

TENDENCIAS

ALEGRÍAS (y tristeza) METROLÓGICAS

Como es bien sabido, el 16 de Noviembre de 2018, en Versalles (París), con ocasión de la celebración de la XXVI Conférence Generale de Poids et Mesures, se procedió a la redefinición de 4 de las 7 unidades fundamentales del Sistema Internacional (SI) de unidades.

La redefinición afecta a las unidades de masa (kilogramo), intensidad eléctrica (Amperio), temperatura (Kelvin) y cantidad de materia (mol).

En la vida diaria esas redefiniciones no van a tener consecuencias, porque la nueva unidad se hace coincidir con el valor anterior a la redefinición.

La idea es que todas las unidades estén referidas a constantes universales, y no dependan de un artefacto. Ese era el caso del kilogramo, cuyo prototipo internacional se conserva en el Bureau International de Poids et Mesures. La dependencia de un artefacto es muy grave porque, en primer lugar no se sabe si es estable o no, y segundo, su pérdida o deterioro conlleva la pérdida o alteración de la referencia.

Para los Ingenieros de Telecomunicación, la unidad más cercana es el Amperio. Cabe recordar que el Amperio se definía como aquella corriente que, circulando por dos hilos paralelos e infinitamente largos, de grosor despreciable, situados a 1 metro de distancia, da lugar a una fuerza entre ellos (atractiva o repulsiva) de 200 nanonewtons por metro. Si ya un newton es de por sí bastante pequeño (aproximadamente unos 100 gramos en la incorrecta jerga usual), 200 nanonewtons lo es mucho más. A ello se añade la necesidad de que los dos hilos sean infinitamente largos, etc., condicionantes todos ellos imposibles de cumplir.

Con la nueva definición, se parte de *definir* la carga de un electrón, lógicamente la ya conocida de $1,602 \cdot 10^{-19}$ Culombios, pero ahora no se le atribuye ninguna incertidumbre. De esa manera, el Amperio es la corriente que pasando por un cable, en una sección recta de él, hace que pasen $6,241 \cdot 10^{18}$ electrones (o cargas ele-

Antonio Moreno Calvo
Ingeniero de Telecomunicación



mentales) por segundo. Puede parecer una definición un tanto absurda, pero existen dispositivos cuánticos que permiten tal medida. Son los llamados SQUIDS, pero no se piense que los calamares (eso significa squid en inglés) están capacitados para detectar electrones de uno en uno. SQUID viene de Superconductor Quantum Interference Device, y en la literatura se puede ahondar más en los principios de su funcionamiento.

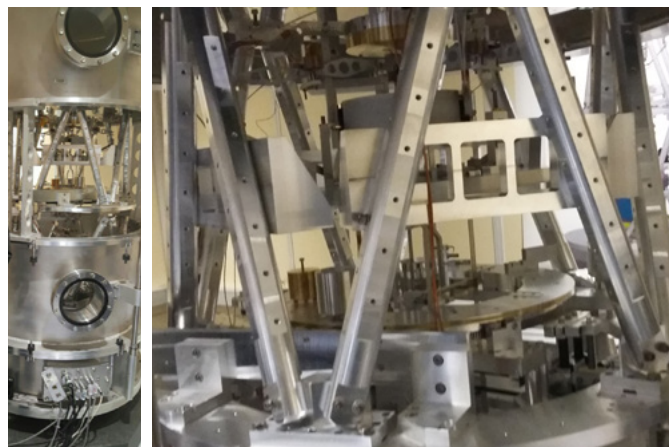
En cuanto al kilogramo (una unidad no precisamente eléctrica, pero que afecta a todas las facetas de la vida), la nueva definición es: **“El kilogramo, símbolo kg, es la unidad de masa del SI. Se define asignando el valor numérico fijo de $6,626\ 070\ 040 \times 10^{-34}$ a la constante de Planck h cuando ésta se expresa en la unidad $J \cdot s$, que es igual a $kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$, donde el metro y el segundo están definidos en términos de c y $\Delta\nu_{Cs}$.”**

¿Sirve para algo esta definición? Se observa, en primer lugar, que a la constante de Planck (h) se le asigna un valor fijo y sin incertidumbre (algo paralelo a la asignación al electrón de una carga exacta y sin incertidumbre), el metro viene definido a partir de la velocidad de la luz (que también se definió hace tiempo sin incertidumbre) y $\Delta\nu_{Cs}$ es la frecuencia (también definida sin incertidumbre) de una transición entre dos estados hiperfinos del átomo de cesio, el principio de los relojes de cesio que tan familiares son. Esta frecuencia es de 9 192 631 770 Hz, o lo que es lo mismo, el tiempo necesario para que transcurra tal número de oscilaciones de esa frecuencia es lo que se define como segundo.

Por lo tanto para la realización física de un kilogramo hay que acudir a una balanza en la que se puedan combinar todas esas variables. La balanza, anteriormente llamada de watt (derivada a su vez de la balanza de Ampere), permite equilibrar una masa con la fuerza magnética ejercida entre bobinas (o entre una bobina energizada con corriente continua sumergida en un campo magnético). La distribución espacial de los campos magnéticos es extraordinariamente difícil de conocer con precisión, y ello obliga a un paso previo para evaluar **cómo se atraen entre sí esas bobinas. Se llamaba balanza de watt porque** la masa así medida resulta ser función del producto de tensiones y corrientes, esto es potencia (vatios), pero actualmente se la deno-

mina balanza de Kibble, porque ese científico fue el que propuso el método de medida que conduce a la realización del kilogramo. El resultado obtenido será un artefacto cuya masa (medida de este modo) será de un kilogramo (o lo que se desee), pero vendrá afectado de una incertidumbre. Antes, el kilogramo estaba dotado de incertidumbre nula, y la constante de Planck se medía y el resultado arrojaba un valor numérico afectado de incertidumbre.

Las nuevas definiciones son motivo de alegría para la comunidad de metrologos, porque se han desembarazado de la dependencia de un prototipo que es un artefacto. Cualquiera, en cualquier lugar y en cualquier momento, puede recrear el experimento y obtener un resultado para su pesa-patrón (siempre que tenga a mano una balanza de Kibble)



Otro motivo de alegría, en este caso para los españoles, es que desde ese mismo día 16 de Noviembre la investigadora del Centro Español de Metrología, Dolores del Campo forma parte del selecto grupo de 18 científicos que tratan estos temas y proponen ideas al más alto nivel. Desde hace algo más de 40 años no teníamos ningún representante en ese lugar, siendo el último Otero Navascués (1907 - 1983).

Pero también hay tristezas. Hasta el 16 de Noviembre (o más exactamente, hasta el 20 de Mayo de 2019 que entrarán en vigor las nuevas definiciones), los españoles poseíamos un kilogramo patrón, procedente de la fundición original de la aleación de platino e iridio, allá por 1879 (otras fuentes indican 1889). Es el mismo estado en que se encontraban Francia, Alemania, etc, los países que firmaron originalmente la Convención del Metro. Otros países también tenían su kilogramo patrón, pero ya no procedía de la colada inicial (lo que tampoco es tan importante). Pero desde el 20 de Mayo, los países que no posean una balanza de Kibble pasarán a ser países, metrologicamente hablando, de segunda fila.

Ciertamente no hay muchos países que posean tal balanza. Desde luego, en ese club están los países punteros (Estados Unidos de América, Reino Unido, Suiza, ... y quizá también Turquía entre ellos). Eso países llevarán a cabo sus calibraciones de sus masas patrón (de trabajo o transferencia) en su propia geografía, en tanto que los que no tenemos tal balanza, deberemos enviar los prototipos para su calibración a Institutos Metroológicos Nacionales de otros países. Esa es la tristeza, nuestra tristeza.

Esta colaboración a la revista **BIT** podría acabar aquí, pero seguro que surgirán preguntas. Una de ellas, tal vez la más inmediata, sea: ¿Por qué se define el nuevo kilogramo a partir de h (la constante de Planck), e indirectamente de c y $\Delta\nu_{Cs}$ (la velocidad de la luz y la frecuencia de la transición hiperfina del Cesio), cuando tenemos la fórmula de la Gravitación Universal de Newton ($F = G \cdot M \cdot m / r^2$), en la que sólo aparece la constante G ?

La respuesta a esta pregunta lleva a plantear el siempre antiguo problema de la G .

A modo de comparación, la velocidad de la luz fue medida por Roemer (1676) y estimada en $2,12 \cdot 10^8$ m/s, valor que se aleja del definido actualmente de 299 792 458 m/s.

En 1849, Fizeau consigue un valor mucho más aproximado, $3,13 \cdot 10^8$ m/s.

Hasta que los valores de la medida de la velocidad de la luz llevada a cabo por múltiples científicos no fueron congruentes, no se pudo asignar a la luz el valor numérico antes referido.

En el caso de G , según aparece en las tablas de CODATA, su valor es de

$6,674\ 08(31) \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{kg} \cdot \text{s}^2$, con una incertidumbre relativa de 47 ppm (o lo que es lo mismo, 47000 partes por mil millones).

Y en el caso de h se tiene $6,626\ 070\ 040(81) \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, con una incertidumbre relativa de 12 partes por mil millones. Por eso se ha preferido usar h y no G para definir el nuevo kilogramo. En otras palabras, la G se mide muy mal para esos menesteres y no vale para establecerla como referencia en el campo de la metrología. Al menos por ahora ...