

Influencia y aplicación a la ingeniería del *Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida*

Revista de Obras Públicas
nº 3.528. Año 159
Enero 2012
ISSN: 0034-8619
ISSN electrónico: 1695-4408

Influence and application to engineering of Royal Decree 2032/2009, of 30 December, establishing legal units of measurement

Enrique Covián Regales. Dr. Ingeniero Agrónomo.

Grupo de investigación AssIST. Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Oviedo. Mieres (España). covianenrique@uniovi.es

Víctor Puente García. Ingeniero en Geodesia y Cartografía.

Instituto de Geociencias, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Universidad Complutense de Madrid. Madrid (España). v.puente@csic.es

Resumen: En 2010 entró en vigor el *Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida*. Con ocasión de las novedades legales que éste supone, y por la trascendencia que la actividad metrológica tiene en el quehacer habitual del ingeniero, se ha considerado oportuno subrayar en este artículo los principales conceptos metrológicos y normas que rigen que la correcta expresión de los valores de las diversas magnitudes. Especial referencia se hace al sistema legal de unidades y a las reglas de escritura de los valores numéricos y de los nombres y símbolos de magnitudes y unidades.

Palabras Clave: Metrología; Ingeniería; Legislación; Unidad; Magnitud

Abstract: Royal Decree 2032/2009, passed on 30 December, establishes the legal units of measurement in Spain. This article underlines the main metrological concepts and rules that govern the correct expression of different values of magnitude in the light of the new legal requirements imposed by the decree and in view of the great importance of metrology in day-to-day engineering work. Particular reference is made to the legal system of units in Spain, the rules for writing numerical values and the names and symbols of magnitudes and units.

Keywords: Metrology; Engineering; Legislation; Unit; Magnitude

1. Introducción

La actividad metrológica constituye uno de los pilares fundamentales del conocimiento científico-técnico y, en particular, de la ingeniería. Lo es, especialmente, para aquellas ramas de ésta que tienen vinculación con el territorio y su transformación –agraria, forestal, de minas, civil, industrial, medioambiental–. Se trata de una competencia genérica del ingeniero, pero no por ello menos importante que otras, y que requiere de la comprensión y aplicación de los conocimientos que le son propios. En apoyo de esta idea sirva la conocida sentencia de Lord Kelvin (1824-1907): “*If you can not measure it, you can not improve it*” (“Lo que no se puede medir no se puede mejorar”).

Entre estos conocimientos resultan fundamentales los relativos a las magnitudes y unidades y a la forma de expresión de cada magnitud particular. Las unidades permiten cuantificar y expresar un mensurando –magnitud particular– con relación a un patrón de medida tomado como referencia. Un adecuado uso del sistema legal de medidas, basado en el Sistema Internacional de Unidades (SI), requiere, en primer lugar, conocer la norma que lo regula, lo que redundará en una correcta práctica profesional.

No obstante, estos conocimientos no siempre pueden ser constatados, advirtiéndose carencias importantes en la expresión de los resultados de la medición. El problema es tan grave que ha llevado a los organismos nacionales e internacionales responsables de establecer las normas de la actividad metrológica a reforzar sus

acciones formativas no sólo dirigidas a los niveles educativos primario, secundario y universitario, sino incluso a científicos e ingenieros en activo. Estas acciones formativas persiguen contrarrestar estas carencias y dar homogeneidad al sistema I+D+i (CEM, 2011) (1).

Nuestro sistema de unidades nace con el *Real Decreto, de 22 de julio de 1849, sobre medidas y pesas* (2) y se ve reforzado el 20 de mayo de 1875, con la firma del Convenio de París, conocido como “Convención del metro”, en el que España participa. Se trata de un tratado internacional que supuso la creación de una organización para atender lo relativo a la preservación de los estándares métricos, a la que se denominó Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIMP, *Bureau International des Poids et Mesures*), sita en Sèvres (París). Sus estados miembros se reúnen cada cuatro años en la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM, *Conférence Générale des Poids et Mesures*). A su vez el BIPM trabaja bajo la supervisión exclusiva del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM, *Comité International des Poids et Mesures*), que se reúne anualmente. (*Bureau International des Poids et Mesures, 2011*) (3).

Las decisiones tomadas por el CIPM constituyen la base de los sistemas legales de medida de la UE y de España y tienen su reflejo en la normativa comunitaria y estatal en esta materia (*Directiva 80/181/CEE, 1980*) (4). En ella se recoge que, desde el punto de vista legal, la metrología concierne al interés, la salud y la seguridad públicas; a la protección del medioambiente y de los consumidores y usuarios; a la fijación de impuestos, aranceles y sanciones administrativas; a la realización de peritajes judiciales y al establecimiento de garantías básicas para el comercio (Ferrer, 2010) (5).

En todas estas actividades, el papel del ingeniero es con frecuencia protagonista, resultando por tanto de interés para él los siguientes aspectos, que serán tratados a continuación: la legislación básica sobre metrología de nuestro ordenamiento jurídico; el conocimiento de los principales conceptos metroológicos y de las magnitudes y unidades de uso frecuente; y las reglas de expresión de cada mensurando –valor y unidad– y de formación de múltiplos y submúltiplos.

2. Legislación básica sobre metrología

La *Constitución Española* (6) asigna al Estado la competencia exclusiva para legislar en el ámbito de la Metrología. En uso de tal competencia la *Ley 3/1985, de*

18 de marzo, de Metrología (BOE de 19 de marzo de 1985) (7) determina las unidades legales de medida, su materialización y la obligatoriedad de su utilización, en conformidad con los acuerdos de la CGPM. La citada Ley, junto al *Real Decreto Legislativo 1296/1986, de 28 de junio, por el que se modifica la Ley 3/1985, de 18 de marzo de Metrología y se establece el control metrológico CEE* (BOE de 30 de junio de 1986) (8), el *Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida* (BOE de 21 de enero de 2010) (9) y su, casi inmediata, corrección de errores (BOE de 18 de febrero de 2010) (10):

- a) Regulan el establecimiento y aplicación del sistema legal de medidas y los principios y normas generales a que habrá de ajustarse la actividad metrológica en España.
- b) Califican como unidades legales de medida las del SI, adoptado por la CGPM, y vigentes en la UE.
- c) Establecen las reglas de escritura de los nombres y símbolos de las unidades, de formación de múltiplos y submúltiplos de éstas y de expresión de los valores de las magnitudes.
- d) Decretan la capacidad del Gobierno para declarar de uso legal nuevas unidades adoptadas por la CGPM, así como para autorizar el empleo de otras unidades no comprendidas en el SI si las considera indispensables.
- e) Establecen la obligatoriedad del uso de las unidades legales de medida en todo el territorio español, prohibiendo el empleo de otras unidades distintas e instando a su incorporación al sistema educativo.
- f) Regulan el control metrológico de los instrumentos de medida en defensa de la seguridad, de la protección de la salud y de los intereses económicos de los ciudadanos. Este control metrológico comprenderá la aprobación de modelos, la verificación primitiva y las posteriores y la vigilancia e inspección, y será obligado para personas o entidades que se propongan fabricar, importar, comercializar, reparar o ceder en arrendamiento instrumentos de medida.
- g) Establecen que la expresión de una magnitud requiere de la indicación de su valor, así como, de la magnitud medida.

El citado *Real Decreto 2032/2009* y su corrección sirvieron para incorporar al derecho español la *Directiva 2009/3/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de marzo de 2009, por la que se modifica la Di-*

rectiva 80/181/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre unidades de medida; al tiempo que derogan el anterior Real Decreto 1317/1989, de 27 de octubre, por el que se establecen las Unidades Legales de Medida (BOE de 3 de noviembre de 1989) y enerva el Real Decreto 1737/1997 (BOE de 3 de diciembre de 1997), por el que se modificaba el anterior.

3. Conceptos fundamentales de Metrología

La Metrología se define, según el "Vocabulario Internacional de Metrología" (VIM, Comité Conjunto para las Guías en Metrología del BIMP, 2008) (11), como la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones. Su objeto es el estudio de las unidades y de las mediciones de las magnitudes así como de las exigencias técnicas de los métodos e instrumentos de medida. El profesor Carlos E. Granados la definió, más ampliamente, como: "la ciencia que tiene por objeto el estudio de las propiedades medibles, las escalas de medida, los sistemas de unidades, los métodos y técnicas de medición, así como la evolución de lo anterior, la valoración de la calidad de las mediciones y su mejora constante, facilitando el progreso científico, el desarrollo tecnológico, el bienestar social y la calidad de vida" (Centro Español de Metrología, 2007) (12).

Para la comprensión de sus principios y para su aplicación, es necesario precisar los siguientes conceptos, cuyas definiciones proceden también del VIM (2008) (11) y/o, en algún caso, son aportaciones de los autores del presente artículo:

a) Magnitud:

Propiedad de un fenómeno, cuerpo o sustancia, que puede expresarse cuantitativamente mediante un número y una referencia (VIM, 2008). De acuerdo con esta definición la magnitud es un escalar, aunque también quedan incluidas expresamente las magnitudes vectoriales. Podría definirse de otra forma como el atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia que puede ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente (mensurable).

b) Mensurando y observable:

Mensurando es cualquier magnitud particular objeto de medición o, de acuerdo con el VIM (2008), la magnitud que se desea medir. Cuando se trata de mensurandos susceptibles de medición directa se les puede denominar "observables".

c) Valor:

Expresión de la dimensión de un mensurando en forma de número. Sirve para expresar resultados de mediciones como producto de un número por una unidad de medida.

d) Unidad:

Magnitud escalar real, definida y adoptada por convenio, con la que se puede comparar cualquier otra magnitud de la misma naturaleza para expresar la relación entre ambas mediante un número (VIM, 2008). También, cantidad elegida como patrón de comparación para la expresión de cada magnitud. Se expresan mediante nombres y símbolos, que han sido asignados por convenio.

e) Medición y observación:

El VIM (2008) define medición o medida como el proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud. Podría entenderse también como el conjunto de operaciones que tienen por objeto determinar el valor de un mensurando -magnitud particular- por comparación con el patrón de medida. Cuando además la medición del mensurando es directa se le puede llamar "observación". En cualquier caso, se trata de un acto irreplicable, ya que las circunstancias en que se produce son cambiantes y esa variabilidad puede suponer la obtención de resultados distintos para cada medición. Aunque el VIM no lo hace se sugiere la posibilidad de reservar el término "medida" únicamente para su resultado, de acuerdo con lo indicado a continuación.

f) Medida y observación:

Valor atribuido a un mensurando determinado, obtenido como resultado de la medición. Cuando éste se obtiene por medición directa se puede denominar también "observación", habiéndose de distinguir la polisemia de este término, que presenta las acepciones de "proceso de medición" y de "resultado de la medición", cuando ésta es directa.

g) Error:

Error o error de medida es según el VIM (2008), la diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia. No obstante, se pretende puntualizar, en relación con este concepto, la idea que se deduce de esta otra definición: diferencia entre el valor medido y el valor verdadero de una magnitud particular. Atendiendo a ésta última y dado que toda medida está indefectiblemente afectada

tada de error, el valor de éste es siempre desconocido (Ghiliani y Wolf, 2006) (14). Se justifica así además el empleo del término "residuo de medida" que se define más adelante.

h) Valor convencionalmente verdadero:

Ante la imposibilidad de obtener una medida exenta de error, el valor verdadero de cualquier mensurando es siempre desconocido. Se suele adoptar como verdadero el conocido como "valor convencionalmente verdadero" que es el atribuido a una magnitud particular y aceptado, algunas veces por convención, como poseedor de una incertidumbre apropiada para el propósito dado. No obstante, el VIM (2008) desaconseja esta denominación y prefiere la de "valor convencional de una magnitud", entendiéndolo por ella valor asignado a una magnitud, mediante un acuerdo, para un determinado propósito.

i) Residuo de medida:

No siendo posible conocer el valor verdadero ni, por tanto, el error de medida, se recurre al término "residuo de medida" para referirse a la diferencia entre el valor medido y el valor convencionalmente verdadero. En algunas materias, como el Ajuste de Observaciones, se entiende también el residuo como la diferencia entre la medida -resultado de cada medición- y el valor estimado de un mensurando.

j) Tolerancia:

Por tolerancia se suele entender el error máximo admitido para cada magnitud particular y ésta vendrá determinada fundamentalmente por la finalidad del trabajo a realizar y por los recursos disponibles. El VIM (2008), recomienda mejor utilizar el término "error máximo permitido o tolerado", definiéndolo como el valor extremo del error de medida, con respecto a un valor de referencia conocido, permitido por especificaciones o reglamentaciones, para una medición, instrumento o sistema de medida dado.

k) Incertidumbre de medida:

El VIM (2008) la define como el parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza. Es una medida cuantitativa de la calidad del resultado de medición, que permite que los resultados de medida sean comparados con otros resultados, referencias, especificaciones o normas y su determinación y expresión está normalizada en el documento GUM (*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*; BIMP, 2008) (13). En concreto, se refiere al intervalo de valores dentro del cual se

espera que esté la medida y que está unívocamente asociado a un nivel de probabilidad.

4. Magnitudes y unidades de medida

De acuerdo con el sistema legal de medidas regulado en la citada legislación se distinguen:

- a) unidades básicas (SI),
- b) unidades derivadas (SI) y
- c) otras unidades.

Para cada una de las magnitudes se determina la unidad correspondiente, así como, su definición, su símbolo y, en su caso, su expresión en unidades básicas (SI). La tabla 1 recoge un ejemplo de esta caracterización.

Los valores de algunas magnitudes diferentes pueden venir expresadas mediante el mismo nombre y símbolo de unidad SI. Por lo tanto, no basta con utilizar el nombre de la unidad para especificar la magnitud, teniendo esto su repercusión en la expresión científica y técnica y en los instrumentos de medida, que deben indicar tanto la unidad como la magnitud medida. Para todas ellas, además, se establecen las reglas para la formación de múltiplos y submúltiplos. Por otro lado, el número de magnitudes utilizadas en el campo científico no tiene límite, por tanto no es posible establecer una lista completa de magnitudes y unidades derivadas.

La tabla 2 recoge las unidades básicas SI y las tablas 3 y 4, algunas de las unidades derivadas SI y de otras unidades no pertenecientes al SI, respectivamente, que han sido consideradas de interés. Como se puede observar en la tabla 3, ciertas unidades derivadas han recibido nombres y símbolos especiales por conveniencia.

Algunas magnitudes derivadas se definen como cocientes de otras de igual dimensión. Éstas se conocen como adimensionales y su dimensión puede escribirse mediante el número uno. El valor de estas magnitudes se expresa por números y la unidad no se menciona explícitamente. Tal es el caso de los mensurandos: índice de refracción, relación diastimométrica, coeficiente de rozamiento. Para estas magnitudes, la unidad uno podría considerarse como otra unidad básica y su símbolo correspondiente sería "1". En algunos de estos casos, sin embargo, a la unidad se le asigna un nombre especial para facilitar la identificación de la magnitud en cuestión. Así ocurre con el radián y el estereorradián, que han recibido de la

Tabla 1. Ejemplo de magnitud y de definición, nombre y símbolo de su unidad correspondiente.

magnitud	unidad		
	definición	nombre	símbolo
longitud	longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un tiempo de 1/299 792 458 de segundo	metro	m

Tabla 2. Unidades básicas (SI).

magnitud	unidad	
	nombre	símbolo
longitud	metro	m
masa	kilogramo	kg
tiempo	segundo	s
intensidad de corriente eléctrica	ampere	A
temperatura termodinámica	kelvin	K
cantidad de sustancia	mol	mol
intensidad luminosa	candela	cd

Tabla 3. Unidades derivadas (SI) de aplicación en Ingeniería.

magnitud	unidad		
	nombre	símbolo	expresión en unidades básicas (SI)
Unidades derivadas sin dimensión (antiguas unidades suplementarias)			
ángulo plano	radián	rad	$m \cdot m^{-1} = 1$
ángulo sólido	estereorradián	sr	$m^2 \cdot m^{-2} = 1$
Unidades derivadas con dimensión			
área o superficie	metro cuadrado	m ²	m ²
volumen	metro cúbico	m ³	m ³
velocidad	metro por segundo	m/s	$m \cdot s^{-1}$
aceleración	metro por segundo cuadrado	m/s ²	$m \cdot s^{-2}$
número de ondas	metro a la potencia menos 1	m ⁻¹	m ⁻¹
densidad o masa en volumen	kilogramo por metro cúbico	kg/m ³	$kg \cdot m^{-3}$
caudal (o caudal en volumen)	metro cúbico por segundo	m ³ /s	$m^3 \cdot s^{-1}$
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	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2} = s^{-2}$
frecuencia	hertz o hercio	Hz	s ⁻¹
fuerza	newton	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
presión, tensión	pascal	Pa	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
energía, trabajo	joule o julio	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
potencia	watt o vatio	W	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
cantidad de electricidad o carga eléctrica	coulomb o culombio	C	s · A
diferencia de potencial o tensión eléctrica	volt o voltio	V	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
resistencia eléctrica	ohm u ohmio	Ω	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
capacidad eléctrica	farad o faradio	F	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
flujo magnético	weber	Wb	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
inducción magnética	tesla	T	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
inductancia	henry o henrio	H	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
flujo luminoso	lumen	lm	cd · sr
iluminancia	lux	lx	cd · sr · m ⁻²
temperatura Celsius	grado Celsius	°C	K

Tabla 4. Otras unidades no pertenecientes al SI de aplicación.

magnitud	unidad		
	nombre	símbolo	equivalencia con unidades básicas (SI)
Unidades no pertenecientes al SI, cuyo uso con el SI está aceptado y que tienen una definición exacta en unidades SI.			
tiempo	minuto (de tiempo)	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 3 600 s
	día	d	1 d = 86 400 s
ángulo plano	grado (sexagesimal)	°	1° = ($\pi/180$) rad
	minuto (de ángulo) (minuto sexagesimal)	'	1' = ($\pi/10\,800$) rad
	segundo (de ángulo) (segundo sexagesimal)	"	1" = ($\pi/648\,000$) rad
	gon o grado centesimal	gon (o g)	1 gon = ($\pi/200$) rad
	(minuto centesimal)	(^m o ^c)	1 ^m = ($\pi/20\,000$) rad
	(segundo centesimal)	(^s o ^{cc})	1 ^s = ($\pi/2\,000\,000$) rad
área o superficie	hectárea	ha	1 ha = 10 ⁴ m ²
volumen	litro	l o L	1 l = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
masa	tonelada	t	1 t = 10 ³ kg
Unidades no pertenecientes al SI, ligadas a las constantes fundamentales cuyo valor se determina experimentalmente en unidades SI.			
longitud	unidad astronómica	ua	1 ua = 1,495 978 706 91 (6) · 10 ¹¹ m
velocidad (velocidad de la luz en el vacío)	unidad natural de velocidad	c ₀	299 792 458 m/s
Unidades no pertenecientes al SI, utilizadas para dar respuesta a las necesidades específicas de ciertos ámbitos y cuyo uso requiere su definición en unidades SI.			
presión y tensión	bar	bar	1 bar = 10 ⁵ Pa
	milímetro de mercurio	mmHg	1 mmHg = 133,322 Pa
distancia	milla náutica	M	1 M = 1 852 m
velocidad	nudo	kn	1 kn = (1 852/3 600) m/s
área de las superficies agrarias y de las fincas	área	a	1 a = 100 m ²
ángulo plano	vuelta	-	1 vuelta = 2 π rad

CGPM un nombre especial para la unidad derivada, a fin de expresar los valores del ángulo plano y del ángulo sólido, respectivamente.

Para la temperatura, además de la termodinámica (T) expresada en kelvin (K), se utiliza la temperatura Celsius (t) expresada en la unidad derivada grado Celsius (°C), que es el nombre especial del kelvin empleado para expresar las temperaturas Celsius. El grado Celsius y el kelvin tienen la misma magnitud, por lo que el valor numérico de una diferencia de temperatura o de un intervalo de tempe-

ratura es idéntico cuando se expresa en grados Celsius o en kelvin.

Entre las unidades no pertenecientes al SI (tabla 4), se encuentran:

- algunas cuyo uso con el SI está aceptado y que tienen una definición exacta en unidades SI –unidades tradicionales de tiempo y de ángulo plano, la hectárea, el litro y la tonelada–;
- otras ligadas a las constantes fundamentales cuyo valor se determina experimentalmente en unidades

SI por lo que tienen una incertidumbre asociada (expresada entre paréntesis); y

- c) algunas utilizadas para dar respuesta a las necesidades específicas de ciertos ámbitos y cuyo uso requiere su definición en unidades SI.

En relación con la magnitud ángulo plano, cuando se vaya a hacer uso del sistema sexagesimal, se recomienda la expresión en grados de forma decimal, evitando expresar la parte no entera de grado en minutos y/o segundos. Sin embargo, para la Topografía y en navegación, es frecuente utilizar la expresión de los grados sexagesimales con su correspondiente fracción de grado en minutos y/o segundos. Así ocurre con la latitud y la longitud, cuya forma habitual de expresión presenta la ventaja de que el minuto (sexagesimal) de latitud corresponde aproximadamente a una milla náutica (1 852 m). En Astronomía los grados se expresan también en grados, minutos y segundos sexagesimales.

Por su parte, el gon o grado centesimal es una unidad de ángulo plano alternativa al grado. El valor potencial del gon para la Topografía y en navegación tiene su origen en que la distancia entre el Polo y el Ecuador es, aproximadamente, de 10 000 km; por lo que 1 km de arco de meridiano terrestre subtiende un ángulo de un centigón desde el centro de la Tierra. El grado centesimal o gon, así como el minuto y el segundo centesimales (a estos dos ni siquiera se hace referencia en el *Real Decreto 2032/2009* ni en su corrección posterior por lo que en la tabla 4 figuran entre paréntesis), son en todo caso raramente empleados en ámbitos distintos a los de la Topografía y la ingeniería civil.

Respecto a los símbolos del litro se admiten tanto la *ele* minúscula (l) como la mayúscula (L), para evitar confusión entre la letra *ele* minúscula (l) y la cifra uno (1).

En la actualidad todos los datos termodinámicos se refieren a la presión normal de 1 bar, pero hasta 1982, la presión normal era la atmósfera normal, igual a 1.013 25 bar o 101 325 Pa. El milímetro de mercurio (mmHg) se utiliza fundamentalmente para la medida de la presión sanguínea y de otros fluidos corporales.

La milla náutica y el nudo son unidades empleadas en navegación marítima y aérea para expresar distancias y velocidades. No existen símbolos acordados internacionalmente para la milla náutica y el nudo, pero frecuentemente se usan los símbolos M y kn, respectivamente. El origen de la milla náutica se encuentra en el hecho de esa distancia en la superficie de la Tierra sub-

Tabla 5. Prefijos y símbolos para la formación de múltiplos y submúltiplos.

múltiplos			submúltiplos		
factor	prefijo	símbolo	factor	prefijo	símbolo
10 ²⁴	yotta	Y	10 ⁻¹	deci	d
10 ²¹	zetta	Z	10 ⁻²	centi	c
10 ¹⁸	exa	E	10 ⁻³	milli	m
10 ¹⁵	peta	P	10 ⁻⁶	micro	μ
10 ¹²	tera	T	10 ⁻⁹	nano	n
10 ⁹	giga	G	10 ⁻¹²	pico	p
10 ⁶	mega	M	10 ⁻¹⁵	femto	f
10 ³	kilo	k	10 ⁻¹⁸	atto	a
10 ²	hecto	h	10 ⁻²¹	zepto	z
10 ¹	deca	da	10 ⁻²⁴	yocto	y

tiende aproximadamente un minuto de ángulo desde el centro de la Tierra. El nudo se define como una milla náutica por hora.

Por último, respecto a la vuelta como unidad de medida de ángulo plano, aunque su uso está autorizado, no está recogida en los documentos adoptados por la CGPM.

Los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI se forman por medio de prefijos que designan los factores numéricos decimales por los que se multiplica la unidad y cuyas correspondencias figuran la tabla 5.

Entre las unidades básicas SI, la de masa es la única cuyo nombre, por razones históricas, contiene un prefijo: kilogramo.

La aplicación de estos múltiplos y submúltiplos está permitida para la mayoría de las unidades fuera del SI, pero nunca se utilizan con unidades de tiempo. No obstante, el múltiplo 10² áreas se denomina "hectárea" y no "hectoárea" y su símbolo es "ha". En Astronomía se utiliza, por ejemplo, el milisegundo de grado (mas), y el microsegundo de grado (μas), como unidades de medida de ángulos muy pequeños.

Los prefijos adoptados para las potencias binarias -2¹⁰, 2²⁰, 2³⁰, 2⁴⁰, 2⁵⁰ y 2⁶⁰- no pertenecen al SI y los nombres y símbolos utilizados para sus prefijos son, respectivamente: kibi (Ki), mebi (Mi), gibi (Gi), tebi (Ti), pebi (Pi) y exbi (Ei). Éstos están autorizados en el campo de la tecnología informática a fin de evitar un uso incorrecto de los prefijos SI (potencias decimales). Advuértase, en este sentido, el uso incorrecto habitual de los prefijos y símbolos asignados para las potencias decimales.

5. Reglas de escritura.

5.1. Nombres y símbolos de las unidades.

En relación a los nombres y símbolos de las unidades, se resumen a continuación las reglas para su escritura:

- a) Los nombres de las unidades se escriben en caracteres romanos rectos y se consideran nombres comunes incluso cuando procedan del de un científico, en cuyo caso serán aceptadas todas las formas reconocidas por la Real Academia Española (RAE). Para algunas unidades (véase tabla 3), como por ejemplo el coulomb o culombio, el henry o henrio, y el watt o vatio, son válidas tanto la forma original como la española. En cualquier caso, todas ellas empiezan por minúscula, salvo que se encuentren situados al comienzo de una frase o en un texto en mayúsculas, y pueden escribirse en plural.
- b) Como puede apreciarse en las tablas anteriores, los símbolos de las unidades SI se expresan en caracteres romanos rectos y en minúsculas, salvo excepciones como el ohm (Ω) y aquellos cuyos nombres proceden de nombres propios, en cuyo caso la letra inicial es mayúscula.
- c) Los símbolos de las unidades son entidades matemáticas y no abreviaturas, por tanto no van seguidos de un punto, salvo al final de una frase, ni se toman "s" para el plural, ni se pueden mezclar símbolos de unidades con nombres de unidades en una misma expresión.
- d) Para formar los productos y cocientes de los símbolos de las unidades, se aplican las reglas habituales de multiplicación o de división algebraicas y cuando se combinen varios símbolos de unidades, hay que poner cuidado para evitar toda ambigüedad, por ejemplo utilizando corchetes o paréntesis, o exponentes negativos.
- e) Cuando el nombre de la unidad se combine con el prefijo de un múltiplo o submúltiplo, el conjunto constituye una sola palabra, por lo que no se dejará espacio ni se pondrá guión entre el prefijo y el nombre de la unidad. Sin embargo, cuando el nombre de una unidad derivada se forme por multiplicación de nombres de unidades individuales, conviene dejar un espacio, un punto de multiplicación o un guión para separar el nombre de cada unidad.
- f) Todos los nombres de los prefijos se escriben con minúsculas, salvo al comienzo de una frase. Los símbo-

los de los prefijos se escriben igualmente en caracteres romanos rectos y se unen a los símbolos de las unidades, sin dejar espacio entre el símbolo del prefijo y el de la unidad; con la excepción de deca (da), hecto (h) y kilo (k), todos los símbolos de prefijos de múltiplos se escriben con mayúsculas y todos los símbolos de prefijos de submúltiplos se escriben con minúsculas.

- g) Cuando los múltiplos y submúltiplos para las unidades SI se aplican a unidades fuera del SI las normas de escritura de nombres y símbolos son las mismas. Las abreviaturas no se pueden utilizar ni como nombres ni como signos de las unidades.

5.2. Valores de las magnitudes

Se citan a continuación las principales reglas de escritura para expresar los valores de las magnitudes:

- a) Como recomendación, los símbolos de las magnitudes estarán formados generalmente por una sola letra en cursiva, aunque puede especificarse información adicional mediante subíndices, superíndices o entre paréntesis. Es conveniente, especialmente cuando se dé a un símbolo un uso fuera de convenio o de la práctica habitual dentro de un ámbito, precisar claramente qué magnitud representa.
- b) El valor de una magnitud se debe expresar como el producto de un número por una unidad. Así, el valor de una magnitud particular –mensurando– es independiente de la unidad elegida, pero su valor numérico es diferente para unidades diferentes.
- c) El valor numérico precede siempre a la unidad y siempre se deja un espacio entre el número y la unidad. Las únicas excepciones a esta regla son los símbolos de unidad del grado, el minuto y el segundo de ángulo plano ($^{\circ}$, $'$ y $''$), respectivamente, para los cuales no se deja espacio entre el valor numérico y el símbolo de unidad.
- d) En cualquier expresión de un mensurando, sólo se emplea una unidad, a excepción de los valores de tiempo y de ángulo plano expresados mediante unidades no pertenecientes al SI.
- e) El símbolo utilizado para separar la parte entera de su parte decimal se denomina "separador decimal" y es la coma, en la propia línea de escritura. Cuando el valor numérico esté comprendido entre -1 y +1 el separador decimal irá precedido de un cero.

- f) Los números con muchas cifras pueden repartirse en grupos de tres cifras separadas por un espacio, a fin de facilitar su lectura, pero no se separan nunca por puntos ni por comas. En los números de una tabla, el formato no debe variar en una misma columna.
- g) Cuando se requiera el uso de unidades sin dimensión para las cuales no exista un nombre específico; como los símbolos de los prefijos SI no pueden unirse al símbolo 1 ni al nombre de unidad "uno", para expresar los valores de magnitudes adimensionales particularmente grandes o particularmente pequeñas se emplearán las potencias de 10.
- h) El símbolo tanto por ciento (%), que significa 10^{-2} , puede usarse para expresar los valores de magnitudes sin dimensión, debiéndose dejar entonces un espacio entre el número y el símbolo %. Igualmente ocurre con el símbolo partes por millón (ppm), que significa 10^{-6} en valor relativo, o millonésima parte. Cuando se emplea alguna de estas expresiones es importante señalar cuál es la magnitud cuyo valor se está especificando.

Finalmente, se hace referencia a algunas recomendaciones para evitar errores habituales en la actividad metrológica:

- a) El conocimiento de las definiciones y conceptos propios de la actividad metrológica (Comité Conjunto para las Guías en Metrología del BIMP, 2008) (11), la diferenciación de los conceptos precisión y exactitud y la necesidad y forma de expresar la medida indicando su incertidumbre asociada (JCGM, 2008) (13).
- b) En el ámbito educativo, cuando se utilicen unidades distintas de las pertenecientes al SI, cuyo uso esté autorizado, habrá de señalarse esta circunstancia e indicarse la equivalencia correspondiente en el SI.
- c) Los símbolos correspondientes a unidades se habrán de escribir de acuerdo con las indicaciones dadas y en caracteres rectos, reservando la cursiva para los símbolos de magnitudes y variables. Además cuando se trate de magnitudes vectoriales y/o de matrices, adicionalmente, serán en negrita.
- d) Entre el valor numérico de un mensurando y su unidad correspondiente habrá de dejarse siempre un espacio (excepción hecha de para los símbolos de grado, minuto y segundo de ángulos planos). Además se utilizará, como separador de los múltiplos de

mil, un espacio en blanco y como separador decimal la coma; en ambos casos en la parte inferior de la línea. Cuando se utilicen procesadores de texto informáticos el espacio en blanco referido puede ser sustituido por un punto al que se le dará color blanco (al efecto de que no se vea al imprimir el documento) evitando así diferencias en los espacios entre cifras de valores numéricos localizados en distintas líneas (formato justificado) y la posible división de un número en dos líneas distintas. Habida cuenta de que en los países anglosajones es habitual utilizar como separador decimal el punto en lugar de la coma, conviene indicar esta circunstancia cuando se vayan a incluir en un documento técnico o científico, escrito en español, resultados obtenidos mediante software que utilice esta forma de expresión; en la memoria principal del documento conviene, no obstante, cambiar el punto por la coma como separador de la parte decimal de los valores numéricos.

Más allá de estas recomendaciones se presentan en la tabla 6 algunos errores habituales.

6. Conclusiones

El presente artículo ha pretendido de servir de instrumento de divulgación de los principios y aplicaciones de la Metrología, así como de la legislación relativa a ella, en un ámbito –el ingenieril– en el que la actividad metrológica tiene carácter de fundamental. Sobre la base de lo expuesto, se quieren resaltar las siguientes conclusiones:

- a) El *Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida* y su corrección, constituyen la norma de referencia en materia de magnitudes y unidades de medida en el ejercicio profesional del ingeniero. Esta norma se refiere a las unidades básicas y derivadas del SI y otras legalmente admitidas y a las reglas para la formación de múltiplos y submúltiplos, para la escritura de símbolos y nombres de las unidades y para la expresión de los valores de las magnitudes. Todo ello conforme a los acuerdos de la CGPM y la normativa de la Unión Europea.
- b) Los contenidos de esta norma han de ser trasladados, junto con los del resto de conocimientos de la actividad metrológica, a los diferentes niveles edu-

Tabla 6. Algunos errores habituales en la expresión de valores de mensurandos.

Tipo de error	Forma incorrecta	Forma correcta
símbolos incorrectos	5 T	5 t
	21 seg	21 s
	320 gr	320 g
	400 c.c.	400 cm ³
	2 m 30"	2 min 30 s
	20 Km	20 km
	150 m2	150 m ²
	15,92 Ha	15,92 ha
puntuación y plurales	27 cms	27 cm
	60 cm.	60 cm
	4'8 °C	4,8 °C
	102° 46' 47'5''	102° 46' 47,5''
espaciado	45.643,3451 m	45 643,345 1 m
	2° 3' 47''	2° 3' 47''
	23,5° C	23,5 °C
	40%	40 %

cativos y a cualquier actividad formativa en la que se vean implicados.

- c) La divulgación de esta norma y la aplicación rigurosa de los criterios que establece redundará en el

cumplimiento de los preceptos legalmente establecidos y, más allá de ello, en un mejor ejercicio en la práctica profesional.

- d) De especial interés, por su generalizado desconocimiento, resultan los prefijos y símbolos referentes a potencias binarias, dado su uso común en el ámbito de las conocidas como tecnologías de la información y la comunicación.

7. Agradecimientos

Al Centro Español de Metrología y, especialmente, a su director Don Fernando Ferrer Margalef por su expreso reconocimiento a nuestra iniciativa y por su profesionalidad, puesta de manifiesto en la revisión realizada y en las sugerencias que de ella resultaron.

A Don Miguel Celemín Matachana (Dr. Ing. de Caminos Canales y Puertos) por haber sabido transmitir a muchas generaciones de ingenieros, desde su "reducto" de la Universidad de León, la importancia del rigor y la constancia en el trabajo científico y técnico. También, por supuesto, por la revisión del presente artículo y por las correcciones sugeridas. ◆

Referencias:

- (1) CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. *Recomendaciones del Centro Español de Metrología para la enseñanza y utilización de conceptos metrológicos y del Sistema Internacional de Unidades de Medida*. Madrid: Centro Español de Metrología, 2011. 31 p. (Disponible en: http://www.cem.es/cem/es_ES/common/pop_externo.jsp?url=../documentacion/generales/Recomendaciones_CEM_Ensenanza_Metrologia.pdf (Consulta: 28 de febrero de 2011)).
- (2) MINISTERIO DE COMERCIO, INSTRUCCIÓN Y OBRAS PÚBLICAS. *Real Decreto, de 22 de julio de 1849, sobre medidas y pesas*. Gaceta de Madrid, 1849, n° 5426.
- (3) CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. *El Sistema Internacional de Unidades (SI)*. Madrid: Centro Español de Metrología (con permiso del BIMP, Bureau International des Poids et Mesures), 2006. 8° ed. 95 p. (Disponible en: http://www.cem.es/cem/es_ES/common/pop_externo.jsp?url=../documentacion/generales/SIU8edes.pdf (Consulta: 28 de febrero de 2011)).
- (4) COMUNIDAD ECONÓMICA EUROPEA. *Directiva 80/181/CEE del Consejo, de 20 de diciembre de 1979, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros sobre las unidades de medida* (y que deroga la Directiva 71/354/CEE). Diario Oficial de las Comunidades Europeas de 15 de febrero de 1980.
- (5) FERRER MARGALEF, Fernando. *Escrito a los medios de comunicación españoles en relación con la utilización de las unidades de medida*. Madrid: Centro Español de Metrología, 2010, 3 p. (Disponible en: <http://www.cem.es/es/actualidad/00007087RECURSO.pdf> (Consulta: 28 de febrero de 2011)).
- (6) ESPAÑA. *Constitución Española*. Boletín Oficial del Estado (Gaceta de Madrid) de 29 de diciembre de 1978.
- (7) ESPAÑA. *Ley 3/1985, de 18 de marzo, de Metrología*. Madrid: Boletín Oficial del Estado de 19 de marzo de 1985.
- (8) ESPAÑA. *Real Decreto Legislativo 1296/1986, de 28 de junio, por el que se modifica la Ley 3/1985, de 18 de marzo de Metrología y se establece el control metrológico CEE*. Madrid: Boletín Oficial del Estado de 30 de junio de 1986.
- (9) ESPAÑA. *Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida*. Madrid: Boletín Oficial del Estado de 21 de enero de 2010.
- (10) ESPAÑA. *Corrección de errores y erratas del Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida*. Madrid: Boletín Oficial del Estado de 18 de febrero de 2010.
- (11) CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. *Vocabulario internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales y términos asociados*. Madrid: Centro Español de Metrología (con permiso del BIMP, Bureau International des Poids et Mesures), 2008. 3° ed. 89 p. (Disponible en http://www.cem.es/cem/es_ES/common/pop_externo.jsp?url=../documentacion/generales/VIM3edes.pdf (Consulta: 28 de febrero de 2011)).
- (12) CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. *Preguntas frecuentes*. Madrid: Centro Español de Metrología, 2007. (Disponible en: http://www.cem.es/cem/es_ES/FAQ/faq.jsp - i672 (Consulta: 7 de marzo de 2011)).
- (13) BIMP, Bureau International des Poids et Mesures. *Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement*" (GUM). París: Comité Conjunto para las Guías en Metrología del BIMP, Bureau International des Poids et Mesures, 2008. 1° ed. 134 p. (Disponible en: http://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf (Consulta: 28 de febrero de 2011)).
- (14) GHILIANI, P.; WOLF, R. *Adjustment Computations. Spatial data analysis*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006.