

# ¿Cuándo poner al día nuestras unidades? (\*)

Por ALBERTO BENITEZ

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

*El autor expresa sus permanentes preocupaciones (1) por el uso (según él, poco ortodoxo) de las unidades de uso común y de sus abreviaturas.*

## INDICE: RESUMEN DE MIS CONGOJAS

### 1. Introducción del Sistema Internacional de Unidades (S.I.).

En estos tiempos de anhelos internacionales colectivos (CEE, OTAN, incluso ancho internacional de vía (!), ¿cuándo se va a hacer preceptiva en las escuelas públicas españolas la enseñanza del S.I.? ¿Hasta cuándo van a seguir, desde las secretarías sexagenarias hasta mi sobrino de 9 años, explicándome que, ya se sabe, los múltiplos van con mayúsculas y los divisores con minúsculas? ¡A los 29 años de aprobarse el Sistema Internacional, a los 19 de haberse adoptado en los 30 países más adelantados y a los 12 de haberse declarado de uso legal en España! (Supongo que lo de las mayúsculas tiene un origen francés ochocentista... ).

### 2. Uso de múltiplos elevados a exponentes.

Desde que lo conocí, el hectómetro cúbico me trae preocupadísimo. ¿Por qué elegir un múltiplo arbitrario de la unidad lineal para elevarlo a un exponente? ¿Qué habría de malo en el «decámetro sexto» ( $Dm^6$ )? ¿No sería mucho más racional el ir directamente al múltiplo establecido de la unidad principal: mega metrocúbico ( $Mm^3$ )? ¿O ya, en casos quasidemencales, al gicalitro (Gl)?

### 3. La confusión de los exponentes

A mi juicio, los exponentes en las abreviaturas se ponen mal. Si, en álgebra,  $ab^3$  quiere decir a multiplicado por el cubo de  $b$ , el  $hm^3$

quiere decir no hectómetro cúbico sino hectómetro-cúbico, es decir, cien metros cúbicos, los mismos que el hectolitro (hl) abrevia cien litros. Lo correcto sería  $(hm)^3$  o  $hm^3$ , pero es una lata. Sigo proponiendo el internacional y moderno  $Mm^3$  (sin problema de exponentes).

### 4. El punto o la coma decimal en España

Este tema es muy escabroso y además en él no soy imparcial por costumbre de haber trabajado muchos años en empresas americanas. Pero el tremendo impacto de las computadoras hace pensar en ello. Ya se oye a los niños, comprobando sus problemas por teléfono: —«A mí me sale siete punto veintitrés ¿y a tí?» «A mí me sale seis punto catorce». ¡Hasta la TVE da los resultados de las elecciones con puntos! Debe ser ésto motivo de reflexión para todos.

A continuación se dan más detalles sobre la génesis, definiciones y notación del:

## SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (S.I.)

### 1. NOTA HISTORICA

Aunque, desde los principios de las civilizaciones el hombre sintió la necesidad de los sistemas colectivos de unidades, no ha sido hasta muy recientemente (1832), cuando fue establecido, por K. F. Gauss, un sistema absoluto de unidades. Puede definirse un sistema absoluto como aquél establecido a partir de unidades basadas en las fundamentales de: masa, longitud y tiempo. En 1951, Gauss y Weber dieron a conocer el sistema Gaussiano basado en unidades de milímetro, miligramo y segundo, a partir de las definiciones clásicas del Sistema Métrico Decimal.

(\*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 28 de febrero de 1990.

(1) «Una bobada: Escribir correctamente las unidades». Revista de Obras Públicas. Enero 1981.

### 1.1. El Sistema CGS

Veintidós años más tarde, en 1873, empezaron a utilizarse las unidades de centímetro, gramo-masa y segundo, creándose así el Sistema CGS.

Las magnitudes eléctricas y magnéticas requieren generalmente una cuarta unidad básica para su completa definición. En el Sistema CGS, estas unidades electromagnéticas se llaman emu (de electro-magnetic units) y reciben el prefijo ab las unidades correspondientes (abculombio, abfaradio, etc.). En este Sistema CGS, el cuarto término es la permeabilidad eléctrica, que se toma como unidad cuando el medio es el vacío absoluto. Análogamente, en el Sistema CGS electrostático, cuyas unidades se llaman esu y reciben el prefijo stat, la cuarta unidad básica es la permitividad que se considera como unidad en el vacío absoluto.

### 1.2. El Sistema MKS

El Sistema MKS, también llamado Sistema Práctico, emplea como unidades básicas el metro, el kilogramo-masa y el segundo. En cuanto se refiere a las unidades electromagnéticas, en 1873, Maxwell demostró que las unidades electromagnéticas prácticas podían utilizarse directamente en las ecuaciones teóricas básicas si, manteniendo el metro como unidad de longitud, la unidad de masa igual al gramo  $\times 10^{-1}$ , la permeabilidad en el vacío como unidad y la unidad de tiempo el segundo.

## 2. EL SISTEMA INTERNACIONAL

En 1904, es decir 30 años después, Giovanni Giorgi en su publicación «Unità Rationali di Elettromagnetismo», señaló que podían mantenerse las unidades de metro, kilogramo-masa y segundo, si se daba a la permeabilidad en el vacío el valor  $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7}$  y que tal sistema podía utilizarse en ecuaciones tanto electromagnéticas como electrostáticas.

Los sistemas Giorgi o MDS despertaron relativamente poca atención hasta 1935. Desde entonces recibieron interés creciente hasta que, en 1948, la Novena Conferencia Internacional de Pesos y Medidas adoptó la definición MKS del amperio, y recomendó que la cuarta unidad

en el sistema MKS racionalizado fuera, en efecto,  $4 \pi 10^{-7}$  henrio metro<sup>-1</sup>.

El Sistema Internacional de Unidades, (SI), es un refinamiento del Sistema MKS y utiliza las seis unidades básicas: metro, kilogramo, segundo, amperio, grado kelvin y candela. Como después se verá, estas unidades reciben también una definición natural mucho más refinada. Tiene generalmente magnitudes que las hace muy prácticas en la mayor parte de los trabajos científicos y técnicos.

El Sistema SI, fue finalmente aprobado en la Decimoprimerá Conferencia General de Pesos y Medidas de 1960. En Francia, por Ley del 3 de Mayo de 1961, se hizo legal y obligatorio el Sistema Giorgi, que perdió su denominación de MKSA para tomar la de Sistema Internacional o SI. En 1970, el sistema había sido ya adoptado como sistema legal en más de 30 países, y recomendado para el uso científico en todo el mundo.

Las ventajas del Sistema son muy numerosas. Así, por ejemplo, el julio, unidad de trabajo, puede expresarse tanto como newton por metro o como vatio  $\times$  segundo, y en trabajos eléctricos o magnéticos no hay necesidad de utilizar unidades especiales, de magnitudes electrostáticas o electromagnéticas, evitándose la confusión y el trabajo que representa el pasar de unas a otras.

## 3. DECLARACION DEL SISTEMA INTERNACIONAL DE USO LEGAL EN ESPAÑA

El Sistema Internacional se declara de uso legal en España el 8 de Noviembre de 1967 (Ley 88/67), con modificaciones que fundamentalmente afectan a una más perfecta definición de unidades básicas, del 25 de abril de 1974, (Decreto 1257/74).

En esta última disposición el cuadro de unidades fundamentales es el indicado en la página siguiente:

En este mismo decreto (1257 de 1974), se actualiza el cuadro de unidades suplementarias y derivadas, (véase pág. siguiente).

Los múltiplos y submúltiplos de estas unidades se formaran mediante los prefijos y símbolos según lo indicado en el cuadro de págs. siguientes.

## ¿CUANDO PONER AL DIA NUESTRAS UNIDADES?

### UNIDADES FUNDAMENTALES

	unidad	Símbolo
<p><b>Longitud</b></p> <p>Definición: El metro es la longitud igual a 1 650 763,73 longitudes de onda, en el vacío, de la radiación correspondiente a la transición entre los niveles <math>2_{p10}</math> y <math>5d_5</math> del átomo de cripton 86.</p>	<b>metro</b>	<b>m</b>
<p><b>Masa</b></p> <p>Definición: El kilogramo masa es la masa del prototipo de platino iridiado, sancionado por la III Conferencia General de Pesas y Medidas en 1901 y depositado en el Pabellón de Breteuil de Sèvres.</p>	<b>kilogramo</b>	<b>kg</b>
<p><b>Tiempo</b></p> <p>Definición: El segundo es la duración de 9 192 631 270 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133.</p>	<b>segundo</b>	<b>s</b>
<p><b>Intensidad de corriente eléctrica</b></p> <p>Definición: El amperio es la intensidad de una corriente eléctrica constante que, mantenida en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y colocados en el vacío a una distancia de un metro uno de otro, produce entre estos dos conductores una fuerza igual a <math>2 \cdot 10^{-7}</math> newton por metro de longitud.</p>	<b>amperio</b>	<b>A</b>
<p><b>Temperatura termodinámica</b></p> <p>Definición: El kelvin, unidad de temperatura termodinámica, es la fracción <math>1/273,16</math> de la temperatura termodinámica del punto triple del agua. Este mismo nombre y este mismo símbolo son utilizados para expresar un intervalo de temperatura. Un intervalo de temperatura puede también expresarse en grados Celsius °C.</p>	<b>kelvin</b>	<b>°k</b>
<p><b>Intensidad luminosa</b></p> <p>Definición: La candela es la intensidad luminosa, en la dirección perpendicular, de una superficie de <math>1/600 000</math> metro cuadrado de un cuerpo negro a la temperatura de congelación del platino, bajo la presión de 101 325 pascales.</p>	<b>candela</b>	<b>cd</b>

### CUADRO DE UNIDADES SUPLEMENTARIAS Y DERIVADAS

Magnitud	Unida	Símbolo	Expresión en obras unidades S.I.
<b>Unidades suplementarias</b>			
Angulo plano	radián	rad	
Angulo sólido	estereorradián	sr	
<b>Unidades derivadas</b>			
Superficie	metro cuadrado	m <sup>2</sup>	
Volumen	metro cúbico	m <sup>3</sup>	
Frecuencia	hertz	Hz	1/s
Densidad	kilogramo por metro cúbico	kg/m <sup>3</sup>	
Velocidad	metro por segundo	m/s	
Velocidad angular	radián por segundo	rad/s	
Aceleración	metro por segundo cuadrado	m/s <sup>2</sup>	
Aceleración angular	radián por segundo cuadrado	rad/s <sup>2</sup>	
Fuerza	newton	N	
Presión (tensión mecánica)	pascal	Pa	N/m <sup>2</sup>
Viscosidad cinemática	metro cuadrado por segundo	m <sup>2</sup> /s	
Viscosidad dinámica	pascal segundo	Pa.s	N.s/m <sup>2</sup>
Trabajo, energía, cantidad de calor	julio	J	N.m
Potencia	vatio	W	J/s
Cantidad de electricidad	culombio	C	A.s
Tensión eléctrica, diferencia de potencial, fuerza electromotriz	voltio	V	W/A
Intensidad de campo eléctrico	voltio por metro	V/m	
Resistencia eléctrica	ohmio	Ω	V/A
Conductancia eléctrica	siemens	S	AV
Capacidad eléctrica	faradio	F	C/V
Flujo de inducción magnética	weber	Wb	V.s
Inductancia	henrio	H	Wb/A
Inducción magnética	tesla	T	Wb/m <sup>2</sup>
Intensidad de campo magnético	amperio por metro	A/m	
Fuerza magnetomotriz	amperio	A	
Flujo luminoso	lumen	lm	cd.sr
Luminancia	candela por metro cuadrado	cd/m <sup>2</sup>	
Iluminancia	lux	lx	lm/m <sup>2</sup>
Número de ondas	una onda por metro	1/m	
Entropía	julio por kelvin	J/K	
Calor másico	julio por kilogramo kelvin	J/(kg.k)	
Conductividad térmica	vatio por metro kelvin	W/(m.k)	
Intensidad energética	vatio por estereorradián	W/sr	
Actividad (de una fuente radiactiva).	una desintegración por segundo	1/s	

### 4. NORMAS GENERALES DE NOTACION MODERNA

En los países que siguen el Sistema SI, la parte entera de un número se separa de la parte decimal mediante una coma (,). A partir de la

coma, en grupos de tres dígitos, se solían dividir estos grupos mediante puntos entre ellos. Ejemplo: 234. 576.284,43.

## ¿CUANDO PONER AL DIA NUESTRAS UNIDADES?

### Múltiplos y Submúltiplos

Prefijo	Símbolo	Factor que multiplica a la unidad
deca	da	$10^1$
hecto	h	$10^2$
kilo	k	$10^3$
mega	M	$10^6$
giga	G	$10^9$
tera	T	$10^{12}$
peta	P	$10^{15}$
exa	E	$10^{18}$
deci	d	$10^{-1}$
centi	c	$10^{-2}$
mili	m	$10^{-3}$
micro	$\mu$	$10^{-6}$
nano	n	$10^{-9}$
pico	p	$10^{-12}$
femto	f	$10^{-15}$
atto	a	$10^{-18}$

En el sistema anglosajón la utilización del punto y de la coma es precisamente el inverso. El número anterior se escribiría 234,567,248.43.

Actualmente se ha eliminado —en países SI— el uso de puntos para separar grupos de tres cifras. Esta separación se efectúa mediante espacios en blanco. Ejemplo: 234 567 248,43. Los caracteres son idénticos en tamaño y tipo de letra para la parte entera y decimal. Es decir, ya no se admite 428,27 sino 428,27.

Tiende a evitarse el escribir números enteros seguidos de una fracción en forma de quebrado: 26 1/3 ó 47 1/2. Se da la preferencia a la forma decimal: 26.333 333 ó 47,5.

Las fracciones se escriben en la misma línea 27:4 o bien 27/4.

Para la multiplicación no se emplea el punto como símbolo entre números, sólo entre letras. Para indicar multiplicación entre números se emplea el aspa  $\times$  paréntesis ( ) o corchete [ ].

El aspa no se emplea entre letras, sino el punto o nada. Ejemplo no escribir  $x \times y$  sino  $x \cdot y$  o simplemente  $xy$ .

Las ecuaciones de dimensiones se escriben con mayúsculas rectas  $L^2 M T^{-2}$ .

Las unidades designadas por sus símbolos se escribirán siempre en singular y exactamente con el símbolo establecido oficialmente y no con otro. (Ver símbolos en la definición oficial

de las unidades SI).

Salvo por razones gramaticales de final de frase (es decir punto seguido o punto y aparte) las unidades expresadas por sus símbolos abreviados **no van seguidas de punto.**

No deberán mezclarse en el texto los nombres completos de las unidades con su símbolo abreviado.

(Para mayor información, véase el libro: «Factores de Conversión de Unidades», Librería Técnica Bellisco, 1975 — con más de 10.000 factores de conversión, (desde el abfaradio hasta la fanega de marco real burgalesa) — de A. Benítez claro.

### Alberto Benítez García



#### FORMACION PROFESIONAL:

- Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
- Becado del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) durante un curso completo sobre Hidrología Subterránea.
- Diplomado en el Programa de Alta Dirección de Empresas (PADE) del IESE.

- Varios cursos monográficos temas empresariales.
- Profesor adjunto de la Escuela de Ingenieros de Caminos del curso de Hidrología Subterránea del doctorado.
- Introdutor en castellano de las modernas técnicas de Hidrología Subterránea, con su libro «Captación de aguas subterráneas» 1.ª ed. 1963, 2.ª ed. 1972.

#### EXPERIENCIAS PROFESIONALES:

- Jefe de la Sección de Ingeniería Sanitaria en España.
- Jefe de la Sección de Hidráulica en la consultora Arthur G. Mackee en Cleveland (Ohio) y también, de Meissner Engineers en Chicago (Illinois), donde también actuó como Director de Proyectos Extranjeros para esta empresa en México, Costa Rica, Venezuela y Colombia.
- Consultor en múltiples abastecimientos de agua subterránea en Zaire, Túnez (International Engineering, Inc) y Marruecos.
- Director de la división de Hidráulica EYSER (Estudios y Servicios, S. A.) Madrid.
- Dirección General de Obras Hidráulicas, jefe de la Sección de Control Analítico de las aguas.
- Confederación Hidrográfica del Tajo, Explotación del Trasvase Tajo-Segura.
- Confederación Hidrográfica del Tajo, Hidrología Subterránea.