

EL IMPACTO DEL NUEVO SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI) EN LA METROLOGÍA ELÉCTRICA DE ALTA EXACTITUD

C. David Avilés Castro

CENAM

Carretera a los Cués km 4.5, El Marqués, Querétaro, México

caviles@cenam.mx

Resumen: Este es un artículo de divulgación que pretende responder las siguientes preguntas: ¿Por qué es necesario cambiar el SI?, ¿Cómo cambiará la definición del ampere y por qué?, ¿Cómo se realizará en la práctica el ampere?, ¿Cómo se afectarán el volt y el ohm con el nuevo SI?, ¿Qué ventajas se tendrán de los cambios al SI?

1. INTRODUCCIÓN

El SI está formado por definiciones de siete unidades básicas (metro, kilogramo, segundo, ampere, kelvin, mol y candela), por unidades derivadas y por reglas de escritura [1]. El SI fue creado para establecer un lenguaje universal y coherente, útil para la ciencia, la tecnología, el comercio, etc. El SI es una muy herramienta valiosa, que es posible actualizar cuando se considera conveniente, con el propósito de incorporar los avances y desarrollos en materia de patrones y sistemas de medición, así como para reducir la incertidumbre de las mediciones, El encargado de realizar estos cambios es el CIPM (Comité Internacional de Pesas y Medidas) con la ayuda de diversos Comités Consultivos y el BIPM ("Bureau" Internacional de Pesas y Medidas).

El uso del SI nos asegura la coherencia entre las unidades de medición.

Actualmente el ampere se define de la siguiente manera: El ampere es la corriente eléctrica constante que si es mantenida en dos conductores rectos, paralelos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y separados 1m en el vacío, producen entre estos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} newton por metro de longitud. Como parte de esta definición se fijó el valor de la permeabilidad del vacío μ_0 .

2. NECESIDAD DE ACTUALIZAR EL SI

En 2011 el CIPM decidió que es necesario modificar las definiciones del kilogramo (kg), el ampere (A), el kelvin (K), y la mol (mol), para ligarlas a constantes físicas fundamentales [2], estos cambios se materializarán en 2018 con el nuevo SI.

Siendo el ampere la unidad eléctrica de base, se acordó que es necesario cambiar su definición, ya que es totalmente idealista La definición actual hace mención de condiciones imposibles de lograr en la

realidad. De acuerdo a la definición actual, el ampere se deriva del newton (unidad de fuerza) que es una unidad derivada. Además las mejores realizaciones de esta definición tienen niveles de incertidumbre de partes en 10^{-7} que están muy por debajo de lo que puede lograrse con los patrones cuánticos actuales.

Debido a lo anterior el ampere ya no se realiza en base a su definición. En la actualidad en los laboratorios nacionales de metrología, el ampere se deriva del volt y el ohm ($A=V/\Omega$) reproducidos por medio de efectos cuánticos. El volt se reproduce a través del efecto Josephson y el ohm a través del efecto Hall cuántico (EHC), cuyas ecuaciones son (1) para el efecto Josephson y (2) para el EHC:

$$V_j = n f / K_j ; K_j = 2e / h ; n = 1, 2, 3, \dots (1)$$

$$R_H = R_K / i ; R_K = h / e^2 ; i = 1, 2, 3, \dots (2)$$

3. VALORES CONVENCIONALES PARA LAS CONSTANTES JOSEPHSON Y VON KLITZING

En el año 1990 la incertidumbre del volt y del ohm era de partes en 10^{-7} , debido a que las incertidumbres de los valores de las constantes Josephson K_j y Von Klitzing R_K eran de ese mismo orden, sin embargo, la reproducibilidad del volt y del ohm era de partes en 10^{-8} , esto significa que si los patrones de tensión o resistencia eléctrica se reproducían por medio de estos efectos cuánticos, bajo diferentes condiciones, los resultados coincidían dentro de partes en 10^{-8} . Los valores de K_j y R_K se afinan continuamente en la medida en que se miden con cada vez menor incertidumbre. En 1990 se consideró riesgoso que los laboratorios nacionales usaran diferentes valores para estas constantes. Debido a esto y con la intención de mantener la uniformidad en las mediciones eléctricas de alta exactitud realizadas en el mundo, el CIPM en 1990 decidió definir valores

convencionales para las constantes Josephson y Von Klitzing, llamándoles K_{J-90} y R_{K-90} respectivamente, estos valores fueron adoptados con incertidumbre ¡cero!, esto se hizo tomando las mejores determinaciones de estas constantes en esa fecha. Estos valores se han utilizado en los laboratorios de metrología eléctrica en el mundo hasta la fecha. Las incertidumbres que se reportan en las mediciones de tensión eléctrica y resistencia eléctrica de la más alta exactitud son de partes en 10^{-11} . Sin embargo, si se requiere comparar, por ejemplo, la potencia eléctrica ($P=VI$) con la potencia mecánica ($P=Fv$) en términos del SI, a las bajas incertidumbres de las mediciones del mundo eléctrico hay que “sumarles” las incertidumbres de las constantes K_{J-90} y R_{K-90} , que desde luego no son cero. Esto nos lleva a que en términos del SI, las mediciones de tensión y resistencia eléctrica, que son la base del resto de la magnitudes eléctricas, reproducidas con patrones cuánticos tienen actualmente incertidumbres de partes en 10^{-7} , aunque su reproducibilidad sea actualmente de partes en 10^{-11} .

El fijar valores convencionales para K_{J-90} y R_{K-90} en 1990, permitió mantener la equivalencia entre las mediciones eléctricas de muy alta exactitud, pero limitó la incertidumbre de las mediciones eléctricas (de tensión y resistencia eléctrica) en términos del SI a partes en 10^{-7} .

4. FIJANDO EL VALOR DE ALGUNAS CONSTANTES FUNDAMENTALES

El valor de cualquier magnitud se expresa como el producto de un número por una unidad, por ejemplo, la velocidad de la luz se expresa como: $c = \{c\} [c] = 299\,792\,458$ m/s, es decir, el producto del número $\{c\}$ por la unidad $[c]$. En este caso el producto no cambia, ya que es una constante fundamental de la naturaleza y no puede ser cambiada, pero los dos factores de este producto pueden cambiar, de manera que el producto se mantenga constante.

Lo que hace el nuevo SI es fijar el valor del número y de esta manera queda definida la unidad. Esta manera de definir las unidades asegura su estabilidad en el tiempo y permite una continua disminución de incertidumbre en la medida que los experimentos con los que se realizan las unidades se vayan afinando, además el nuevo SI permitirá que se tengan varias maneras de reproducir las unidades, ya que se desligará la definición del método de realización.

En el nuevo SI la idea es fijar el valor de siete constantes fundamentales en los términos anteriormente explicados, entre las que están e

(carga elemental), y h (constante de Planck), lo que fija también a K_J y R_K que dependes de ellas, ahora sí, con incertidumbre cero [3].

El efecto de fijar e , h , y por tanto K_J y R_K es una reducción de la incertidumbre de las mediciones de tensión eléctrica y resistencia eléctrica en términos del SI de partes en 10^{-7} a partes en 10^{-11} . El hecho de usar los nuevos valores de K_J y R_K en lugar de K_{J-90} y R_{K-90} implicará también hacer un ajuste a los valores de las unidades. El volt sufrirá un cambio dado por el factor K_J / K_{J-90} que producirá un decremento en su valor de aproximadamente una parte en 10^{-7} , y el ohm se verá afectado por un factor de R_K / R_{K-90} que producirá un incremento aproximado de 2 partes en 10^{-8} . Los valores exactos de estos ajustes dependerán de los valores dados por CODATA justo antes de fijarse los valores de e , h , K_J y R_K en 2018.

Otro efecto de cambiar la definición del ampere es que la permeabilidad del vacío μ_0 , que antes tenía un valor fijo (con incertidumbre cero) ahora deberá determinarse experimentalmente.

5. REALIZACIÓN DEL NUEVO AMPERE

En el nuevo SI se ha decidido mantener el ampere como la unidad eléctrica de base por razones históricas y para mantener la estructura actual del SI, con las mismas siete unidades de base.

La definición del nuevo ampere se podrá realizar directamente a través del tuneo individual de electrones [4]. Para efectuar este experimento se fabrican estructuras nanométricas llamadas bombas de tuneo individual de electrones que a temperaturas muy bajas permiten hacer pasar por estos dispositivos electrón por electrón, entonces conociendo la frecuencia de paso de electrones f es posible determinar la corriente eléctrica a partir de la relación $I = f e$. Sin embargo, actualmente solo es posible generar niveles de corriente de alrededor de 20 pA con esta técnica, con niveles de incertidumbre de partes en 10^{-6} , por lo que en la práctica el ampere seguirá siendo derivado del volt y del ohm como se hace en la actualidad.

En la nueva definición del ampere se fijará el valor de la carga elemental e en los términos ya explicados.

REFERENCIAS

- [1] <http://www.bipm.org/en/measurement-units/>
- [2] <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/24/1/>
- [3] FAQs, Frequently Asked Questions about the New SI <http://www.bipm.org/en/measurement-units/new-si/faqs.html>
- [4] <http://www.bipm.org/en/measurement-units/new-si/>