

El SI y las Leyes sobre Pesas y Medidas

Parte I

Ing. Joseba A. Lascurain

*Ingeniero Civil, Industrial (UCAB) Master of Science(Harvard)
Profesor Titular (UCAB)*

INTRODUCCIÓN

En el segundo semestre del año 1999 fue presentado ante el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCAB, por el ingeniero Carlos Aguerrevere Ruiz, un trabajo cuyo objetivo era: sic "Facilitar al público la comprensión de los conceptos de las unidades del SI (Sistema Internacional) y la comprensión de la interrelación física que existe entre las unidades mediante una máquina inspirada en la Máquina de Atwood".

Las investigaciones sobre las narrativas histórico-técnicas y los cálculos realizados por el suscrito *para calibrar* dicho trabajo resultaron tan entretenidos, interesantes, y académicamente útiles tanto para nuestros futuros ingenieros como para el público lector en *general, que* tomé la iniciativa de *remitirlo* en dos partes a la consideración de los editores de nuestra Revista de la Facultad de Ingeniería: Tekhne, para su consideración y amable edición.


Espero que todos nuestros lectores disfruten de esta fascinante experiencia.

UNA BREVE RELACIÓN HISTÓRICA PARA ENTENDER EL ORIGEN DEL "SI"

Inglaterra comenzó a sentir las dificultades que en el ámbito comercial, nacional, regional e internacional impuso el sistema "imperial" de pesas y medidas, aplicado en sus territorios, sustentada en el vocabulario de sus patrones de medidas y pesos, así como en el uso y costumbres seculares de unidades de medición totalmente arbitrarias basadas en: yardas, palmas, pies, pulgadas,

pasos, millas, codos, brazas, onzas, cuartos (quarts), acres, cueros, fanegadas, galones, libras y otros, mucho antes que con la revolución francesa y el Imperio Napoleónico subsiguiente, se iniciara la racionalización de un sistema único de pesas y medidas, dirigido a resolver los problemas derivados de la fabricación de productos con características uniformes, para el uso, intercambio, exportación y comercialización.

Mucho antes, en el transcurso de los siglos, las regiones y los países fueron imponiendo sus propios criterios y se mantuvieron vigentes, aún mucho tiempo después que su significado y orígenes fueron olvidados.

Desde hacía 2000 años se utilizaba el  para medir distancias y como la acción de medir en esos tiempos se hacía con la palma de la mano, y ésta era equivalente a cuatro dedos, por lo que el pie valía cuatro palmas que daban un total de dieciséis dedos. Este patrón de medida duró por mil años. Pasaron los siglos y alguien se dió cuenta que la medida era muy inexacta debido al ancho variable de los dedos, de manera que se implantó un sistema más preciso, consistente en extender en perfecto alineamiento *recto un* total de treinta granos de cebada, que debían ser seleccionados y desgranados sólo desde el centro de las espigas, antes de efectuarla medida.

El nuevo patrón de medida también sirvió para comerciar en volúmenes y pesos. De estos adelantos surgió la palabra fanega (bushel) que hasta nuestros días vale ocho galones imperiales de capacidad (En Inglaterra con equivalencia a 36,37 litros, mientras que en los Estados Unidos de América son 35,25 litros) y además son cincuenta libras de peso en el sistema imperial Inglés.

En el siglo VIII, cuando se establecen los Estados Anglosajones, incluyeron a la pulgada (inch) como patrón de medida de distancias cortas, ya que era la distancia desde el nudillo hasta la punta del pulgar de la mano (En nuestros días esa pulgada vale 2,540 centímetros, pero en tiempos remotos pudo ser cualquier cosa). Esta unidad del sistema Imperial Inglés dejó de existir bajo la ley de Pesas y Medidas de Inglaterra en 1971.

Entre los siglos VIII y IX ocurren en las Islas Británicas las incursiones Escandinavas, y los Vikingos convinieron en utilizar en sus andanzas marinas la braza (fathom), hoy día equivalente a 6 pies, como unidad de medida que les permitía determinar la profundidad de los fondos marinos respecto a la quilla de sus navíos a la hora de atracar. Lo que es poco conocido hoy día es que la braza era la distancia que había entre los extremos de las puntas de los dedos de un Vikingo cualquiera con los brazos abiertos en cruz. Intente usted hacer la operación señalada y verá que se acerca a los 6 pies de longitud.

El rey Edgardo, El Pacífico (959-975) conquistador de la isla de Bretaña, impuso la yarda como medida de longitud, la cual estaba sustentada por la distancia entre la punta de su propia nariz (la del Rey por supuesto) y la punta del dedo medio de su mano, con el brazo alargado en posición horizontal a la altura del hombro. Este nombre ha perdurado desde hace más de mil años hasta nuestros días, y es muy difícil que se elimine del lexicón de la fanática del football Americano, o que se llegue a cambiar las reglas de su juego estrella y de las dimensiones de sus inmensos estadios deportivos, a pesar de todos los convenios que firmen las naciones para aceptar el Sistema Internacional de unidades (SI), la cual fue aprobada como Section 5164 de la Public Law 100-418 del Trade and Competitiveness Act de 1988 por los Estados Unidos de América. La yarda moderna es equivalente a 0,9144 metros.

Avanzando un poco más en el tiempo ocurren otras singulares decisiones en relación a la medida de áreas. En la época de los Normandos de Guillermo I, El Conquistador (1027-1087), duque de Normandía, quien conquistó a Inglaterra en 1066 en la batalla de Hastings, se regularizó la medida del área, que utilizaba el acre como medida de la cantidad de tierra que era arada en un día por una yunta de bueyes que, por supuesto, su extensión dependía de si el terreno era de consistencia duro o blando. Para determinar el área de un terreno que podía ser arado por una yunta de bueyes durante un año para alimentar a una familia, se utilizó como unidad el cuero (en Inglés hide) equivalente a ciento veinte acres.

El segundo hijo de Guillermo I El Conquistador, el Rey Enrique I de Inglaterra (reinó desde 1100 a 1135 después de la muerte de su hermano Guillermo II en 1100) llegó al extremo de aplicar sanciones penales a

los vendederos que hacían trampas con pesas y medidas, e intentó resolver problemas de interpretaciones. Legalizó la unidad de medida yarda, dada por la distancia entre la nariz y el dedo del Rey Edgardo, arriba descrito, que también bautizó con el nombre de "nuestra yarda de Manchester".

En la "Carta Magna" de Inglaterra de 1215 se establecieron pesos y medidas para la venta del maíz, el vino, la cerveza, la cebada y las telas. Esta referencia legal fue tomada como base para lo que fueron siglos después las bases del sistema de unidades del Imperio inglés.

Dejamos la evolución narrativa de lo que aconteció en Inglaterra durante más de mil doscientos años, en el desarrollo de las unidades de longitud, áreas, volumen o capacidades y pesos, para tratar de describir la situación en Italia. Las legiones Romanas, los mayores caminantes del gran imperio de los primeros siglos de nuestra era, utilizaron el nombre de milla, que a la vez correspondía a mil pasos, como medida de distancias atravesadas en sus correrías. Sin embargo, los mil pasos no eran los mismos pasos (feet) que los utilizados por el sistema Inglés, ya que en su caso eran variables, llegando a medir hasta 1618 yardas Inglesas.

La milla Inglesa y la milla de Estados Unidos son iguales y está valorada en 1760 yardas, en contraposición a la milla de algunos países europeos que difieren en varias yardas de la arriba indicada.

Los cartógrafos y exploradores de épocas pasadas estarían muy satisfechos de saber que se puede determinar con muy buena precisión, la distancia en metros de los pasos de un ser humano de cualquier talla, midiendo en metros y fracciones la altura desde el eje que pasa por el iris de los ojos y la planta de los pies, de un hombre erguido, dividido entre dos. ¡¡Haga la prueba y verifique!!.

De manera que ahora entramos a la forma como el resto del cuerpo humano sirvió durante siglos como patrón de comparación para los sistemas de pesas y medidas de los artesanos y comerciantes.

Según el Diccionario de la Lengua Castellana hay (o había) varias equivalencias de codo. Solo imaginemos el entrevero que se formaba al tratar de insertar una pieza en otra, en la construcción de dinteles, fachadas, adornos, estatuas de materiales que venían de otros lugares, y en las ventas de productos de consumo popular, como por ejemplo:

En España:

El codo del rey = 33 dedos = 0,574 metros

El codo geométrico = media vara = 0,418 metros

El codo mediano morisco = 0,6096 metros

En Italia:

En Bolonia..... = 0,640 metros
 Florencia..... = 0,584 metros
 Génova..... = 0,578 metros
 Milán..... = 0,595 metros
 Modena..... = 0,648 metros
 Parma..... = 0,542 metros
 En agrimensura... = 0,644 metros
 Para compra/venta de telas en Reggio.... = 0,530 metros
 Para compra/venta de lana en Venecia... = 0,683 metros
 Para compra/venta de seda en Venecia.. = 0,639 metros

Copérnico, Kepler, Galileo iniciaron la era científica en los siglos XVI y XVII en muy precarias condiciones de medición y experimentación, al hacer observaciones sobre la rotación de los astros y el fenómeno de la caída libre de los cuerpos, a juzgar por el material que dejaron escrito.

Galileo utilizó dimensiones y movimientos del cuerpo humano para medir distancias, como por ejemplo el coddo (cubit) y el brazo (braccia), cuyas equivalencias en metros no fueron bien definidas por él mismo, y más bien se encontraron medio ocultas entre líneas, en su críptica manía de no evidenciar sus descubrimientos. Usó el agua para medir la caída de las graves en segundos. El pulso de sus propias venas, para medir el periodo de la oscilación de los péndulos.

Galileo, por primera vez, anuncia en sus experimentos' sobre la proporcionalidad entre los espacios de caída libre y el cuadrado de los tiempos.

En la pintura de Luigi Sabatellio, en el Museo de Física e Storia Naturale, Florencia, se representa al joven Galileo cuando a la edad de 19 años, siendo estudiante de Medicina en la Universidad de Pisa, en el año 1583, contemplando una lámpara oscilando en la catedral de esa ciudad y observa su sincronismo, tomando como referencia del tiempo el pulso de su corazón. Este recuerdo perduró hasta casi los últimos años de su vida y en 1641 (77 años) concibe la utilización del reloj de péndulo. Aunque siempre intentó utilizar esta importante observación en la hechura de un reloj (horologio) que funcionara como un péndulo, que nunca pudo construirlo. Sin embargo, su hijo Vincenzio, construyó un modelo siguiendo los dibujos de su padre, que luego la ciudad de Florencia instaló en una torre.

Christian Huygens, el gran horologista, construyó en 1656 el primer reloj regulado por un péndulo y publicó, dos años después, un tratado (Horologium) con todos los detalles del mismo, declarando que su reloj era un instrumento ajustado a requerimientos para establecer la longitud cartográfica de la tierra y poder deter-

minar la posición de los barcos en viajes oceánicos. En el año de 1675 patentó Huygens un mecanismo a base de un resorte en espiral, como alternativa al reloj con péndulo que en travesías marinas se descomponía por el oleaje y las tormentas, y así poder ajustar el movimiento de ruedas mecánicas a la determinación del tiempo.

Si se pretende relacionar el sistema de unidades de medición y pesos con el SI, es necesario recurrir a la obra "Naturalis philosophiae principia mathematica" de Newton quien escribió los siguientes axiomas o leyes del movimiento en 1686:

Primera Ley: Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o de movimiento uniforme y en línea recta, salvo en cuanto mude su estado obligado por fuerzas exteriores.

Segunda Ley: El cambio del movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se efectúa según la línea recta en dirección de la cual se imprime dicha fuerza.

Tercera Ley: A toda acción se opone una reacción contraria e igual: es decir, que las acciones entre dos cuerpos son siempre iguales entre sí y dirigidas en sentido contrario.

Simón Stevin fue la primera persona que propuso, sin éxito, un sistema de medición en el siglo XVII. Y el sacerdote Gabriel Moutonen el año 1670 presentó a la Academia de Ciencias Francesa una propuesta para que se llamara milliare al arco de circunferencia subtendido por un minuto de meridiano terrestre, y ese milliare a su vez se debía subdividir en mil virgas pero tampoco tuvo acogida.

En 1790, Tomas Jefferson (1743-1826) tercer presidente de Estados Unidos de América, introdujo en el Congreso de su país un proyecto de ley estableciendo un sistema racional de medición y una nueva unidad de longitud para apartarse del sistema Imperial Inglés, pero su propuesta fue rechazada.

Durante el período de la Revolución Francesa de 1789 al 18 de mayo de 1804, cuando se origina el imperio Napoleónico, y se afianza la Academia de Ciencias de Francia, la Asamblea Nacional instituida en 1791, votó el 22 de junio de 1799, por una nueva unidad de medida: el metro y cambió la unidad de peso por el kilogramo; y además se definieron estos términos así:

El metro es la diezmillonésima parte del cuadrante que forma el meridiano terrestre medido entre Dunkerke y Barcelona (España). El kilogramo es la masa de un decímetro cúbico de agua a su temperatura de máxima densidad. Esta última definición se utilizó también para definir al litro como el volumen correspondiente.

No fue fácil cambiar los patrones de medidas y pesos en la época del Imperio Napoleónico, aunque se trató de unificar dicho sistema de unidades en Europa (incluyendo a Inglaterra), siendo necesario llevarlo hasta la enseñanza escolar francesa, logrando sus objetivos en 1840.

Al tratar el tema de la coherencia de las unidades para las Ciencias Físicas, en la aplicación del Sistema Métrico en sus tres unidades mecánicas: centímetro, gramo, segundo (c.g.s) (Sistema cegesimal) hay que dar crédito a Gauss, quién fue el primero en establecer medidas absolutas en la determinación de las fuerzas magnéticas de la tierra, utilizando el sistema cegesimal de unidades para calcular longitudes, masas y tiempos en el año 1832. Luego se le unió Weber para incluir los fenómenos eléctricos.

En 1860 La formulación de los requerimientos para un sistema coherente de unidades y un sistema de unidades derivadas la realizaron Maxwell y Thomson (Lord Kelvin) ante la BAAS (British Association for the Advancement of Science)². Y en 1874 la BAAS introdujo el sistema c.g.s en forma coherente, utilizando prefijos que asignaban múltiplos y submúltiplos decimales a las unidades desde el mega (10⁹ hasta el micro (10⁻¹).

También en 1860 los Estados Unidos de América e Inglaterra, comenzaron por reconocer las ventajas del sistema métrico decimal, pero estaban reacios a cambiar las unidades imperiales Inglesas de medidas y pesos. Retuvieron sus medidas imperiales y se autorizó a optar como un "segundo sistema" al sistema métrico decimal.

Veinte años más tarde, las unidades coherentes del sistema cegesimal, en el campo del magnetismo y la electricidad resultaron inconvenientes, de manera que el IEC (International Electric Congress)³ y la BAAS se unieron para aprobar un grupo mutuo coherente de unidades prácticas.

Además de incluir al ampere para determinar la corriente eléctrica, también aprobaron al voltio para la fuerza electromotriz y al ohmio para medir la resistencia eléctrica.

En 1889, la primera CGPM (Conferencia General de Pesas y Medidas)⁴ aprobó las propuestas de adoptar el metro y el kilogramo, y el segundo astronómico, como las unidades básicas para determinar: longitud, masa, y la medida del tiempo, que constituyeron un sistema de unidades mecánicas tridimensionales similares al sistema c.g.s

El físico italiano Giovanni Giorgi tuvo la feliz idea de tomar las unidades del sistema m.k.s aprobado en 1889 y sugerir un sistema coherente de unidades, agre-

gándole a las unidades básicas una cuarta unidad de características eléctricas, usando el ampere o el ohmio, reescribiendo las ecuaciones del campo electromagnético en forma racionalizada. Pero no fue hasta 1921 (20 años después de la propuesta de Giorgi) que la 6^a CCGPM (Conferencia General de Pesas y Medidas)⁵ extendió las responsabilidades de la metricación a otros campos de la física.

En 1939 se acordó la adopción del sistema de cuatro unidades m.k.s y el ampere que fue aprobado por la Conferencia Internacional de Pesas y Medidas en 1946.

EL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI)

En francés, le System International d'Unites (SI), fue el nombre utilizado por la 11a Conferencia General de Pesas y Medidas, realizada en 1960 en París, para aprobar un sistema de medidas universal, unificado, auto-consistente basado en el sistema metro-kilogramo-segundo conocido también como mks, y definieron seis unidades básicas y dos unidades suplementarias. En la Conferencia de 1971 se agregó la séptima unidad: el mol como unidad de cantidad de sustancia (Ver Tabla 1 y Tabla 2 anexas).

La Conferencia General de París en 1960 sentó las bases para que los Estados Unidos de América, el mayor productor mundial en ese entonces de productos de consumo masivo, se comprometiera a aumentar el uso, y conversión voluntaria, al sistema métrico de medidas.

Un recuento de la acogida que tuvo esta Conferencia General a nivel mundial para salir del sistema Imperial Inglés se encuentra en un resumen que para julio de 1970 hizo Lord Ritchie-Calder, Barón de Balnashannar, presidente del Metrication Board de Gran Bretaña, sobre las naciones que para esa fecha utilizaban o adoptaron el sistema métrico, con el siguiente resultado:

Naciones METRICAS : 138

Naciones en vías de adoptar METRICAS: 17. Entre ellas el Reino Unido (Inglaterra)

Naciones No - METRICAS: 9. Entre ellas los Estados Unidos de América

Años después, aprobada La Ley de conversión Métrica de E.U.A en 1975, definieron también al sistema métrico como el Sistema Internacional de Unidades interpretado o modificado por la Secretaria de Comercio de los E.U.A., y así se apartaron de los remanentes del sistema Imperial de Medidas y Pesos de Inglaterra.

Las Tablas 1 a 6 que se incluyen en este recuento están incluidas en el documento que fijan las siete bases de unidades del SI referido y sus dos unidades

suplementarias, las unidades SI derivadas, los Prefijos del sistema métrico y las Cantidades Estándar con sus nombres. Las definiciones de las siete bases de unidades SI y sus dos unidades suplementarias son las siguientes:

Tabla 1. Unidades Base del SI.

Cantidad	Nombre de la Unidad SI Básica	Símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Corriente Eléctrica	ampere	A
Temperatura termodinámica	Kelvin	K
Cantidad de Sustancia	mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd

Tabla 2. Unidades Suplementarias del SI.

Cantidad	Nombre de Unidades SI Suplementarias	Símbolo
Ángulo Plano	radián	rad
Ángulo Sólido	esterorradián	sr

Tabla 3. Unidades SI Derivadas y Nombres

Cantidad	Nombre de Unidad SI Derivada	Símbolo
Área	metro cuadrado	m ²
Volumen	metro cúbico	m ³
Velocidad	metro por segundo	m/s
Aceleración	metro por segundo cuadrado	m/s ²
Densidad	kilogramo por metro cúbico	kg/m ³
Densidad de Corriente	ampere por metro cuadrado	A/m ²
Fuerza del Campo Magnético	ampere por metro	A/m
Volumen Específico	metro cúbico por kilogramo	m ³ /kg
Luminiscencia	candela por metro cuadrado	cd/m ²

Tabla 4. Unidades Suplementarias del SI

Cantidad	Nombre Especial de la Unidad SI Derivada	Símbolo	Valor según la base o en Unidades SI Suplementarias o en otras Unidades SI Derivadas
Frecuencia	hertz	Hz	1/s
Fuerza	newton	N	kg.m/s ²
Presión, Esfuerzo	pascal	Pa	N/m ²
Energía, Trabajo, Cantidad de Calor	joule	J	N.m
Potencia	watio	W	J/s
Cantidad Electricidad	coulombio	C	A.s
Potencial Eléctrico	voltio	V	W/A
Capacitancia	faradio	F	G/V
Resistencia Eléctrica	ohmio	Ω	V/A
Conductancia	siemens	S	A/V
Flujo Magnético	weber	Wb	V.s
Densidad de Flujo Magnético	tesla	T	Wb/m ²
Inductancia	henry	H	Wb/A
Flujo Luminoso	lumen	lm	cd.sr
Huminación	lux	lx	lm/m ²
Actividad (radionúcleos)	becquerel	Bq	1/s
Dosis Absorbida	gray	Gy	J/kg

Tabla 5 Prefijos Métricos

Factor de Multiplicación	Prefijo	Símbolo
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h
10^1	deca	da
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

Tabla 6 Cantidades y Unidades Estándar

Cantidad	Nombre de la Unidad	Símbolo de la Unidad	Definición
Tiempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 60 min
	día	d	1 día = 24 h
Plano	grado	°	1° = (π / 180)
Ángulo			rad
	minuto	'	1' = (1/60)°
	segundo	"	1" = (1/60)'
Volumen	litro	l	1 l = 1 dm ³
Masa	(tonelada métrica)	t	1 t = 10 ³ kg.

Unidad de longitud: metro

La unidad básica de longitud era el metro que se definió por muchos años como la "diezmillonésima parte de un cuadrante de meridiano terrestre" ó sea el arco máximo que pasaba por el Polo y por el Ecuador' Como esta unidad era incómoda, se construyó un prototipo de la aleación platino-iridio al 10%, en forma de X, que es la sección menos deformable a la flexión, con dos finas marcas cerca de los extremos, distanciadas un metro, y sometida a una temperatura de cero grados Celsius. De esta manera la nueva definición de metro fue: "es la longitud que separa los dos trazos del metro prototipo, que se encuentra en Sévres, a la temperatura de cero grados centígrados"

La redefinición del metro en 1960 fue mucho más radical y congruente con la estructura atómica de la materia, que resulta ahora ser la nueva orientación que

siguen las redefiniciones de las unidades, por ser rigurosamente precisas. El metro "es un múltiplo de la longitud de onda 2. en el vacío de la línea espectral rojo-anaranjado del átomo de criptón 86 (86Kr)". En consecuencia, el metro es igual a 1'650.763,73 veces la longitud de onda, en el vacío, de la radiación correspondiente a la transición entre los niveles 2p₁₀ y 5d₅ del átomo de criptón 86; es decir 1 metro = 1,65076373 x 10⁶ / (86Kr; 2p₁₀-5d₅) siendo?. (86Kr; 2p₁₀-5d₅)= 6,05780221 x 10⁻⁷ metros.

Pero en 1983 nuevas investigaciones llevaron a que se redefiniera el metro como "la longitud atravesada por un rayo de luz, en el vacío, durante un intervalo de tiempo de 1/299.792.458 de segundo".

Unidad de Masa: kilogramo

Esta es la unidad que más embates ha resistido en el tiempo. Recordaremos que el kilogramo fue definido como la masa de 1 decímetro cúbico de agua pura a la temperatura de su máxima densidad, de manera que se optó por construir a la medida, un cilindro sólido de platino que cumpliera con las mismas condiciones referidas al decímetro cúbico de agua pura a 4° Celsius' Más tarde se comprobó que no era posible garantizar un agua con la pureza y características físico-químicas exigidas, teniendo que cambiar en 1889 el prototipo, a un cilindro de platino-iridio al 10% de masa similar.

De esta manera el kilogramo es "la masa del kilogramo prototipo internacional, que es un cilindro de platino-iridiado, conservado en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas de sévres"

Unidad de Tiempo: segundo

Por siglos el tiempo había sido medido en función de la rotación de la tierra, de manera que el segundo se definió como 1/86,400 de un día solar medio. Pero la rotación de la tierra no es lo suficientemente constante para determinar la unidad básica del tiempo. La diferencia entre el tiempo solar verdadero y el tiempo solar medio varía entre +15 y -16 minutos durante el año' Como resultado, la unidad de tiempo, el segundo, se redefinió en 1967 en función de la frecuencia de resonancia del átomo del 133Cesio.

La 13a Conferencia General de Pesos y Medidas de 1964 decidió tomar como medidas de tiempo y frecuencias provisionales, el valor 9.192.631.770 Hz para la transición hiperfina del átomo 133Cs, pero se mantenía el segundo según las efemérides, siendo la unidad básica del tiempo.

Finalmente, en la 13ª Conferencia General de Pesos y Medidas de 1967 se redefinió el segundo, basado en el tiempo calculado en los modernos relojes atómicos (que utilizan el segundo atómico) que reza

así: "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 de Cesio 133". Se acabó el segundo del día solar medio que solo se usa en astronomía.

Corriente Eléctrica: ampere

Se definió como ampere la unidad de la "corriente eléctrica constante, que fluye en dos conductores paralelos separados un metro, en el vacío, que producen una fuerza entre los conductores de 2×10^{-7} newtons por metro de longitud"

Temperatura Termodinámica: Kelvin

La unidad de temperatura termodinámica, adoptada en 1960 se basaba en el punto triple de temperatura del agua, donde se encuentran en equilibrio las fases sólida, líquida y vapor. A este punto triple se le asignó el valor de 273,16 grados kelvin, igualmente equivalente a 0 grados celsius en la escala de temperaturas. Esta escala había sido separada entre los puntos de congelación y de ebullición del agua en 100 divisiones (grados) por Anders Celsius y se reemplazó el término centígrado, muy usado en nuestro ambiente académico, por el de celsius.

Cantidad de Substancia: mol

El mol permite contar el número de partículas que intervienen en un proceso físico o químico. En 1971 el mol fue definido como "cantidad de substancia de un sistema que tiene tantas entidades elementales como átomos en 0,012 kilogramos de ¹²Carbono puro". Cuando se utiliza el mol, deben especificarse las unidades elementales que pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, otras partículas o grupos especiales de tales partículas⁶.

Intensidad Luminosa: candela

Esta unidad de intensidad luminosa se definió originalmente como "la 1/60 parte de la luz radiada por un centímetro cuadrado de un cuerpo negro, mantenido a la temperatura de solidificación del platino bajo una presión de 101.235 pascal" (1 atmósfera). Ahora se define más precisamente como la intensidad de una fuente luminosa, en una dirección dada, con una frecuencia de 54×10^{12} hertz y una intensidad de radiación de 1/683 watios por esterorradian en esa dirección".

Angulo Plano: radián

El radián es el "ángulo plano entre dos radios de un círculo que cortan la circunferencia de un arco de igual longitud que la del radio"

Angulo Sólido: esterorradián

El esterorradián es el ángulo sólido S_2 que se define como "la porción S de la superficie de una esfera de

radio r , cortada por un cono cuyo vértice coincide con el centro de la esfera y cuya abertura es $2p$ ". Siendo p el semiángulo de abertura, se tiene entonces la siguiente relación:

$$\Omega = S/r^2 = 2\pi (1 - \cos p)$$

Otras Cantidades Derivadas

Las otras cantidades incluidas como derivadas del sistema SI provienen de las operaciones calculadas a partir de las siete unidades base y de las dos unidades suplementarias (Ver Tabla 3 y Tabla 4 anexas).

Cantidades Estándar y sus Unidades

La Tabla 6 contiene las cinco cantidades estándar, el nombre, el símbolo utilizado y la definición correspondiente en caracteres dimensionales. Estas cantidades se utilizan con tanta frecuencia que no sería práctico dejar de usarlas y son aceptadas por el SI.

Hay algunas cantidades que están sujetas a un tiempo limitado de utilización y a una revisión en el futuro. Entre ellas se encuentran: la atmósfera estándar, la baria, el angstrom, [a hectárea, que se usan con cierta frecuencia en el ambiente académico, científico y agrícola, y en las unidades marinas: el nudo, la milla náutica, por citar algunos casos.

Otros Comentarios

Una de las ventajas del sistema coherente de las unidades del SI se debe a que se puede calcular otras unidades como relaciones de multiplicación y división de las unidades derivadas y suplementarias, sin utilizar factores numéricos de transformación. Como se pueden generar cifras que son muy elevadas o muy pequeñas, se ha expandido el rango de los prefijos a valores determinados por el factor $10^{\pm n}$ donde el exponente del factor se ha incrementando de 3 en 3, a partir de $n = 3$.

Los dobles prefijos no se usan salvo el caso del gramo.

Los prefijos hecto, deca, deci, centi se usan cada vez menos para expresar áreas y volúmenes.

El centímetro se ha mantenido por el uso continuado en la manufactura de prendas de vestir.

Unidades no-coherentes'

En relación a las unidades no-coherentes llamadas técnicas, son por ejemplo las unidades de fuerza en las que la unidad de masa (kilogramo, libra, etc.) está multiplicada por una unidad no-coherente de aceleración (1 ml s^{-2}) o bien (1 pié s^{-2}), sino por la aceleración normal debida a la gravedad $g_n = 9,80665 \text{ ml s}^{-2}$.

En los países de habla francesa e Inglesa se añade la palabra fuerza al nombre de la unidad de masa y la letra 'f' al símbolo de la unidad. Por ejemplo kilogramo-fuerza (kgf) o libra-fuerza (lbf).

Las unidades técnicas de fuerza son superfluas y desaparecerán ya que deben evitarse en trabajos científicos.

Aceleración debido a la gravedad°

El valor convencional no se utiliza para cálculos precisos sobre las acciones generadas por un campo de fuerzas gravitatorias.

El valor convencional de la aceleración debida a la gravedad es:

$$g_n = 980,665 \text{ Gal (cm s}^{-2}\text{)} \quad (1)$$

La fórmula internacional de la gravedad que se refiere al elipsoide terrestre internacional es:

$$g_i = 980,632 272 - 2,586145 \cos 2B + 0,002878 \cos 4B - 0,000004 \cos 6B \quad (2)$$

donde g_i = aceleración debido a la gravedad al nivel del mar, siendo B la latitud (Ver Tabla 7).

Si se toma en cuenta también la altura h (en metros) sobre el nivel del mar se tiene, entre otras, la siguiente fórmula⁹

$$g = 980,616(t - 0,00259 \cos 2B - 2 \times 10^{-7} h) \quad (3)$$

Otro parámetro que se tiene que tomar en cuenta para determinar con mayor precisión el valor de la gravedad en una determinada localidad, y su desviación del valor convencional, es la rotación de la tierra, cuya fuerza centrípeta actúa perpendicular al eje de la rotación de la tierra y por consiguiente interviene en el paralelogramo de fuerzas con la fuerza gravitacional, dando una pequeña desviación, la cual depende de la latitud del punto al cual se está calculando el valor de g .

La aceleración verdadera debida a la gravedad es probablemente inferior en 14 mGal al valor calculado a partir de la fórmula internacional de gravedad¹⁰, y la Asamblea General de la UIGG (resolución 11 de 1971) ha dado origen a una Red Gravimétrica Internacional Unificada (1971) que publica en el Boletín Geodésico todas las informaciones sobre correcciones necesarias definitivas del valor de la aceleración debida a la gravedad en Postdam en el sistema nuevo.

Latitud°	gi en Gal	gi/gn	gn/gi	Latitud°	gi en Gal	gi/gn	gn/gi
0	978,0490	0,997332	1,002675	45	980,6294	0,999964	1,000036
5	0881	372	635	46	7197	1,000056	0,999944
10	2043	491	516	47	8098	148	852
15	3940	684	321	48	8998	239	761
20	6517	947	057	49	9894	331	669
25	9694	0,998271	1,001732	50	981,0787	422	578
30	979,3378	647	355	51	1673	512	488
31	4165	727	273	52	2554	602	398
32	4968	809	193	53	3427	691	309
33	5785	892	109	54	4291	779	221
34	6614	997	025	55	5146	866	134
35	7456	0,999062	1,000938	56	5990	952	048
36	8308	149	851	57	6822	1,001037	0,998964
37	9170	237	763	58	7642	121	880
38	980,0041	326	674	59	8448	203	798
39	0920	416	585	60	9239	284	718
40	1805	506	494	65	982,2941	661	342
41	2696	597	403	70	6139	987	617
42	3591	688	312	75	8734	1,002252	0,997753
43	4490	780	220	80	983,0647	447	359
44	5391	872	128	85	1818	566	440

Tabla 7 Fórmula Internacional de Gravedad (gi) a nivel del mar en función de la latitud.

RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS

- 1 Galileo Galilei "Diálogos Concernientes a Dos Nuevas Ciencias", Libra Tercero. Teorema II, Proposición II. p.174. Dover Publication, Inc. (60099-8). Título en Inglés: Dialogues Concerning Two New Sciences.
- 2,3,4,5
Internet :Ver [mailto: webmaster @ bipm. fr](mailto:webmaster@bipm.fr) p. 1
Tomado de index..htmlindex.html. Historical context of the SI. p. única
- 6 Documenta Geigy. "Tablas Científicas" 7a Ed. Ciba-Geigy SA, Basilea, Suiza (1975) p.232
- 7 Documenta Geigy. "Tablas Científicas" 7ª Ed. Ciba-Geigy SA, Basilea, Suiza (1975) p. 216
- 8 M.F Gran. Elementos de Física General y Experimental. (1948) 4a Ed.Edit Minerva. p. 227
- 9 Asociación Internacional de Geodesia, Sección de Gravimetría. Institut Geophysique National, Paris, 1968 p.146: Resolución 22.
- 10 Del CD Excel 99. Jean le Rand d'Alembert (1717-1783). Nacido en París, hijo natural de la escritora francesa Claudine Guerin de Tencin, fue abandonado en los escalones de la capilla Saint Jean le Rond, de donde recibió su nombre. Se destacó como matemático (escribió: Memoire sur le calcul integral, en 1739, tan solo a los 22 años), físico (Treatise de dynamique, en 1743), meteorólogo (Reflexions sur

la cause générale des vents, en 1746). En este tratado aportó la teoría del cálculo de las ecuaciones diferenciales parciales.

En 1751 se asoció con el Enciclopedista Denis Diderot para editar la Enciclopedia Francesa.

Es conocido por su contribución a la mecánica, por el famoso principio de d'Alembert que permite calcular problemas dinámicos considerando al sistema como si fuera estático, al determinar que "la resultante de las fuerzas impresas sobre un sistema son equivalente a las fuerzas efectivas del sistema cambieta".

11 Noticia de prensa:

Sic «TIME Magazine: World Watch-October 11,1999 Pasadena

The U.S. space agency says the loss of its Mars Climate Orbiter probably was due to one engineering team using imperial units and another using metric ones in determining acceleration data. The craft flew too close to the planet and is believed to have or burned up in its atmosphere on Sept. 23.

Scientists at NASA's Jet Propulsion Laboratory in Pasadena, California, said the uncaught error meant that inaccurate data was used in maneuvering the spacecraft into a Martian orbit».