

# La unificación industrial

## El problema de las unidades de medida en todo el mundo

Por LUIS ROMERO GIRON

*Sistemas absolutos.*—Corresponde a Gauss, el famoso director del Observatorio de Gotinga, considerado hasta 1885 (en que falleció) por el mayor matemático de Europa, la idea de establecer un "sistema general" de medidas "racional" que, a falta de lenguaje universal científico, sirviera para evitar los inconvenientes de las unidades de medida individuales.

La Asociación Británica para el Fomento y Difusión de las Ciencias acogió muy pronto esa idea del matemático alemán Gauss para extenderla a las magnitudes físicas, y especialmente a las eléctricas; idea que adoptó en 1865 la Real Sociedad de Londres.

Se denominan "sistemas absolutos" aquellos, por tanto, en que están elegidas determinadas magnitudes cuyas unidades son las fundamentales, y todas las restantes son derivadas de ellas en función de determinadas relaciones físicas.

Las medidas obtenidas con arreglo a estas unidades se dicen expresadas en "unidades absolutas".

La designación de absolutas tiene aquí la acepción de indicar que se terminó con las unidades de medida arbitrarias o particulares.

Estos sistemas se pueden establecer en función de tres condiciones, que son:

- Las ecuaciones de definición de magnitudes.
- Las magnitudes que se tomen de base.
- Las unidades de medida que se consideren como fundamentales.

Pueden, por tanto, existir varios sistemas absolutos, según la elección convencional y aislada de estas tres condiciones; así, por ejemplo, se pueden fijar como magnitudes básicas la longitud, masa, tiempo; o bien, longitud, fuerza, tiempo; o longitud, energía, tiempo; o longitud, masa, fuerza, etc.

Del mismo modo, se podrían considerar como unidades de medida fundamentales el metro, kilogramo, segundo; o centímetro, gramo, segundo; o la yarda, libra, segundo, etc., etc.

*Sistema c. g. s.*—Precisada y discutida la aplicación de esta idea en 1881 por el Congreso Internacional de París, y constantemente después en Congresos internacionales sucesivos, como el de Mecánica Aplicada en 1889; el de Electricidad, en París, también en 1889; el de Frankfurt, en 1891; el de Chicago, en 1893, etc., etc., y constantemente por la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, quedó constituido, con carácter internacional, el "Sistema de Unidades de Medida Absoluto", que tiene como magnitudes básicas la longitud, masa y tiempo, y por unidades de medida fundamentales, el centímetro, gramo y segundo, y por ello el sistema se denomina c. g. s., iniciales de las tres unidades de medida; sistema aceptado por la Asociación Británica y generalizado en el mundo físico.

La característica esencial de este sistema ha sido la de sustituir el peso (variable con la gravedad) por la masa.

De las magnitudes del c. g. s.:  $L$  = longitud,  $M$  = masa, y  $T$  = tiempo, y sus unidades cm., gr., s., se han deducido por los acuerdos establecidos las demás magnitudes y las unidades absolutas; así:

La de superficie se ha considerado la de un cuadrado cuyo lado es la unidad de longitud:  $L^2$ .

La de volumen, la de un cubo cuya arista es la unidad de longitud:  $L^3$ .

La angular "radian" es el ángulo  $57,296^\circ$  del arco igual al radio:  $L$ .

La de densidad es la de un cuerpo de unidad de masa en la unidad de volumen:  $L^{-3} M$ .

La de velocidad angular es el "radian" de la unidad de tiempo:  $L T^{-1}$ .

La de velocidad es la de un punto que recorre la unidad de longitud en la unidad de tiempo:  $L T^{-1}$ .

La de aceleración "gal" (debida a Galileo) es el aumento de una unidad de velocidad en la unidad de tiempo:  $L T^{-2}$ .

La de cantidad de movimiento es el recorrido de la unidad de masa, la unidad de longitud, en la unidad de tiempo:  $L M T^{-1}$ .

La de fuerza "dina" es la que comunica la unidad de velocidad a la unidad de masa en la unidad de tiempo:  $L M T^{-2}$ .

La de momento de fuerza es la "dina" por unidad de longitud:  $L L^2 M T^{-2}$ .

La de impulso es la "dina" en la unidad de tiempo:  $L M T^{-3}$ .

La de momento de inercia corresponde a la unidad de masa, a la unidad de longitud del eje de giro:  $L^2 M$ .

La de momento de giro es la "dina" actuando perpendicularmente sobre un brazo de palanca de longitud unidad:  $L^2 M T^{-2}$ .

La de elasticidad, "módulo de elasticidad", es la de un cuerpo de forma de barra cilíndrica, de sección unidad, que al someterlo a una tracción experimenta un alargamiento igual a la longitud cuando el esfuerzo obedece a la ley de Hooke:  $L^{-1} M T^{-2}$ .

La de trabajo "ergio" es la que varía una "dina" su punto de aplicación, una unidad de longitud en una misma dirección:  $L^2 M T^{-2}$ .

La de potencia es el "ergio" en la unidad de tiempo:  $L^2 M T^{-3}$ .

La de presión "baria" es la acción de una "dina" en la unidad de superficie:  $L^{-1} M T^{-2}$ .

Y así sucesivamente, por los acuerdos entre las relaciones físicas y con las magnitudes y unidades fundamentales, se establecen todas las restantes unidades absolutas de este sistema c. g. s.

*Otros sistemas absolutos.*—Por seguir utilizándose, conviene mencionar otros sistemas absolutos, como:

El utilizado por los Observatorios ingleses con las unidades fundamentales siguientes: de longitud, el pie; de masa, el gramo, y de tiempo, el segundo.

Otro de mucha importancia es el gravitatorio, por su empleo en la técnica, con las magnitudes fundamentales de longitud, fuerza y tiempo.

Muy empleado en Inglaterra y en los Estados Unidos es el que utiliza como unidades de medida fundamentales el pie, la libra y el segundo. La unidad de fuerza derivada es el "poundal", y la de trabajo y energía, el "pie-poundal".

Existe también el patrocinado por Ostwald, con las magnitudes fundamentales de longitud, energía y tiempo, etc., etc.

*Ecuaciones de definición.*—Entre las tres condiciones que intervienen en la constitución de los sistemas absolutos figura la establecida en primer lugar, apartado a), cuya intervención en la formación de los sistemas aún no fué analizada.

Ciertamente que las definiciones de las magnitudes en forma derivada evitaron la existencia de las unidades de medida arbitrarias, y ello ya representa un determinado criterio de unifi-

cación; pero debe tenerse en cuenta que a toda magnitud debe corresponder un concepto que ha de tener realidad física, y ello puede ser origen de diversidad de criterio al establecer las ecuaciones de definición.

Como sencillos ejemplos se puede definir una unidad de volumen, como quedó indicado en el sistema c. g. s., y también como la de una esfera de radio igual a la unidad de longitud, cuya ecuación de definición es  $\frac{4}{3} \pi L^3$ , o como para la unidad de velocidad, definida por la de la luz al atravesar el espacio interestelar, sin relación con las unidades establecidas, o de la forma indicada en el c. g. s., y en ese caso se puede determinar en función de las unidades fundamentales.

La unificación, por tanto, para alcanzar un carácter de mayor generalidad, debería haber actuado estableciendo acuerdos simultáneos sobre las tres condiciones, a), b) y c), que intervienen en la formación de los sistemas de unidades absolutas.

En la práctica, sin embargo, no ha sucedido así, sin duda por las dificultades que existen en el mundo de llegar a entendimientos o acuerdos tan amplios, y por ello, si bien las unidades eléctricas para los estudios científicos están dentro del sistema c. g. s., se bifurcan en él en dos sistemas: el electrostático y el electromagnético.

Mie dice a este respecto (1): "La idea directriz de ambos sistemas procede de tiempos en que la técnica de las unidades eléctricas se hallaba aún en la infancia y no se sentía la necesidad de acomodar las fórmulas a las medidas.

Ciertamente ambos sistemas c. g. s. han tenido y conservarán una gran importancia histórica, pero es muy de desear que no se utilicen más en los trabajos científicos."

La conveniencia y aun necesidad de establecer acuerdos de unificación, ahora ya sobre los sistemas, queda bien claramente expresada en el comentario anterior, debido a una autorizada competencia en esta materia.

El establecimiento de las ecuaciones de definición para las unidades de medida, derivadas o absolutas, con toda la amplitud que ello representa en la determinación de las magnitudes, fijación de sus conceptos, descripción de los mis-

(1) *Investigación y Progreso*: "Las magnitudes y las unidades de la Física" (enero a marzo de 1945), del Excmo. Sr. D. Julio Palacios, de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

mos y obtención, finalmente, de las ecuaciones, comprendiendo las de magnitud y coeficientes, pertenece al campo de los físicos, que han de precisar y definir las magnitudes fundamentales y deducir las derivadas.

Por acuerdos más amplios se determinarían posteriormente las unidades fundamentales que convendría fijar para llegar a obtener el sistema o sistemas "acordes" de carácter general.

Muchos trabajos se han publicado por eminentes físicos de todo el mundo sobre este intrincado campo de las unidades de medida derivadas y sobre la necesidad de llegar a una conveniente unificación.

Existe extensa bibliografía, alguna aquí adjunta, que encauzará a quienes interese profundizar en los problemas de las magnitudes físicas y unidades de medida derivadas, no tratados en esta pequeña recopilación, cuyo único objeto es exponer este campo desde el punto de vista de la conveniencia de la unificación, en la aplicación práctica de las medidas y en los trabajos experimentales.

*Sistema definitivo.* — El sistema absoluto c. g. s. se generalizó entre los científicos, sobre todo para las unidades de medida eléctricas, como ya quedó expresado anteriormente; pero estas unidades resultan unas veces muy pequeñas y otras muy grandes para las necesidades de la práctica, y por esta razón los Congresos internacionales establecieron con este cometido otras unidades eléctricas denominadas prácticas, con nombres propios, cuyas equivalencias con las del sistema c. g. s. son las indicadas en el cuadro.

El otro sistema, el métrico o terrestre o de los ingenieros, nombres con los que generalmente es conocido, se ha extendido en las aplicaciones prácticas de las naciones que lo han adoptado.

Todos los demás sistemas absolutos difieren entre sí en algunas o todas las condiciones mencionadas, a), b), c), que intervienen en su formación.

Entre los trabajos realizados en pro de un nuevo paso hacia la unificación, merece citarse el del ingeniero italiano Giovanni Giorgi, presentado en el VI Congreso Internacional de Electricidad de Saint Louis en 1901, sin que por entonces se le prestara mucha atención.

En 1935 la Comisión Electrotécnica Internacional, reunida en Scheveningen, lo adoptó en principio, pero sin decidir aún la cuarta unidad fundamental y si se aplicaría la racionalización de Heaviside-Lorentz sobre el factor  $4\pi$  que interviene en gran número de ecuaciones.

Las unidades de medida fundamentales en este sistema de Giorgi son: el metro, el kilogramo-masa, el segundo y una unidad eléctrica; establece, pues, una cuarta unidad de medida fundamental para definir las magnitudes eléctricas y magnéticas con ecuaciones plenas de sentido físico.

Aúna con estas unidades las diferencias existentes entre los sistemas electrostáticos, electromagnético y práctico o terrestre, con la propiedad de prohibir además las unidades prácticas, eléctricas, amperio-voltio-vatio, etc., ligándolas sensiblemente a las mecánicas metro-kilogramo-julio, formando de esta manera un sistema acorde de las magnitudes físicas.

Sommerfeld, Pohl y Mie expresaron su criterio, favorable a la aplicación de este sistema y en que sean cuatro las magnitudes fundamentales, para considerar en él todas las unidades eléctricas.

Sin embargo, el criterio no ha alcanzado carácter de generalidad ni existe acuerdo en cuanto a las unidades fundamentales.

En la obra española de "Electricidad y magnetismo", publicada en 1945 (publicaciones del Ministerio del Aire.—I. N. T. A.), el autor, excelentísimo señor don Julio Palacios, emplea el sistema Giorgi, considerando como unidad fundamental para las magnitudes eléctricas la "carga eléctrica". En el apéndice están

MAGNITUD	Nombre	Equivalencia en c. g. s.
Intensidad de corriente ... ..	Amperio.	$10^{-1}$ electromagnéticas.
Cantidad de electricidad ... ..	Culombio.	$10^{-1}$ "
Fuerza electromotriz ... ..	Voltio.	$10^8$ "
Resistencia ... ..	Ohmio.	$10^9$ "
Capacidad ... ..	Faradio.	$10^9$ "
Inducción (auto y mutua) ... ..	Henrio.	$10^9$ "
Energía y trabajo ... ..	Julio.	$10^7$ ergios.
Potencia ... ..	Vatio.	$10^7$ ergios por segundo.

expresadas las distintas unidades, de las que se copian sus ecuaciones de dimensión resultante.

Longitud ... ..	L
Masa ... ..	M
Tiempo ... ..	T
Fuerza ... ..	L MT <sup>-2</sup>
Energía ... ..	L <sup>2</sup> MT <sup>-2</sup>
Carga eléctrica... ..	Q
Intensidad eléctrica ... ..	L MT <sup>-2</sup> Q <sup>-1</sup>
Inducción eléctrica ... ..	L <sup>-2</sup> Q
Potencial eléctrico ... ..	L <sup>2</sup> MT <sup>-2</sup> Q <sup>-1</sup>
Constante dieléctrica... ..	L <sup>-3</sup> M <sup>-1</sup> T <sup>2</sup> Q <sup>2</sup>
Polarización eléctrica... ..	L <sup>-2</sup> Q
Momento eléctrico... ..	L Q
Susceptibilidad eléctrica.	L <sup>-3</sup> M <sup>-1</sup> T <sup>2</sup> Q <sup>2</sup>
Capacidad ... ..	L <sup>-2</sup> M <sup>-1</sup> T <sup>2</sup> Q <sup>2</sup>
Polarizabilidad dieléctrica	M <sup>-1</sup> T <sup>2</sup> Q <sup>2</sup>
Intensidad de la corriente.	T <sup>-1</sup> Q
Densidad de corriente ...	L <sup>-2</sup> T <sup>-1</sup> Q
Resistencia eléctrica ... ..	L <sup>2</sup> MT <sup>-1</sup> Q <sup>-2</sup>
Resistividad... ..	L <sup>3</sup> MT <sup>-1</sup> Q <sup>-2</sup>
Fuerza electromotriz... ..	L <sup>2</sup> MT <sup>-2</sup> Q <sup>-1</sup>
Inducción magnética... ..	L <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup> Q
Intensidad magnética... ..	MT <sup>-1</sup> Q <sup>-1</sup>
Flujo magnético ... ..	L <sup>2</sup> MT <sup>-1</sup> Q <sup>-1</sup>
Fuerza magnetomotriz ...	T <sup>-1</sup> Q
Reluctancia ... ..	L <sup>-2</sup> M <sup>-1</sup> Q <sup>2</sup>
Permeabilidad magnética.	L M Q <sup>-2+</sup>
Momento magnético ... ..	L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup> Q
Polo magnético... ..	L T <sup>-1</sup> Q
Imanación. ... ..	L <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup> Q
Inductancia... ..	L <sup>2</sup> M Q <sup>-2</sup>

*Sistema Internacional.*—Un sistema de carácter internacional podía quedar determinado cuando se estableciera acuerdo sobre la cuarta unidad fundamental, según lo tratado por primera vez en el Congreso Internacional de Electricidad de Chicago en 1893, si bien no se llegó a establecer este acuerdo por la necesidad de construir los patrones de las unidades más usuales, con objeto de facilitar la comprobación de los aparatos de medida.

En la Conferencia Internacional de Unidades Eléctricas de 1908, en Londres, se convino en adoptar como patrones el amperio y el ohmio, que quedaron definidos con este objeto.

En 1933 la Conferencia de Pesas y Medidas en París, después de ciertas consideraciones, propuso el abandono del sistema internacional.

En octubre de 1935 la Comisión de Pesas y Medidas señaló la fecha del 1 de enero de 1940 para decidir acuerdos que pudieran tener ya ca-

rácter definitivo, y reunida nuevamente en 1939 (poco antes de la guerra), aconsejó que para evitar confusiones durante el período de transición, se agregasen a los nombres de las unidades los calificativos de "internacional" (int.) y "absoluta" (abs.).

Las unidades internacionales difieren muy poco de las unidades Giorgi, de tal forma que sólo en casos determinados sería necesario corregir las indicaciones de los aparatos provistos de escala internacional.

*Sistema Unívoco.*—Dedicado a la unificación de los sistemas de unidades absolutas, bajo el título "Las magnitudes y las unidades de la física" en *Investigación y Progreso*, de enero a marzo de 1945 (2), después de una clara exposición propone normas sobre la creación de un sistema de magnitudes en correspondencia unívoca con los conceptos. El proceso sería el siguiente:

1.º Adopción de un sistema de ecuaciones de definición, con lo que queda determinado el número de magnitudes fundamentales.

2.º Elección arbitraria de tantas unidades como magnitudes fundamentales resulten, con lo que quedan ya determinadas todas las demás unidades y, por tanto, el "sistema acorde" con las ecuaciones de definición. Al existir arbitrariedad en la elección de las unidades fundamentales, se podrán formar muchos sistemas de unidades absolutas, acordes todos ellos con un mismo sistema de ecuaciones de definición.

Otra particularidad interesantísima que conviene mencionar de este trabajo es la de definir la temperatura como magnitud derivada, con lo que no hay necesidad de aumentar el número de magnitudes fundamentales.

Parece efectivamente lógico y natural, al mencionar las magnitudes fundamentales, no olvidar la temperatura, ya que actualmente lo es, o que si se habla de tres o cuatro magnitudes fundamentales, se defina la de la temperatura como derivada, en la forma indicada en el Sistema Unívoco, si bien se añade a continuación que no sea conveniente definirla como magnitud derivada; y ello es natural, debido a los trastornos que actualmente se ocasionarían, teniendo que variar las escalas termométricas, establecidas en

(2) Del Excmo. Sr. D. Julio Palacios.

*El sistema métrico*, de Eduardo Benot.

*El día solar medio, como "unidad patrón", y su alteración*, de don Mariano Martín Lorón, del Observatorio Astronómico de Madrid.

grados, bien sean centígrados Reaumur o Fahrenheit.

Desde el punto de vista de la unificación, y si ello convenía a la misma, debería tal vez expresarse mejor que "no ser conveniente", "ser prematuro", ya que la unificación podrá esperar o avanzar por transformaciones, pero no desistir de su objetivo más avanzado.

*Situación actual.*—Se ha adelantado mucho hacia la unificación de las unidades absolutas por medio de soluciones intermedias muy acertadas, pero sin conseguirse acuerdos de carácter general, capaces de asociar todas las unidades de medida, en sus distintas aplicaciones, bajo un único sistema.

La guerra interrumpió las reuniones de los Congresos Internacionales cuando se apuntaban ya decisiones más unificadas, y durante ella se realizaron descubrimientos sorprendentes, que pueden situar este problema bajo otras características de mayor amplitud al tener que tomar en consideración todas las enseñanzas que se deduzcan de la energía atómica.

En resumen: que ante la perspectiva de acontecimientos de índole científica por un lado, y en espera de circunstancias apropiadas que permitan nuevamente las celebraciones de Congresos Internacionales, no es posible aventurar las soluciones que se propongan ni los acuerdos a que se llegue.

Con seguridad se podrá decir que nunca un problema de esta naturaleza, que depende en cada momento del límite de los conocimientos y de la libertad de los acuerdos, pueda tener un carácter "definitivo"; pero sí cabe esperar, y sería muy de desear para el bien general, que se le encuentre una solución más "racional" con los conocimientos actuales y valedera para un gran período de tiempo.

*Magnitudes patrón constante.*—Todos los nuevos descubrimientos, todos cuantos nuevos horizontes se consiguen, son objeto de minuciosa investigación, que profundiza y desmenuza, hasta determinar con la mayor precisión posible, características y cualidades de aplicación.

Por esto la investigación ha de entrar en los detalles, operando con magnitudes de valores excesivamente grandes, como las que nos proporcionan el concepto del mundo exterior, y con magnitudes excesivamente pequeñas, invisibles e inapreciables a los sentidos humanos, en el mundo del ultramicroscopio, y en ambos casos

se han de procurar determinaciones de gran precisión en función de unidades de medida, que han de ser, por tanto, igualmente precisas.

La técnica elaboradora recoge el resultado de estas investigaciones, que aprovecha para progresar y conseguir producciones más perfeccionadas, y a su vez colabora con los aparatos realizados en la determinación de las magnitudes.

Esta colaboración requiere construcciones delicadas y grandes ajustes en el acoplamiento de las distintas piezas para conseguir precisión y sensibilidad en las determinaciones.

Para las mediciones de esta naturaleza no es ya indiferente la constitución de los patrones-tipo; éstos han de cumplir determinadas condiciones, como la de ser completamente inalterables y la de poderse reproducir con mayor facilidad, pues la milésima de milímetro, de gramo, de grado, etc., son magnitudes que tienen realidad práctica en muchas producciones actuales y, desde luego, pueden resultar exageradas en las experiencias científicas.

El milímetro en longitud, por ejemplo, deducido del Patrón de París, ya no satisface las precisiones alcanzables en los modernos laboratorios. En las mediciones comparativas con el metro patrón puede existir aun hoy, al tener que considerar las temperaturas y el coeficiente de dilatación térmica, errores que pueden dar lugar a diferencias de medición del orden  $0,5 \mu$ . Por otra parte, se han observado cambios paulatinos de longitud de este mismo orden, cuyas causas aún no se conocen por completo.

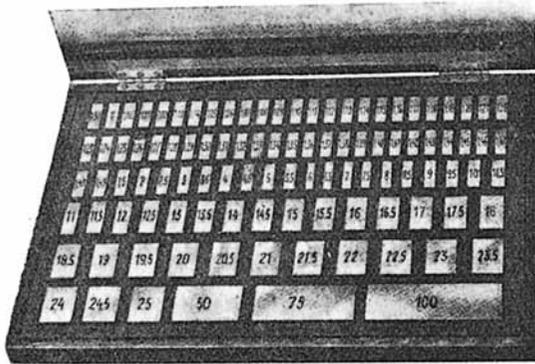
Otra gran dificultad es que sólo existe un patrón, y sus reproducciones en cada nación son también únicas (3), y las medidas patrón a cada taller o núcleo industrial llegan después de una serie de reproducciones; las comprobaciones se realizan, por lo general, en forma análoga a la indicada sobre el prototipo, y suelen ser bastante costosas, por lo que no se realizan con frecuencia.

Cada trámite intermedio es una fuente de error que puede dar lugar a diferencias de consideración sobre los patrones o calibres de utilización en los talleres o factorías.

Al técnico de cada taller podrían parecerle tal vez exagerados y carentes de importancia estos pequeños errores, y en realidad tendría justifi-

(3) España posee dos patrones del metro y dos del kilogramo.

cación esta apreciación si la totalidad de las piezas que componen el producto que se elabore estuvieran fabricadas en el mismo sitio; pero lo más frecuente es que se obtengan por la reunión de piezas y conjuntos elaborados en lugares diferentes, dedicados o especializados exclusivamente en ellos, y entonces el acoplamiento de todo lo que viene fabricado de distintos lugares debe ser tan exacto y preciso como si hubiera sido obtenido en el mismo centro; en estas circunstancias los calibres han de estar perfectamente contrastados, pues de otra forma los desajustes a que darían lugar en las piezas habrían de compensarse con reducción en las tolerancias de fabricación, y siendo ya éstas, por lo general, muy pequeñas, a ningún taller convendrá reducirlas en la menor fracción.



Juego de calibres paralelos "Johansson".

La gran propagación de la técnica de la medición y su profunda penetración en la elaboración, "exige" una atención y gran precaución en la preparación de los calibres, y es tal su importancia que como demostración de esta necesidad se ha fijado, por acuerdo internacional, "Ajustes I. S. A.", la temperatura de 20° como la normal para realizar la medida de las piezas, y si la temperatura es distinta habrán de tenerse en cuenta las diferencias entre los coeficientes de dilatación.

Para una longitud de 500 mm., 1° de diferencia de temperatura entre calibre y pieza produce un error de medición de 6  $\mu$  aproximadamente; una barra de latón de 100 mm. de longitud es a 25°, 3,5  $\mu$  más larga que a 20°, y si es de aluminio, unos 6  $\mu$  más larga.

Cuando las piezas son grandes, para que adquieran la temperatura del calibre, habrán de

estar con éstos en locales a temperatura constante durante veinticuatro horas por lo menos.

Todos los datos de medida se supondrán sin esfuerzo alguno para la pieza medida. Las medidas precisas realizadas bajo algún esfuerzo habrán de reducirse a las que corresponderían a la "fuerza cero" (sin esfuerzo alguno).

Tiene, pues, trascendental importancia la determinación y conservación de los calibres o patrones de medida; la ha tenido siempre, y cada vez se poseen mejores medios para construirlos; pero, igualmente, cada vez son mayores las exigencias sobre ellos.

En realidad, cuando ingleses y franceses dieron por fin origen a los sistemas descritos de unidades patrón fundamentales, realizaron algo importante, pero no lo que en realidad se ha pretendido y se busca como de verdadera necesidad; y es la magnitud patrón constante que facilitase la construcción y comprobación de los calibres en forma científica.

Para las longitudes se cree en la actualidad haber encontrado esta magnitud en la longitud de las ondas luminosas, y se ha establecido por el sistema internacional de Ajustes I. S. A. de la forma siguiente:

"La línea espectral—cadmio rojo—tiene, en determinadas condiciones físicas (expresadas con exactitud en su detalle), una longitud de onda de 643,84695710—9 m.; esto es, equivalente a 0,64  $\mu$ ."

Para el tiempo, el empleo de la rotación de la Tierra está ligado a ciertas objeciones, que quedaron apuntadas, y para evitar esto se ha propuesto emplear, como magnitud, el período de vibración del átomo de algún cuerpo simple, tal como el sodio, pues bajo determinadas condiciones parece que este tiempo sea completamente fijo e inalterable.

Como se ve, determinaciones de base científica se prevén en la consecución de magnitudes constantes, en forma factible o asequible a todos los centros experimentales e industriales, y como consecuencia de ello se podrían obtener calibres y aparatos de medida contrastados en lugares diferentes, y las comprobaciones igualmente se podrían realizar con frecuencia y sencillez. Será éste el paso más definitivo y trascendente para la técnica de las medidas y para las determinaciones de carácter experimental.

### Representación de las unidades de medida.

*Alfabeto.*—Las unidades, después de conocidas, definidas y denominadas, para entendimiento y aplicación entre las actividades de su campo de acción, se representan por signos, y de esta forma se consigue que un único y reducido símbolo exprese un amplio concepto, que es el correspondiente a cada unidad.

Extenso sería relacionar e historiar también la evolución que han ido experimentando estas representaciones gráficas para estos y otros conceptos. Expuesta ya la existencia de variedad en otros aspectos, interesa únicamente expresar que la unificación adquirió aquí una mayor eficacia y generalidad, y se puede decir que los signos (con excepciones) constituyen un único sistema universal, que es el del alfabeto latino. También es muy empleado y conocido en los medios científicos el alfabeto griego.

La unificación de esta actividad terminó en el alfabeto, y ya no existen después acuerdos sobre su empleo en la designación de los objetos; es decir, en lo que pudiéramos llamar para este caso en las ecuaciones de definición o "lenguaje", que es diferente para las distintas naciones o grupos de ellas. (Los más extendidos son el español, el inglés y el francés.)

Estos signos (los del alfabeto latino y los del griego) son los utilizados para representar las distintas unidades de medida, y por regla general se emplean los de las iniciales de los nombres dados a estas unidades o los establecidos por medio de acuerdos en los casos de repetición de las iniciales.

La unificación, en cuanto a esta representación, queda dificultada al ser diferentes los idiomas, y si bien se han celebrado numerosos Congresos y reuniones de carácter internacional, la unificación no es totalmente completa.

Establecer acuerdos sobre designación y representación gráfica de las unidades de medida no tiene más dificultad que la de conseguir establecer estos acuerdos en forma amplia y general.

*Numeración.*—Número: Expresión de la cantidad computada con relación a la unidad de medida o con relación a la formación de sus múltiplos y submúltiplos.

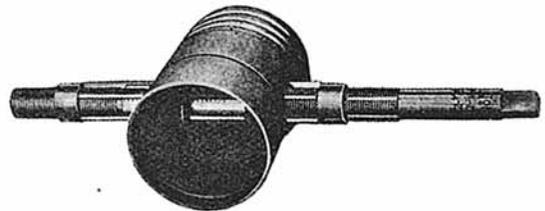
Signo o compuesto de signos con que se representa al número.

El sistema de numeración es aún de carácter

más universal y unificado que el de representación de los idiomas, porque tanto sus signos como el sistema, en este caso, han sido totalmente aceptados casi universalmente.

Este es de origen árabe, y está establecido sobre el sistema de base diez o decimal, sin duda por ser éste el número de los dedos de las dos manos y el procedimiento primitivo utilizado para contar; suficientemente conocido en todas sus aplicaciones y operaciones, está considerado como sistema "racional" en todas las aplicaciones y actividades humanas actuales.

Siendo tan general para determinar las veces que una unidad está contenida en una magnitud, nada hay que observar sobre este aspecto, y en cualquier nación o parte del mundo se expresan con estos signos y su sistema el concepto de cantidad.



*Escariador de reglaje rápido.*

En cuanto al segundo aspecto, o sea en cuanto a la obtención de múltiplos y submúltiplos de las unidades fundamentales, únicamente el métrico se encuentra ligado a él, siguiendo su mismo sistema decimal en dos de sus magnitudes fundamentales, y en ello estriba el mayor éxito y ventajas que consigue, porque la unificación es más completa.

A pesar de ser la numeración la actividad más unificada de cuantas se han tratado, y la que ha conseguido mayor generalidad, es derivada de las necesidades y conocimientos de una época ya remota, y aunque nos es perfectamente familiar, si en la actualidad se pretendiese conseguir un sistema apropiado, se presentarían soluciones mucho más prácticas y que llenarían más ampliamente los fines de la unificación.

Por ejemplo, si en lugar de la base diez, se considera un sistema de base doce, se observa que posee éste mayor número de divisores, de

gran aplicación en la práctica, como el  $1/2$ , " $1/3$ ", " $1/4$ ",  $1/6$ , y fraccionarios  $2/3$  " $3/4$ " y " $5/6$ ", ya que esta base es un número abundante, definido como aquel cuyas partes alicuotas, sumadas, forman un total mayor que el propio número, y para el 12 resulta ser  $1 + 2 + 3 + 4 + 6 = 16$ .

La unidad de tiempo establece sus múltiplos en múltiplos de doce; lo mismo sucede con la división angular y varios de los sistemas de la antigüedad.

Otros sistemas diferentes de estos que nos son usuales o conocidos, probablemente podrían presentarse con mayores ventajas, sobre todo si el problema se enfoca en todo su conjunto y desde un punto de vista ideal, buscando el método más "racional" para los conocimientos y necesidades actuales y que tuviera completa universalidad, empezando por el lenguaje.

#### Resumen y consecuencias.

1.º "Las unidades de medida son básicas y fundamentales en toda unificación."

Una organización industrial moderna, contando en ella con el complemento de la investigación y con el de los ensayos, significa una gran variedad de máquinas, útiles, herramientas, calibres, etc., necesarios para la construcción, y otra de aparatos y elementos en general, muy precisos y costosos e indispensables para el estudio y la experimentación.

Todos estos elementos, así como las producciones, están conseguidas a base de miles de piezas, subconjuntos y conjuntos, cuya fabricación representa el índice de potencia industrial y técnico de cada nación, y sobre el que adquiere toda su magnitud, de gran importancia, la necesidad de la unificación.

Si se conviene que la puesta en marcha en forma adecuada de esta industria "accesoria" debe de estar ligada a una bien estudiada unificación que la haga posible, dentro de los medios económicos existentes, y si las unidades de medida son básicas a ésta necesariamente habrá de emprezarse por unificar didadamente el campo de las unidades de medida, que viene a ser como "los cimientos" de todo el edificio posterior.

2.º "Los resultados de la unificación sobre las unidades de medida son la consecuencia de conceptos convencionales (como lo es, en general, toda idea unificadora), y deberán conseguirse por acuerdos tan amplios como lo requiere a la

"característica" de esta unificación y su "extensión."

Por "característica" se entiende aquí el resultado de todas las circunstancias favorables y desfavorables que intervienen en el estudio de la unificación.

Entre las favorables se pueden citar los progresivos conocimientos científicos, los resultados prácticos de aplicación, el concepto, cada vez más profundo y generalizado, de su necesidad y ventajas, los contactos frecuentes y amplios de reuniones en Congresos y Asociaciones de índole nacional e internacional, Comisiones de Pesas y Medidas, etc.

Entre las desfavorables, las naturales resistencias a cualquier transformación, los intereses dañados, las dificultades momentáneas de introducción, la extensión a otras actividades, o simplemente costumbres ya muy arraigadas, etc.

Todas estas circunstancias adversas contribuyen a no llevar a la práctica ninguna decisión sino después de muchos estudios y reuniones, y aun después es preciso comprobar si es o no aceptada por la generalidad y las repercusiones que produce.

La "característica" de la unificación mejora indudablemente, pero debido a estas causas lo hace por transformaciones transitorias y no siempre muy acordes.

Por ejemplo, dentro del sistema métrico se observa esencialmente:

- a) No existe completa unidad de criterio en la representación, con carácter general, para todas las unidades.
- b) Las dos primeras unidades fundamentales están de acuerdo con el sistema decimal, y la tercera utiliza el sexagesimal.
- c) Existen varios sistemas absolutos no acordes.
- d) Falta por determinar el número de unidades fundamentales que se necesitarían para incluir las derivadas de todo orden, etc.

Fácilmente se pueden imaginar las dificultades de pretender variar ahora el sistema decimal, buscando las ventajas indudables de que las tres unidades fundamentales se adaptasen a un mismo sistema de derivación de mejores posibilidades o, como ya se indicó, pretender que se varíen todas las escalas termométricas al variar el concepto de la temperatura para considerarla como magnitud derivada.

Es muy interesante y de desear que la unificación mejore su "característica" para bien y entendimiento general; pero es aún más interesante extender todo lo posible la unificación.

Por "extensión" se comprende los centros, núcleos, naciones o grupos de ellas que voluntariamente o por decisiones de sus Estados se incluyen bajo una misma característica.

Aplicando esta definición al campo de las unidades de medida, se considerarán en lo que sigue, como dos grandes extensiones principales, las acogidas a los sistemas anglosajón y métrico decimal.

Dentro de cada una de estas extensiones aún existen diferencias peculiares de las distintas naciones, diferencias que, en definitiva, en el transcurso del tiempo y por imperativos de la misma unificación, posiblemente habrían terminado por desaparecer (de no haber tenido lugar la guerra de 1940-45) y habrían llegado a constituir dos grandes núcleos de producciones industriales unificadas.

La guerra influyó fundamentalmente sobre este problema de las unidades de medida, y el rumbo que actualmente adquiera es de suma importancia en el porvenir.

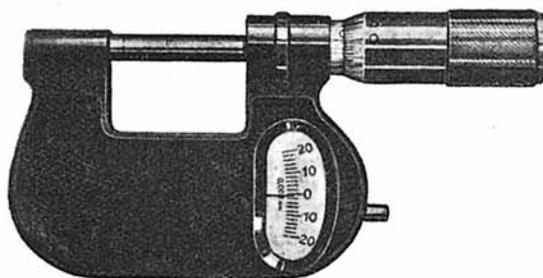
Una mayor unificación y extensión de la característica o sistema anglosajón, es decir, una aceleración de los imperativos de esta unificación, parecen ser las deducciones que de momento se pueden obtener.

Ello es una consecuencia lógica de la guerra y de su resultado, y es debido a las reuniones que precisaron realizar las Comisiones de especialistas de los Estados Unidos, Inglaterra y el Canadá para resolver, con carácter de urgencia, las diferencias peculiares entre estos países.

Estas reuniones consiguieron normas o determinaciones transitorias de tal interés, que decidieron continuar su labor, primeramente para el período de reconstrucción, y en la actualidad, ya con carácter permanente, para beneficiarse de las ventajas de una mayor unificación entre países que, además, cuentan con la facilidad inmensa del idioma común.

Por otra parte, las determinaciones que obtengan aumentarán en extensión al expresar recientemente Norteamérica la conveniencia de unificar el material y equipos de guerra de todo el Continente americano.

El sistema unificado de unidades de medida



*Pie de Rey indicador.*

(si esto se realiza) que adopten estos países representará a la mayor potencia industrial conocida hasta ahora en el mundo. Si se inclinaran por el métrico, la extensión de la unificación se podría considerar universal, y solamente habría que estudiar la mejora de la característica.

En el *Interavia*, núm. 1.136, Suiza expuso con gran alegría la noticia de que Mr. Olivier Stewart, director de la revista de "Aviación Aeronáutica", publicaría en lo sucesivo todas las medidas en los dos sistemas, y de ello pretendía deducir que, por fin, Inglaterra se incluiría en el sistema métrico. Para la desarrollada industria suiza es de importancia vital la decisión que se acuerde.

Si continúan con el sistema actual, y parece tener esto mayores probabilidades, cada nación habrá necesariamente de estudiar qué camino le conviene seguir, teniendo presente que la industria y las facilidades de intercambio y de asociaciones actuales no reconocen las fronteras nacionales.

Las naciones, como antes los técnicos de cada taller, que produzcan todo lo que necesitan, podrán establecer y conservar el sistema de unidades de medida que desean y prescindir de toda otra determinación; en otro caso habrán de optar por incorporarse al más conveniente.

Esta incorporación no puede hacerse eficazmente sino por los caminos que marca la propia unificación, o sea por los acuerdos de amplios sectores que incluyan todas las actividades nacionales productoras y científicas, que indicarán, a la vista de las circunstancias favorables y desfavorables, el rumbo que se habría de tomar, y este estudio constituiría, sin duda, una orientación futura de un valor extraordinario para el conjunto de estas actividades nacionales.

Penetró tan profundamente la técnica de las medidas en la técnica de la construcción y en la experimentación científica, que con razón se podría aplicar aquí el pensamiento de Mie con relación a los sistemas absolutos.

“La adopción de sistemas de medidas nacionales, sin intervención de las artes técnicas y científicas, estaba bien en épocas en que las medidas no eran tan esenciales para éstas como lo es en la actualidad.”

## BIBLIOGRAFIA

“Magnetismo, electricidad y gravitación”, por Luis Hurtado Acero (*Las Ciencias*, VIII, 685/704, 1943).

“La racionalización de Heaviside-Lorentz y el sistema de unidades Giorgi”, por Luis Hurtado Acero. Trabajo leído por el autor en el Congreso de Córdoba, octubre de 1944.

“Las magnitudes y las unidades de la Física”, por Julio Palacios (*Investigación y Progreso*, enero-febrero, 38-58, 1945 y siguiente).

“A propósito de la métrica electromagnética”, por José Ignacio Martín Artajo, S. J. (*Anales de la Mecánica y Electricidad*, enero-febrero, 31-38, 1945; marzo-abril, 57-64, 1945 y siguiente).

“Sobre las magnitudes y unidades”, por José Oñate y Guillén (*Alfa*, marzo, 29-33, 1945).

“Sistemas electrostáticos de unidades”, por José Oñate y Guillén (*Radioelectricidad*, mayo 1945).

“La precisión en las fórmulas mecánicas”, por José Oñate y Guillén (*Alfa*, 1945).

SECHI: *La unidad de las fuerzas físicas*, capítulo III.

MILLER: “On the construction of the new imperial Standard Pound and its copies of Platinum” (*Transactions of the Royal Society*, 1856).

AIRY: “Account of the constructions of the new National Standard of length and of its principal copies” (*Philosophical Transactions of the Royal Society for*, 1857).

“On the comparison of the imperial Standard Pound with the Kilogramme des Archives” (*Phil. Trans.*, vol. CXLVI, págs. 753-946).

BISHOP TONSTAL: “Arithmetic”, 1522.

GREAVES: “Discourse on the Roman Foot and Denarius, from whence and from two principles the measures and weights used by the ancients may be deduced”, 1647. Greaves fué el primero de los modernos que midió la gran Pirámide de Egipto; era poliglota y escribió sobre el persa.

BERNARD EDWARD: “Of the ancient weights and measures”, 1685, Oxford.

Esta obra fué reimpresa con el título “De mensuris et ponderibus antiquis libri tres”, 1688. Es obra de mucho mérito; al final hay un apéndice sobre los pesos y medidas de los chinos, cuyo autor es Hyde.

“Jeakes's Arithmetic”, 1696.

LUISIUS AB ALCASAR: “Vestigatio veritatis in sacris Ponderibus ac mensuris”. Antwerpiae, 1614.

Esta obra es importante; en la página 8 tiene el tamaño natural (según el autor) del pie español y del romano antiguo según Villalpando (tomo III, folio 501), e historia de las medidas hebreas.

“Evolución de los sistemas de unidades usados en Electricidad”, por Francisco Planell Riera (Memorias de la Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, XXV, 217/232, 1935).

“Magnitudes y unidades eléctricas”, por José Oñate Guillén. (*Radioelectricidad*, núms. 5, 1938; 8, 9 y 10, de 1939).

“Las magnitudes físicas y sus dimensiones. Las magnitudes electromagnéticas y una paradoja electromagnética”, por Julio Palacios (*Revista de la Real Academia de Ciencias*, tomo XXXV, 1941, páginas 31-41, 164-835 y 314-317).

“Sobre magnitudes y unidades físicas”, por José Oñate Guillén (*Euclides*, 1-14/20, 1941).

“La velocidad de la luz y los sistemas de unidades”, por Félix Apráiz (*Metallurgia y Electricidad*, julio 1941).

“Contradicciones entre las leyes fundamentales de la electricidad; sus causas y efectos”, por Félix Apráiz (*Metallurgia y Electricidad*, octubre de 1941).

“Revisión de las leyes eléctricas y correcciones necesarias”, por Félix Apráiz (*Metallurgia y Electricidad*, febrero 1942).

“Unidades físicas y ecuaciones de dimensiones”, por Mariano de la Iglesia (*Euclides*, 14-113/121, 1942).

“La reluctividad, verdadera constante magnética”, por Luis Hurtado Acero (*Metallurgia y Electricidad*, núms. 54, 56 y 57 de 1942), y un trabajo sobre el mismo tema presentado al Congreso de Ciencias de Oporto, 1942.

“Notas acerca de las bases de la métrica electromagnética”, por José Ignacio Martín Artajo, S. J. (*Anales de Mecánica y Electricidad*, enero-febrero, 1-9/14, 1942; 3-117/126, 1942).

“Contribución a la reforma del vocabulario electrotécnico internacional”, por José Oñate Guillén (*Las Ciencias*, VII, 301/215, 1942).