
NOTAS TECNICAS

EL SISTEMA METRICO DECIMAL SE HACE UNIVERSAL

Gabriel RODRIGUEZ J.*

RESUMEN

Junto con hacer una ligera reseña desde la creación del sistema métrico decimal y su evolución hasta convertirse en el actual Sistema Internacional de Unidades, se dan a conocer las unidades fundamentales, sus derivadas, simbología, múltiplos y sub múltiplos recientemente aceptados.

Chile, aun siendo uno de los primeros países en adoptar el sistema métrico, necesita poner al día sus leyes y normas al respecto, labor que está realizando el Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización.

INTRODUCCION

Chile fue uno de los primeros países que adoptó el sistema métrico decimal, el que fue establecido por ley del 29 de enero de 1848, bajo la presidencia de don Manuel Bulnes, hace ya 125 años. (Francia, cuna del sistema, lo hizo obligatorio en la misma década de 1840).

Dicha ley estableció que las unidades únicas, legales y obligatorias eran: el metro como longitud, el kilogramo como unidad de peso y el litro como unidad de volumen. Varios decretos posteriores completaron esta ley de pesos y medidas, hasta que ésta pasó práctica y legalmente a regir en forma total desde 1865.

Las unidades, múltiplos y submúltiplos puestos en práctica por dichos mandatos legales fueron las que se presentan en la Tabla I.

Según el artículo 7º de la ley, la medida de volumen era el m³. Además se fijó para las medidas antiguas las correspondientes equivalencias. Entre otras, la cuadra, 125,39 m; la vara, 0,836 m; el pie, 0,279 m; el cuartillo, 1,1 l; la fanega, 97 l; la arroba, 11,5 kg; la onza, 0,0287 kg; el grano, 0,0499 g; la libra, 0,46 kg, etc.

El sistema se había propuesto cincuenta años antes, en Francia, durante la Revolución, debido a la gran confusión que había en esa época en cuanto a pesos

* Investigador del IDIEM. Miembro de INDITECNOR.

TABLA I
LEY DE PESOS Y MEDIDAS DE CHILE, 29.I.1848*

LONGITUD	UNIDAD	SUBMULTIPLO	EQUIVALENCIA	MULTIPLO	EQUIVALENCIA
LONGITUD	Metro	decímetro	0,1 m	decámetro	10 m
		centímetro	0,01 m	hectómetro	100 m
		milímetro	0,001 m	kilómetro	1000 m
SUPERFICIE	Metro Cuadrado	---	---	área	100 m ²
				hectárea	10000 m ²
CAPACIDAD	Litro (1 dm ³)	decílitro	0,1 l	decálitro	10 l
ARIDOS	Litro	---	---	decálitro hectólitro kilólitro	10 l 100 l 1000 l
PESO	Kilogramo (peso de 1 dm ³ de agua a 4°C).	hectógramo	0,1 kg	quintal métrico	100 kg
		decágramo	0,01 kg		
		gramo	0,001 kg		
		decígramo	0,1 g		
		centígramo	0,01 g		
		milígramo	0,001 g		

* El artículo 1º de la ley dice: *La base para todas las medidas así de longitud como de superficie, volúmenes, áridos i líquidos, será el metro, que es una diez millonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre.*

y medidas, no sólo en ese país sino en todos los demás. En efecto, la Asamblea Nacional solicitó a la Academia Francesa de Ciencias, el 8 de mayo de 1790, el estudio de un sistema de unidades que pudiera aplicarse a nivel mundial. Esta nombró una comisión de connotados hombres de ciencia, entre los cuales destacaban Laplace y Lagrange, la que recomendó la adopción de dos unidades originales: una de longitud, que sería una fracción del meridiano terrestre, (fracción que sólo vino a determinarse después de siete años de arduos trabajos para medir el arco de meridiano entre Dunkerque y Barcelona en 1799) y la otra de masa que sería el peso de un volumen dado de agua pura. (En aquellos días, más aun que hoy, se confundía la masa con el peso).

Así nació, por resolución de la Asamblea Constituyente, el 7 de abril de 1795 (18 de Germinal del año III), el sistema métrico cuya unidad básica era el METRO (de *μετρον*, medida).

Después del término de los trabajos experimentales, el metro se definió como la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre y el gramo como el peso en vacío de un centímetro cúbico de agua pura a 4°C.

Se construyó entonces un patrón de platino, de 1m de longitud, con sus extremos redondeados que se mantuvo en los Archivos de Francia: a 0°C medía 10⁻⁷

cuadrantes terrestres. Sus múltiplos eran el decámetro, el hectómetro, el kilómetro y el miriámetro; sus submúltiplos, el decímetro, el centímetro y el milímetro. También se construyeron patrones de peso y volumen. El litro sería 1dm^3 ; el kilogramo el peso de 1 litro de agua pura a 4°C y presión normal.

Entretanto, en 1833, Gauss demostró que cierta clase de magnitudes, tal como el flujo magnético, podían expresarse en término de estas unidades y de una de tiempo tal como el segundo. Nació así el sistema CGS (centímetro-gramo-segundo) que derivó en el campo de la electricidad en dos sistemas: el electrostático y el electromagnético. Se produce así cierta confusión al querer medir parámetros físicos tan importantes como voltaje, corriente y resistencia.

Thompson (más tarde Lord Kelvin) desarrolló un sistema decimal electromagnético creando las unidades volt, ampere y ohm.

Sólo en época reciente vino a racionalizarse este nudo de confusión al proponer Giorgi, en 1935, a la Comisión Electrotécnica Internacional, la adopción del sistema MKSA (metro-kilogramo-segundo-ampere).

Volviendo a nuestro primitivo metro patrón de 1799, digamos que estudios metalográficos posteriores demostraron que el platino no era un metal adecuado para un patrón y que lo mejor era una aleación de 90% de platino y 10% de iridio. Se construyó entonces un nuevo patrón de esta aleación, con perfil en forma de X y en vez de extremos redondeados, un par de muescas a 1m de distancia, creándose a su vez el Bureau International des Poids et Mesures que, desde entonces -1889- guarda estos patrones en Sèvres, cerca de París.

Por otro lado, precisas medidas del meridiano terrestre demostraron que el cuadrante equivalía a 10.002.288,3 metros. Fue necesario entonces dar una nueva definición de metro, de kilogramo y de litro, simplemente como los entes físicos que se guardan en Sèvres. Las medidas además, dieron para el litro la equivalencia de $1,000.028\text{dm}^3$.

Sin embargo, el metro patrón primario está sujeto a eventual destrucción y difícil reproducción, por lo cual la XI Conferencia General de Pesos y Medidas de 1960, entre otros acuerdos internacionales, redefinió el metro como 1.650.763,73 veces la longitud de onda rojo-naranja del criptón 86 emitida en el vacío.

Esta definición permite un patrón reproducible en cualquier laboratorio del mundo. De esta forma también el angstrom (\AA) pasa a valer exactamente 10^{-10} metros.

El sistema internacional de unidades (SI)

El sistema métrico decimal ha ido imponiéndose poco a poco en los países que no lo han adoptado todavía, primero en el campo científico, luego en ciertas profesiones tecnológicas y por último en la vida práctica. No obstante, el sistema métrico, como hasta aquí lo hemos visto, es defectuoso en el sentido que no todas las magnitudes físicas pueden desprenderse de las ya citadas.

Es necesario integrar además otras unidades fundamentales como son las de temperatura e intensidad luminosa.

Para la temperatura se tomó como base la recomendación de Lord Kelvin de usar la escala termodinámica de temperaturas, en la cual el punto triple del agua vale 273,16 K y el punto de ebullición 100 grados más. Esto hace que la unidad Kelvin sea exactamente igual a la Celsius*.

La unidad de intensidad luminosa o candela se fijó como la sesentaava parte de la luz radiada por 1 cm² de un cuerpo negro a la temperatura de solidificación del platino puro.

En cuanto a los ángulos se fijó el radián como unidad de ángulo plano y el estereorradián para ángulo sólido.

Todos estos perfeccionamientos y muchos otros han sido realizados en numerosos congresos y reuniones con amplia cooperación internacional, desde la llamada Conferencia Internacional del Metro de 1875, pasando por la I Conferencia Internacional de Pesos y Medidas de 1889 hasta las realizadas hoy en día, que han desembocado en un sistema decimal homogéneo, coherente y estandarizado, llamado Sistema Internacional de Unidades, abreviado SI, que permite expresar cualquier magnitud directamente de la ecuación correspondiente sin necesidad de usar engorrosos factores de conversión.

El SI fue establecido por la ya citada XI Conferencia de Pesos y Medidas realizada en París entre los días 11 y 20 de octubre de 1960 basándose en anteriores resoluciones y recomendaciones de comités. Consta de seis unidades fundamentales, dos complementarias y de una serie de unidades derivadas de ellas, las cuales se presentan en las Tablas II y III. El SI se basa entonces en el sistema decimal, excepto para el tiempo que en cierto modo sigue siendo sexagesimal. En efecto, si bien es cierto que la unidad es el segundo, cuyos múltiplos y submúltiplos SI deben ser decimales, no es menos cierto que por razones prácticas seguirá usándose el minuto, la hora, el día, etc. para propósitos cotidianos.

TABLA II

UNIDADES FUNDAMENTALES Y COMPLEMENTARIAS SI*

	MAGNITUD	UNIDAD	SIMBOLO
Fundamentales	longitud masa tiempo corriente eléctrica temperatura termodinámica luminosidad	metro kilógramo segundo ampere kelvin candela	m kg s A K cd
Complementarias	ángulo plano ángulo sólido	radián estereorradián	rad sr

* Recientemente se ha propuesto agregar el *mol* como unidad fundamental.

* Cuando Celsius propuso su escala centígrada la había fijado al revés de lo que ahora la conocemos, vale decir 0°C para el punto de ebullición y 100°C para el de congelación del agua.

TABLA III
PRINCIPALES UNIDADES DERIVADAS SI

MAGNITUD	NOMBRE	SIMBOLO	DIMENSION
aceleración	metro por segundo cuadrado	--	m/s^2
aceleración angular	radianes por segundo cuadrado	--	rad/s^2
área, superficie	metro cuadrado	--	m^2
calor específico	joule por kilogramo y kelvin	--	$J/kg \cdot K$
capacidad calórica, entropía	joule por kelvin	--	J/K
conductividad térmica	watt por metro y kelvin	--	$W/m \cdot K$
densidad	kilogramo por metro cúbico	--	kg/m^3
energía, trabajo	joule	J	$N \cdot m$
electricidad, cantidad de eléctrica, capacidad	coulomb	C	$A \cdot s$
eléctrica, conductancia	farad	F	$A \cdot s/V$
eléctrica, inductancia	amperes por volt	*	A/V
eléctrico, intensidad campo	henry	H	$V \cdot s/A$
eléctrico, diferencia potencial,	volt por metro	--	V/m
fuerza electromotriz	volt	V	W/A
eléctrica, resistencia	ohm	Ω	V/A
frecuencia	hertz	Hz	$1/s, (c\acute{i}clos)/s$
fuerza	newton	N	$kg \cdot m/s^2$
iluminancia	lux	lx	lm/m^2
luminancia	candela por metro cuadrado	--	cd/m^2
luminoso, flujo	lumen	lm	$cd \cdot sr$
magnético, densidad de flujo	tesla	T	Wb/m^2
magnético, flujo	weber	Wb	$V \cdot s$
magnética, intensidad de campo	amperes por metro	--	A/m
potencia	watt	W	J/s
presión	newton por metro cuadrado	**	N/m^2
radiación, intensidad	watt por esterrorradián	--	W/sr
velocidad	metros por segundo	--	m/s
velocidad angular	radianes por segundo	--	rad/s
viscosidad dinámica	newton segundo por metro cuadrado	--	$N \cdot s/m^2$
volumen***	metro cúbico	--	m^3

* Se propone llamarle siemens (S).

** Se propone llamarle pascal (Pa).

*** Si bien la unidad es el m^3 se acepta usar el término *litro* (l) = dm^3 para las medidas de mucha precisión.

En cuanto a las unidades derivadas, éstas se desprenden de aquéllas, aunque adoptando, la mayor parte de las veces, nombres propios como el watt, el newton, el ohm, etc. En este punto pueden haber variaciones futuras, puesto que es posible darle nombre propio a ciertas unidades que actualmente no la tienen. Tal está ocurriendo con la presión cuya unidad SI es el newton por metro cuadrado a la cual se propone llamarle pascal (Pa) y con la conductancia eléctrica que se mide en

amperes por volt, unidad a la cual se propone llamar siemens (S).

La Tabla III muestra las más importantes unidades derivadas en orden alfabético.

Por acuerdo internacional, también se recomienda la estandarización de múltiplos y submúltiplos, según se muestra en Tabla IV.

TABLA IV
MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS SI

MÚLTIPLO	PREFIJO	SÍMBOLO
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto*	h
10	deca*	da
SUBMÚLTIPLO		
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

* De uso no recomendable.

Estos múltiplos y submúltiplos se usarán en forma de prefijos, de preferencia en potencias de 10 cuyo exponente sea múltiplo de 3. Ejemplo: A, mA, μ A, nA, pA, etc., o bien V, kV, MV, etc.

Deben desterrarse algunos símbolos o unidades que se habían hecho comunes, como por ejemplo, cm^3 o c.c. en vez de ml; micrón, μ , en vez de μm ; caloría, kilowatt-hora, etc.

Finalmente deberá evitarse el uso de dos o más prefijos juntos como ha ocurrido con $\mu\mu\text{F}$ en vez de pF o $m\mu$ en vez de nm, etc. A este respecto, cabe hacer presente, que no debe hacerse una excepción a esta regla en el caso de la *tonelada métrica* que aparentemente debería llamarse *kilokilógramo* en razón que la unidad de masa es el kilogramo. En este caso y en todos los de la unidad de masa, los múltiplos y submúltiplos deberán formarse con la palabra gramo de símbolo g.

Ahora bien, la International Organization for Standardization (ISO) que es una organización fundada en 1947 para promover el desarrollo de normas en el mundo, teniendo en vista el intercambio internacional a nivel comercial y de servicios y el desarrollo mutuo de cooperación intelectual, científica, tecnológica y económica, en su reciente 23ª reunión efectuada en septiembre de 1969, recomendó usar a contar de 1970 el Sistema Internacional de Unidades (SI).

En Chile el Instituto de Investigaciones Tecnológicas y Normalización

(INDITECNOR), que es miembro de ISO, está haciendo una revisión de normas al respecto que unificarán leyes y disposiciones, con el fin de imponer oportuna y adecuadamente el sistema SI, que a nuestro país le afecta como vemos en mínima medida.

No cabe duda que el SI simplifica los cálculos y hace hablar un solo lenguaje a tecnólogos y científicos. Estos beneficios repercutirán profundamente y a nivel mundial en, la industria, la defensa, el comercio internacional, los gobiernos, la educación, el trabajo, el público consumidor, las leyes, las normas de calidad, las especificaciones de ingeniería, etc., etc.

Actualmente sólo alrededor del 15% de los países aún no usan el sistema métrico, estando todos en vías o proyecto de acoger el SI en el futuro próximo. Se espera uniformidad total para fines del siglo, probablemente dentro de la década 1980-90.

El esfuerzo de todo orden que significa para países altamente industrializados como los del Reino Unido y los Estados Unidos, cambiar su sistema inglés a métrico, es uno de los ejemplos que hará historia dentro de la igualdad y cooperación internacional.

Actualmente muchos países están en franco proceso de cambios al sistema SI. Inglaterra lo inició en 1965, Sudafrica recientemente, Estados Unidos ya tiene avanzados estudios y se piensa que lo iniciará antes de 1974; parecidas intenciones tienen Canadá, Australia, Nueva Zelandia. Todos proyectan realizar el cambio total en un período de 10 años.

Así pues, el metro, que nació en arduas discusiones dirigidas por Laplace, a la sazón presidente del Bureau des Longitudes, por allá por 1795, terminará por imponerse y medir con una misma vara al mundo, después de 200 años.

BIBLIOGRAFIA

1. *Ley de pesos y medidas para Chile*. Santiago, 29 de enero 1848.
2. FERNANDEZ, M.S., *Sistema métrico decimal*. Santiago, 1861.
3. Mc NISH, A.G., The international system of units (SI). *Materials Research & Standards*, (octubre 1965).
4. ISO NEWS SERVICE. La recomendación ISO n° 1000. *NOTICIAS INDITECNOR*, n° 16 (abril 1969).
5. JACOBY, C. *Adaptación de las unidades del Sistema Internacional en las normas NCh*. INDITECNOR, (diciembre 1969).
6. Norma NCh 6 n° 70 y NCh 9 n° 70, INDITECNOR.
7. ASTM E 380 Metric practice guide. *1971 Annual Book of ASTM Standards*, Part 30.
8. JAUREGUI, F.G. y PULIDO, Y. Los Estados Unidos y el sistema métrico decimal, *Hierro y Acero*, (agosto 1971); reproducido en *NOTICIAS INDITECNOR* n° 32, (enero-febrero 1972).