

MASLACH, C.& LEITER, M. P. *Take this job and ... news perspectives*. Psychology Today, 32,50-57,1999.

MOURA, E. P. G. *Saúde mental e trabalho. Esgotamento profissional em professores da rede de ensino particular de Pelotas* - RS. Dissertação de Mestrado. PUC. Porto Alegre: 1997.

RUDOW, B. *Stress and Burnout in the teacher profession: European studies issues and perspectives*. In VANDERBERGUE, R. & HUBERMAN, M. A. (Eds.) *Understanding and preventing teacher Burnout: a source book of international practice and research* (pp.38-58. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

SANTOS, M.A. *La erosión da la función docente*. Revista española de pedagogía, v.41, n.159, p.105-118,1983. In: ESTEVE, J. M. *O mal-estar docente: a sala de aula e a saúde dos professores*. Bauru: Ed. UFSC, 1999.

VANDERBERGUE, R. & HUBERMAN, M. A. (Eds.) *Understanding and preventing teacher Burnout: a source book of international practice and research* (pp.38-58. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES: CURIOSIDADES EN ALGUNOS DE SUS PATRONES

Octavio A. Calzadilla Amaya⁵

RESUMEN: El Sistema Internacional de Unidades (SI), se ha adoptado por múltiples países, pero es necesario ejercer una labor de información y propaganda para que se logren sus objetivos, ser un medio de entendimiento universal. Es una labor cotidiana esforzarnos por utilizar sus unidades básicas y derivadas. Así como, conocer las definiciones de sus patrones y como han ido evolucionando los mismo en busca de una precisión mayor. Por eso, no es ocioso hablar del tema cada vez que las condiciones lo permitan, sobre todo en encuentros con maestros, profesores e investigadores. En este trabajo se presenta la definición original de dos de sus unidades básicas. El metro, como fue obtenido y que consecuencia inmediatas se derivaron de los trabajos realizados para su definición, desvelando algunas curiosidades que ocurrieron alrededor de este trabajo como fue La historia de uno de los investigadores que participó en la Expedición del Meridiano que murió convencido que había cometido una falta grave en sus mediciones. También abordaremos El patrón de masa, como el único patrón, de las unidades básicas del Sistema Internacional, que sigue definido a partir de un artefacto y cuales han sido los trabajos que se han llevado a cabo para sustituirlo.

⁵ Facultad de Física. Universidad de La Habana. 10400 Ciudad de La Habana. Cuba. (Tfno. 537 889 3969, email: calza@fisica.uh.cu)

Palabras Claves: patrón de masa, patrón de longitud, Sistema Internacional de Unidades

ABSTRACT: The International System of Units (SI), it has been adopted by multiple countries, but it is necessary to exercise a work of information and propaganda so that their objectives are achieved, to be a means of universal understanding. It is a daily work to make an effort to use their basic and derived units. As well as, to know the definitions of their patterns and like they have gone evolving the same one in search of a bigger precision. For that reason, it is not lazy to speak of the topic every time that the conditions allow it, mainly in encounters with teachers, professors and investigators. In this work the original definition of two of its basic units is presented. The meter, like it was obtained and that immediate consequence were derived of the works carried out for its definition. A curiosity is revealed around this work; the history of one of the investigators that participated in the Expedition of the Meridian which died convinced that he had made a serious lack in its measurement. We will also approach the pattern of mass, as the only pattern, of the basic units of the International System that it continues defined starting from a device and which have been the works that have been carried out to substitute it.

Keywords: The International System of Units (SI), pattern of mass, pattern of longitude

1. INTRODUCCIÓN

Se conoce que el Sistema Internacional de Unidades, conocido por las siglas SI, es un producto del desarrollo y de acuerdos entre los países firmantes. Este sistema se basa en La definición de siete unidades básicas de medida, que corresponden a las magnitudes: longitud, masa, tiempo, temperatura termodinámica, corriente eléctrica, cantidad de sustancia e intensidad luminosa. Estas magnitudes básicas tienen sus patrones para las unidades de medición, en particular en este trabajo resaltaremos algunas curiosidades que están relacionadas con las definiciones de los patrones de longitud y masa, respectivamente.

2. EL PATRÓN DE LONGITUD

Desde las primeras civilizaciones organizadas que se tiene noticia, como fueron los sumerios y los egipcios, se tiene conocimiento de la existencia de patrones de medidas, pero estas unidades de medidas no eran universales, cada comunidad elaboró sus propios patrones. La diversidad de patrones para medir una misma magnitud por ejemplo la longitud, no beneficiaba el intercambio comercial. Es por eso que en el siglo XVI aparecen las primeras señales de la necesidad de establecer un sistema de pesas y medidas concreto que no estuviera vinculado a cuestiones

locales, personas determinadas o sistema político. En la segunda mitad Del siglo XVII se disponía de: instrumentos para hacer mediciones geodésicas; la técnica de medición llamada triangulación y una unidad de medida de longitud que aunque no eran universales si eran aceptadas. De esta forma se había obtenido el valor para el radio de la tierra por diferentes observadores y cada uno reportaba un valor diferente. Es por ello que en el año 1666 fue creada la Real Academia de las Ciencias en Francia, por Luis XIV. Con los objetivos de medir y representar la Tierra, es decir, poner orden en los resultados obtenidos.

Las mediciones de la geometría de la Tierra se sucedieron, y la precisión de los instrumentos de medida mejoró con el paso del tiempo. Hacia el año 1760 se habían realizadomediciones de arcos de meridianos y sus verificaciones en diferentes latitudes. Entre ellas las realizadas en 1735 en el vi rreinato de Perú y las mediciones hechas en el 1737 en Laponia, uma cercana al ecuador y la otra cercana al polo Norte, respectivamente, para evaluar la curvatura Del modelo elipsoidal en dos lugares de latitudes muy dispares. Se había comprobado el crecimiento irregular de los meridianos. El hecho incontestable era que los arcos no eran exactamente elípticos, complicándose la cuestión por las interpretaciones contradictorias [1].

Ya en el siglo XVII, además del uso de las mediciones geodésicas para determinar El metro existía otra forma para definirlo, que se basaba en la longitud de un péndulo simple com período de un segundo. Ambas quedaron establecidas como el uso de un fenómeno físico concreto y repetible para definir una unidad básica de medida. El uso del péndulo para definir El metro presentaba un problema intrínseco, la diversidad de valores que presenta la gravedad en los diferentes puntos sobre el globo terrestre.

2.1 Definición del metro patrón.

¿Qué es el metro?

“El metro es la diezmillonésima parte de un cuadrante del meridiano terrestre”.

La definición política del metro patrón fue hecha como la diezmillonésima parte de La distancia del ecuador al polo norte, durante la Revolución Francesa. El metro, dio nombre al Sistema Métrico Decimal y de él se derivarían el litro y el kilogramo. Entre 1790 y 1791 la Academia Francesa de Ciencias definió el Sistema Métrico Decimal como sistema unificado de medidas. Se

adoptó como unidad fundamental de carácter natural, reproducible del Universo, para poder reconstruir el patrón correspondiente en caso de destrucción o deterioro grave.

Para hacer las mediciones definitivas la Academia encargó en 1791, a dos de SUS miembros que fueran encargados de medir el arco del meridiano terrestre que pasa por París. Ellos fueron Jean Baptiste Joseph Delambre (1749-1822) y Pirre Francois André Méchain (1744-1804). El primero midió el arco comprendido entre París y Dunkerque; el otro realizó las mediciones comprendidas entre París y el castillo de Montjuich en Barcelona. El método utilizado para determinar la longitud del arco de meridiano fue la triangulación. El instrumento utilizado para realizar las mediciones fue el círculo graduado de Bordá que permitía medir con La precisión del segundo de arco mientras que las mejores resoluciones obtenidas anteriormente solo permitían aproximaciones de 15 segundos de arco.

Sin embargo, en 1795, sin que se hubiera terminado la nueva medición del arco Del meridiano, la Asamblea estableció, de forma provisional, un metro patrón siguiendo recomendaciones de la Academia de Ciencias y teniendo como base las mediciones que se habían realizado hasta ese momento.

2.2 *El error de Méchain.*

A finales del siglo XVIII, no se tenía una teoría para el procesamiento de las incertidumbres, se aceptaban los valores obtenidos en una medida o se eliminaban, de acuerdo a la experiencia del que medía. El círculo de Borda, fue el instrumento utilizado para realizar las mediciones en la Expedición Del Meridiano, permitía por medio de su manipulación disminuir las componentes de error aleatorio que pudiera existir en una medición. Sin embargo, el montaje Del equipo requería de una orientación muy exacta respecto a la vertical, la cual no fue controlada adecuadamente por **Méchain**. Si se dio cuenta que los valores que estaba tomando de las posiciones de las estrellas, durante La triangulación, estaban alterados, trató de corregir estos resultados ampliando la medición a más estrellas fijas que las necesarias para determinar las coordenadas de los puntos pero no fue capaz de percatarse de la contribución sistemática que estaba introduciendo en las mediciones debido a falta de verticalidad al colocar El Circulo de Borda para realizar las observaciones. La idea de haber hecho de forma incorrecta las mediciones en una expedición de tal importancia le torturó durante el resto de su vida.

Fue Jean Nicolas Nicollet [2], veinticinco años después de la muerte de **Méchain**, conociendo la teoría de los Mínimos Cuadrados desarrollada por Legendre, para interpretar los datos de esta expedición (y al parecer por Gauss simultáneamente), quien interpretó correctamente los resultados. Tomando la posición de las estrellas fijas que había medido Méchain en su desesperación pudo determinar el valor del error sistemático cometido debido a la falta de verticalidad del Círculo de Borda. De esta forma se demostró que no había habido manipulación de los datos por parte de Méchain, sino *desconocimiento* de la influencia de los errores sistemáticos en las mediciones.

2.3 Resultados de la Expedición del Meridiano.

La definición operacional podría hacerse de la siguiente forma. Se medía, por medio de la triangulación y una regla graduada, un tramo del meridiano que pasa por París y que va desde Dunkerke hasta el castillo de Montjuich en Barcelona. Encontrando por medio de las observaciones astronómicas cuantos grados de latitud cubre el segmento de meridiano medido. Dividiendo la longitud encontrada por la longitud en grados, multiplicando por 90 y dividiendo por 10 000 000, se tiene la longitud del metro. Para que esta extrapolación tenga sentido, la tierra tendría que comportarse de forma homogénea. A partir de las mediciones realizadas en el arco de meridiano los hombres de ciencias más renombrados del momento comenzaron a hacer los cálculos de la longitud del meridiano. Los resultados fueron decepcionantes, el valor para la excentricidad de la Tierra resultó ser el doble del que se había determinado anteriormente [3]. Además, se encontró que la superficie de La Tierra no seguía un arco regular, sino que cambiaba en cada segmento.

Estos resultados hicieron que la Comisión Internacional que debía decidir sobre la determinación del metro dudara sobre la veracidad de la extensión del valor medido a todo el meridiano. Por ello la decisión fue combinar los nuevos resultados con los determinados en acciones similares en Sudamérica y Laponia, se estimó la longitud del metro patrón en 443,296 lignes, 0,144 lignes más pequeño que el metro provisional que se tenía. El patrón se reducía a una regla (sección 25 x 4,05 mm) de platino sin inscripción ni marca alguna que fue depositada en los archivos del imperio francés, el 22 de junio de 1799, llamado el “mètre des Archives”.

Esta decisión de la Comisión introdujo un error en la definición del metro como se ha podido detectar al medir la distancia entre el polo y el ecuador con el uso de los satélites, encontrándose que ésta es de 10 002 290 metros. Es decir, que la humanidad ha vivido con un error de aproximadamente el 0,02 % en la definición de uno de sus patrones básicos. Esto demuestra que la importancia del patrón reside en que sea asumido por todos al unísono para facilitar las operaciones para las cuales está definido, que responda a una definición determinada está relacionado con su *repetibilidad*.

Con el objeto de dar carácter internacional a estas medidas se convocó en 1889 la primera Conferencia General de Pesas y Medidas, donde se aceptó universalmente el Sistema Métrico Decimal, a la que asistieron una serie de estados cuya lista ha ido aumentando. Se decidió entonces prescindir de la definición geodésica y fijar el metro por el famoso prototipo de Pt-Ir que quedó celosamente guardado, en Sèvres, del cual se repartieron una serie de copias.

2.4 Análisis de la precisión de las diferentes definiciones de patrones de longitud.

Las crecientes necesidades de la industria sobrepasaron la precisión de este metro material. Todos los laboratorios de metrología se ocuparon de buscar una experiencia, un montaje de laboratorio, que permitiera reproducir a voluntad y con mayor precisión la longitud metro.

Finalmente, en 1960 la undécima Conferencia General de Pesas y Medidas aprobó una resolución de largo alcance: el metro era definido a partir de longitudes de onda de la radiación naranja emitida por un átomo de kriptón 86, reduciéndose la incertidumbre medida a 10^{-8} . La más reciente definición del metro en función de la velocidad de la luz y que esta misma se haya definido como una constante está relacionado con la determinación, en 1968, Del segundo físico, basado en la frecuencia de cesio 133 y por medio de la cual se alcanza una incertidumbre de 10^{-13} . En la tabla 1, se muestran las definiciones que ha tenido el metro y las precisiones correspondientes.

La medición de la longitud del meridiano no sólo sirvió para definir el metro patrón sino que permitió obtener otros resultados inesperados como fue comprobar, por una parte, El achatamiento de la Tierra y que los meridianos no tienen el mismo radio ni siquiera un comportamiento uniforme. Por otra parte, impulso el desarrollo de una herramienta para

determinar una forma mejor para seleccionar los datos de la medición que contribuyen a los valores del experimento, el método de los Mínimos Cuadrados.

A partir del análisis de los resultados de la Expedición del Meridiano los *sabios* de La época se transformaron en *científicos* al encontrar las herramientas necesarias que les permitirían delimitar el significado de su medición del mundo.

Tabla 1. Definiciones del metro, cada vez más precisa [4].

AÑO	Organismo	Definición
1795	Asamblea Francesa	1/10 000 000 del cuadrante del meridiano terrestre
1799	Asamblea Francesa	Materialización del valor anterior en una regla, a extremos, de platino depositada en los archivos de Francia
1889	1. ^a CGPM	Patrón de Pt-Ir, llamado metro internacional, depositado en el BIPM.
1960	11. ^a CGPM	1 650 763,73 λ en el vacío de la radiación del Kriptón 86 (transición entre los niveles $2p_{10}$ y $5d_5$. (Incertidumbre $1 \cdot 10^{-8}$)
1983	17. ^a CGPM	Longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante $1/299\,792\,458$ segundos. (Incertidumbre $1 \cdot 10^{-10}$)

3. El patrón de masa[5]

En 1889 se adoptó el kilogramo prototipo internacional, un cilindro de platino-iridio, como el patrón de masa. Es el único de los siete patrones de medición que todavía se basa en La definición del siglo XIX:

1. Este patrón podría ser destruido.
2. Existe evidencia para suponer que ha variado en unos 50 microgramos durante sus años de uso, y
3. Otras unidades básicas como el ampere, la candela y el mole están relacionadas en su definición con el kilogramo, por lo que la incertidumbre asociada a la diseminación a partir del prototipo contribuye a las medidas efectuadas en las magnitudes asociadas a las primeras.

En la actualidad se trabaja en dos proyectos para redefinir el patrón de masa en función de las Constantes Universales de la Física. El proyecto Avogadro y la Balanza de Watt. Una de las

razones por las que el kilogramo se ha retrasado en su actualización es que hacerlo más preciso no presenta un beneficio inmediato práctico. Sin embargo, el cambio Del patrón influye en la definición de otras unidades básicas y derivadas.

El proyecto Avogadro [6]

En el Proyecto Avogadro, se basa en determinar por medio de rayos-X la distancia entre los átomos en un cristal perfecto de Silicio, su densidad de masa macroscópica y así determinar La masa molar media de los átomos de silicio. Consiste en determinar el número de átomos en una cantidad de masa determinada, estableciéndose de esta forma una relación entre el kilogramo y las masas atómicas. Para llevar a cabo este proyecto se requiere de una especie química pura y de una superficie muy bien pulida. El silicio tiene tres isótopos pero se pueden separar utilizando las técnicas desarrolladas para la producción de materiales radiactivos. Es este momento se está trabajando con silicio 28 con una pureza del 99.99%. Para que se tenga una idea del valor de este material, 5 kilos de silicio de esta pureza tiene un coste que ronda los 2 millones de euros.

Las esferas que se está intentando confeccionar tienen un diámetro de 9.63 cm, con una precisión de 0.6 nm. Hasta el momento se han fabricado esferas con una precisión de unos 35 nm. Para hacer estas mediciones se han tomado unos 500 000 puntos en la superficie de La esfera [7].



La balanza de Watt [8].

La idea es definir un patrón de masa que surja de relacionar la constante de Planck y el kilogramo usando la equivalencia que existe entre las energías mecánica y eléctrica. En la balanza Watt del NIST, una masa de prueba de un kilogramo se coloca en el plato de una balanza que está conectada a una bobina de cobre, la cual envuelve a un electroimán superconductor.

Para equilibrar el peso de la masa de prueba es necesario que se envíe una corriente eléctrica a través de la bobina, de forma que se genere una fuerza electromagnética que equilibre el peso. El dispositivo mide esta corriente y la fuerza. La bobina también se puede mover verticalmente, e igual que en un generador eléctrico, esto induce un voltaje. La velocidad y el voltaje de la bobina se miden también. Estas cuatro magnitudes medidas determinan la relación entre la potencia mecánica y eléctrica, las cuales pueden ser combinadas con otras propiedades fundamentales de la naturaleza para así redefinir al kilogramo.

En 1990 las normas de la referencia eléctricas internacionales basadas en los efectos Josephson y Hall cuántico fueron introducidas, por medio de la definición de los valores convencionales de $KJ-90$ y $RK-90$ para las constantes de Josephson y de von Klitzing, respectivamente [8]. Todas las magnitudes eléctricas pueden ser medidas en término de estos dos valores convencionales. Esto facilita el uso de la Balanza de Watt para definir el nuevo patrón de masa a partir de la equivalencia entre las energías mecánica y eléctrica. Existe un consenso general entre los metrologos que una nueva definición pudiera ser considerada si el experimento donde se relacionan la masa y las constantes fundamentales alcanza una incertidumbre relativa de menos que una parte en 108.

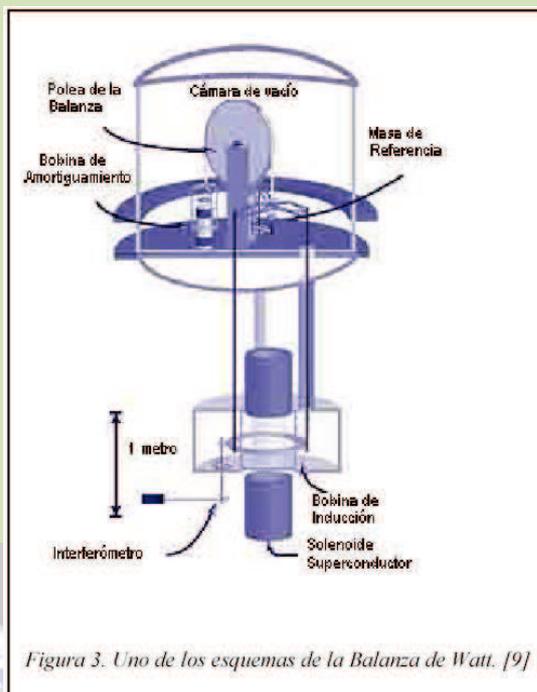


Figura 3. Uno de los esquemas de la Balanza de Watt. [9]

4. CONCLUSIONES

Se han sido reflejada algunas singularidades relacionadas con los patrones de longitud y de masa del Sistema Internacional, donde se ha reflejado como la experimentación y La persistencia de los científicos han ido interpretando mejor los fenómenos de la naturaleza, pasando por momentos de desilusión y de duda.

Hoy se dispone de un Sistema de Unidades que cada día se hace más preciso y que facilita el entendimiento de la Naturaleza y las Comunicaciones, pero fundamentalmente para potenciar las transacciones comerciales.

De todas formas el camino a recorrer en esta dirección está bien definido, continuar con las definiciones de: el kilogramo, el ampere, el kelvin y el mole, en función de constantes fundamentales [10].

5. BIBLIOGRAFÍA.

[1] Ruiz Morales, M. Revista Internacional de Ciencia de la Tierra. Julio 2006. www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1210 [2007 junio 16].

[2] Alder, K.. *La medida de todas las cosas. La odisea de siete años y el error oculto que transformaron el mundo.* (2003) Ediciones Taurus. Madrid. pp. 316-317

[3] Alder, K. (2003). *La medida de todas las cosas. La odisea de siete años y el error oculto que transformaron el mundo.* Madrid: Taurus Ediciones. pp 266

[4] Bureau International des Poids et Mesures, <http://www.bipm.fr> [2007 mayo 21]

[5] Mills I.M. et al. Redefinition of the kilogram: a decision whose time has come. *Metrologia* (28 February 2005) 71–80

[6] Becker P. Tracing the definition of the kilogram to the Avogadro constant using a silicon single crystal. *Metrologia* **40** (27 November 2003) 366–375

[7] La singularidad desnuda (2007). Proyecto Avogadro: La Esfera Perfecta. <http://singularidad.wordpress.com/2007/06/14/proyecto-avogadro-la-esfera-perfecta/>
<http://es.wordpress.com/tag/nanotecnologia/> [2007 junio 16]

[8] Eichenberger A., B Jeckelmann and P Richard. Tracing Planck's constant to the kilogram by electromechanical methods. *Metrologia* **40** (27 November 2003) **356–365**

[9] National Institute of Standards and Technology <http://physics.nist.gov/time> [2006 sept. 10]

[10] Stock M. and T.J. Witt CPEM 2006 round table discussion 'Proposed changes to the SI'. *Metrologia* (30 November 2006) 583–587

