

Los cuatro sistemas de Unidades

Hoy existen en el mundo cuatro sistemas de unidades de medida, dos de ellos denominados gravitacionales y los otros dos denominados absolutos. Son sistemas gravitacionales aquellos que tienen como unidad fundamental la unidad de fuerza, siendo en ellos la unidad de masa, unidad derivada. Son sistemas absolutos aquellos que tienen como unidad fundamental la unidad de masa, siendo pues, la unidad de fuerza unidad derivada.

Los dos sistemas gravitacionales son:

- **El británico:** que tiene como unidades fundamentales: de fuerza, la libra fuerza (lb), de longitud, el pie (ft), y de tiempo, el segundo (s).
- **El métrico:** de unidades fundamentales: de fuerza, el kilogramo fuerza (kg), de longitud, el metro (m), y de tiempo, el segundo (s); recibe también el nombre de sistema mks (metro, kilogramo, segundo).

Los dos sistemas absolutos son:

- **El métrico de unidades fundamentales:** de masa el gramo masa (g), de longitud el centímetro (cm), y de tiempo el segundo (s).
- **El Sistema Internacional (SI)** de unidades fundamentales de masa el kilogramo masa (kg), de longitud el metro (m), y de tiempo el segundo (s).

Hay además otro sistema de unidades usual en Estados Unidos: el USCS (United States Customary System), gravitacional, que prácticamente es igual al británico, con la excepción de dos unidades de capacidad, el galón USA, equivalente a 231 pulgadas³, (3,785 litros), y el galón británico, o imperial, que corresponde a 277,4 pulgadas³, esto es, 1 galón imperial = 1,20 galón USA

El sistema británico gravitacional

Al sistema británico resulta difícil fijarle su fecha de nacimiento si bien es el más antiguo, pues se remonta, al menos para la unidad de longitud, al año 1101 en que Enrique I de Inglaterra sustituyera la unidad nacional empleada hasta entonces, la vara, por la longitud de un brazo contando extendidos el codo y la mano hasta la punta del dedo medio, a la que denominó yarda, y se fijó como equivalente a 3 pies, unidad ésta última que después sería considerada como fundamental.

En época tan remota comienza el divorcio, que aún perdura, entre el sistema británico y los de la Europa continental, así denominados por haber sido fruto de acuerdos en París.

La libra fuerza (lb) es la fuerza requerida para soportar el cuerpo libra patrón (1b), depositado en Londres, contra la acción de la gravedad en el vacío en una localidad estándar, siendo esta

localidad aquella de 45° de latitud y al nivel del mar, a la cual la aceleración debida a la gravedad terrestre tiene el valor de $32,1740 \text{ ft/s}^2$ que se denomina gravedad estándar.

Aun cuando no es unidad fundamental en el sistema británico, por su uso frecuente en él, digamos que el *slug* (lingote) es la masa que actuando sobre ella una fuerza de una libra (lb), la imprimiría una aceleración de 1 ft/s^2 . El *slug* son pues 32,1740 libra masa (1b).

Sistema métrico gravitacional

La Academia Francesa de Ciencias, establecía en agosto de 1793, como unidad de longitud el metro, correspondiente a la diezmillonésima parte de la longitud del cuadrante del meridiano terrestre que pasa por París, y tras los trabajos pertinentes quedó definido en el año 1800, después de medir los grados que separan Dunkerke de Barcelona (situadas ambas ciudades prácticamente en el mismo meridiano de longitud Este aproximadamente $2^\circ 15'$), y separadas en latitud $10^\circ 40'$, estudios que fueron dirigidos por el matemático y astrónomo francés Pierre Simon Laplace.

Pocos años después, en 1806, los franceses Merchair y Delambre, a partir de la barra de platino (90%) y de iridio (10%), que se había instalado en el museo de Sevres, y que se había admitido que correspondía a aquella porción del meridiano, definen el km, dm, cm, y mm, cuando aquella barra estuviera en condiciones ambientales de 0°C .

En 1866, el Congreso de Estados Unidos reconoció formalmente para este país, el sistema de medidas acordado en Francia en 1800, como un sistema legal.

En 1872, Wilhelm Barrel había demostrado que la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano resultaba $0,22883 \text{ mm}$ más corta que el patrón depositado en París. La reacción francesa fue admitir como longitud del metro, la distancia entre dos marcas del patrón en París, sin hacer referencia al meridiano terrestre. Ese mismo año 1872, se ratificaba en París por 17 Estados, entre ellos España, de los 20 presentes en la Conferencia, que el metro allí definido era la unidad de longitud internacional, lo que no fue aceptado por Gran Bretaña y Estados Unidos. En esa misma conferencia se definía el kilogramo fuerza patrón como correspondiente al peso de un cilindro de igual materia que el de la barra patrón del metro, y que tiene 39 mm de altura y 39 mm de diámetro, patrón también depositado en París, o dicho de forma más racional, el kilogramo fuerza (kg), también denominado kilopondio, es la fuerza para soportar el kilogramo patrón en contra de la acción de la gravedad terrestre, en el vacío, que suponiéndole libre para moverse, impondría a ese cuerpo la aceleración estándar en condiciones de latitud y altitud antes citadas, y que resulta $9,80665 \text{ m/s}^2$.

La aplicación del sistema métrico gravitacional así definido, tenía una base científica anterior a las efemérides citadas, con la aportación del físico y matemático suizo Johan Bernoulli (1667-1748), quien en 1717 introdujera el concepto de energía y que sería la base para que más de 100 años después, concretamente en 1826, los físicos e ingenieros franceses Victor

Poncelet y Gaspar Gustavo de Coriolis, consideraran en la física el concepto de trabajo mecánico (fuerza x trabajo recorrido).

En 1873, y por lo tanto después de las definiciones del sistema métrico gravitacional (1872), y del sistema métrico absoluto (1875), la Office of Weights and Measures (actualmente National Bureau of Standards, NBS, de Estados Unidos), fijó los valores de la yarda con el metro como venía siendo tradicional en Gran Bretaña (1 yarda = $3600/3937$ m = 0,9144 m), y la libra fuerza USA definida por equivalencia con el sistema métrico gravitacional así: 1 lb USA = 0,4535924277 kg. Por convención, los países de habla inglesa establecieron en 1959 las relaciones de las unidades británicas con las métricas así: la yarda con el metro como hemos indicado, la pulgada = 25,4 mm exactamente y la libra fuerza (lb) con el kilogramo fuerza (kg): 1 lb = 0,45359237 kg, lo que equivale a efectos prácticos tanto para la lb USA como para la lb británica: 1 lb = $2,205^{-1}$ kg (tabla I).

El sistema métrico absoluto

Paradójicamente, fue un británico, J. D. Everet, quien por encargo de la British Association, creara y publicara un nuevo sistema de unidades de medida, que adoptó el gramo masa y el centímetro como unidades fundamentales, además del segundo como unidad de tiempo. Esto ocurría en 1875, esto es, solamente tres años después de los acuerdos de París de 1872 por los que se creó el sistema métrico gravitacional; nacía un sistema absoluto, el cgs que no encontraría obstáculo alguno para su aplicación hasta la aparición del nuevo sistema absoluto internacional SI, en 1960.

En septiembre de 1881, en el Primer Congreso Electrotécnico celebrado en París, se aceptó, a propuesta de los físicos alemanes Friedrich Gauss y Wilhelm Edward Weber, el obligado cumplimiento del sistema cgs aprobado en 1875, y se establecen las unidades eléctricas de amperio, culombio, faradio, ohmio y voltio, que no comentamos aquí por haber centrado nuestra exposición en las unidades de la mecánica.

El sistema cgs fue adoptado oficialmente en España, en 1892.

El Sistema Internacional de Unidades (SI); absoluto

En octubre de 1960, en la 11ª Conferencia Internacional sobre Pesos y Medidas, además de afirmarse la definición de algunas unidades métricas originales, se amplió con otras unidades físicas, fijándose siete unidades fundamentales, que al incluir el kilogramo masa como unidad fundamental, el sistema tiene las características de absoluto.

Las siete unidades fundamentales del Sistema Internacional (SI) son:

El metro (m), el kilogramo masa (kg), el segundo (s), el amperio (A), el Kelvin (K), el mol (mol), y la candela (cd), cuyas definiciones transcribimos a continuación:

- El metro es una longitud igual a 1650763,73 longitudes de onda en el vacío de la línea rojoanaranjada del espectro del Kriptón 86, correspondiente a la transición entre los niveles $2p_{10}$ y $5d_5$.
- El kilogramo masa, se corresponde con la masa del prototipo de platino iridiado que se conserva en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas de Sevres (París).
- El segundo es la duración de 9192631770 períodos de radiación, correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos de un átomo de Cesio 133.
- El amperio es la corriente eléctrica que si se mantuviera constante en dos conductores rectos y paralelos, de longitud infinita y sección despreciable, y colocados con una separación de 1 metro en el vacío, produciría entre esos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} Newtons por cada metro de longitud, (téngase en cuenta que la importantísima unidad de fuerza, el Newton, es una unidad derivada en el SI, de la que transcribiremos su definición, tras hacerlo de las siete unidades fundamentales).
- El Kelvin, es la temperatura termodinámica -absoluta- correspondiente a la fracción $1/273,16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua. Digamos que este punto está definido por coexistir el vapor, el líquido y el hielo y corresponde para el agua, exactamente a $+0,0098$ °C a una presión de 4,579 mm de mercurio, esto es 6,10 milibares, dado que un milibar es, aproximadamente, 0,75 mm Hg.
- El mol es la cantidad de materia que contenga tantas partículas elementales como átomos existen en 0,012 kilogramos de carbono 12.
- La candela es la intensidad luminosa en una dirección perpendicular a una superficie de $1/600000$ m² de un cuerpo negro (sin reflexión), a la temperatura de solidificación del platino, bajo una presión de 101,325 Newton/m². El N/m² se define como Pascal.
- El Newton (N), que como decimos es la unidad de fuerza en el SI, es la fuerza que imprime a un kilograma masa (kg), una aceleración de un metro por segundo, cada segundo, esto es: $N = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2$. Obsérvese que el Newton queda definido con las tres unidades fundamentales del SI: el kilogramo masa (kg), el metro (m), y el segundo (s).

En realidad, el Sistema Internacional, tiene sus raíces en el sistema absoluto propuesto por Giorgi en 1901, y conocido como sistema Giorgi, o simplemente G, que sustituía el gramo masa del sistema cgs, por el kilogramo masa, e incluso definió en función del kilogramo masa, el metro y el segundo, a la unidad derivada de fuerza que denominó Newton, que empezó a ser conocida como "dina grande". Aun cuando comenzó a usarse, y en 1960 ya estaba muy generalizado, quedó finalmente definido este año como el SI, que determinaba también las unidades derivadas, aún no definidas por Giorgi, y su utilización se declaraba oficial.

El Reino Unido está de acuerdo, desde 1960, con el SI, pero como decimos en la introducción, el tiempo está resultando largo para su total implantación. El SI fue legalizado en España según Ley 88 del mes de noviembre de 1967. La NASA lo publicaba para su utilización oficial en 1969. En julio de 1970 lo adoptaba oficialmente la República Federal de Alemania. En 1975

la Metric conversion Act de Estados Unidos lo hacía oficial para todo el país.

Tabla I. Sistemas gravitacionales

Magnitudes	Británico (SBG)	Métrico (SMG)
Masa		