los valores de entrada x_i estimados y sus incertidumbres típicas $u(x_i)$, junto con una descripción de cómo han sido obtenidas
- b) Las covarianzas o los coeficientes de correlación estimados (preferiblemente ambas cosas), asociados a los valores estimados de entrada que están correlacionados, así como los métodos utilizados para su obtención
- c) Los grados de libertad de la incertidumbre típica de cada valor estimado de entrada, y su forma de obtención
- d) La relación funcional $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ y, cuando sea útil, las derivadas parciales o coeficientes de sensibilidad $\partial f/\partial x_i$. Si alguno de estos coeficientes ha sido obtenido experimentalmente, debe incluirse también su proceso de obtención.

Puesto que la relación funcional f puede ser extremadamente compleja, o puede no existir en forma explícita, sino únicamente como programa de ordenador, algunas veces es imposible dar f y sus derivadas. Puede entonces describirse la función f en términos generales, o indicar el programa utilizado, con ayuda de las referencias apropiadas. En este caso, es importante presentar claramente la forma en que la estimación y del mensurando Y y su incertidumbre típica combinada $u_c(y)$ han sido obtenidas.

► 8.10 Resumen sobre el procedimiento de evaluación y expresión de la incertidumbre

Las etapas a seguir para evaluar y expresar la incertidumbre del resultado de una medición, tal como se presentan en la Guía para la expresión de la incertidumbre de medida, pueden resumirse como sigue:

1. Expresar matemáticamente la relación existente entre el mensurando Y y las magnitudes de entrada X_i de las que depende Y según $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$. La función f debe incluir todas las magnitudes, incluyendo correcciones y factores de corrección, que pueden contribuir significativamente a la incertidumbre del resultado de medición.
2. Determinar x_i , valor estimado de la magnitud de entrada X_i , bien a partir del análisis estadístico de una serie de observaciones, bien por otros métodos.
3. Evaluar la incertidumbre típica $u(x_i)$ de cada valor estimado x_i . Para una estimación de entrada obtenida por análisis estadístico de series de observaciones, la incertidumbre típica. Para una estimación de entrada obtenida por otros medios, la incertidumbre típica $u(x_i)$.
4. Evaluar las covarianzas asociadas a todas las estimaciones de entrada que estén correlacionadas.
5. Calcular el resultado de medición; esto es, la estimación y del mensurando Y , a partir de la relación funcional f utilizando para las magnitudes de entrada X_i las estimaciones x_i obtenidas en el paso 2.
6. Determinar la incertidumbre típica combinada $u_c(y)$ del resultado de medida y , a partir de las incertidumbres típicas y covarianzas asociadas a las estimaciones de entrada, tal como se describe en el capítulo 5 de la Guía. Si la medición determina simultáneamente más de una magnitud de salida, calcular sus covarianzas.
7. Si es necesario dar una incertidumbre expandida U , cuyo propósito es proporcionar un intervalo $[y - U, y + U]$ en el que se espera encontrar la mayor parte de la distribución de valores que podrían, razonablemente, ser atribuidos al mensurando Y , se multiplicará la incertidumbre típica combinada $u_c(y)$ por un factor de cobertura k , normalmente comprendido entre los valores 2 y 3, para obtener $U = k u_c(y)$. Seleccionar k considerando el nivel de confianza requerido para el intervalo.
8. Documentar el resultado de medición y , junto con su incertidumbre típica combinada $u_c(y)$, o su incertidumbre expandida U , describir cómo han sido obtenidos los valores de y , y de $u_c(y)$ o U .