

Laboratorio de UTE desarrolla un patrón primario para el Volt

Por Daniel Slomovitz*

Hasta este año Uruguay disponía sólo de patrones secundarios para todas las magnitudes. Técnicos del laboratorio de UTE, trabajando en conjunto con científicos de Alemania, han desarrollado un nuevo patrón primario para el volt, basado en el efecto Josephson, lo que mejoraría la capacidad de medición de Uruguay, no solo en tensión eléctrica, sino en corriente, potencia, y múltiples unidades derivadas.

“En las ciencias físicas el primer paso esencial en la dirección del aprendizaje de cualquier tema es encontrar principios de cálculo numérico y métodos factibles para medir alguna cualidad conectada a él. Yo digo a menudo que cuando usted pueda realizar medidas sobre lo que usted está hablando, y lo exprese en números, usted sabe algo sobre eso; pero cuando usted no puede medirlo, cuando no puede expresarlo en números, su conocimiento es de tipo marginal y poco satisfactorio; puede ser el principio del conocimiento, pero usted habrá avanzado escasamente en sus pensamientos al estado de la Ciencia, cualquiera sea el asunto que trate”

Así se expresaba Lord Kelvin en una célebre conferencia dictada en 1883. A pesar del tiempo transcurrido desde esta declaración, el mundo de las mediciones de alta precisión es poco conocido y, menos aún lo son las bases sobre las cuales está edificado.

Existen registros de medidas, con más de 3000 años, en antiguos papiros egipcios donde se muestra el uso de la balanza de platillos como comparador de masas. Ya en épocas más modernas (alrededor de 1800), se tornó imprescindible acordar sobre patrones y unidades de uso universal para facilitar el comercio. En esos tiempos existían diversas unidades para una misma magnitud, no bien definidas e incluso incompatibles entre sí. La mayoría provenían de la época de Carlomagno, mil años antes, habiéndose generado diferentes patrones cuyas relaciones solo eran conocidas vagamente por un pequeño grupo de comerciantes o representantes del poder.

Con el inicio de la Revolución Francesa comienza el cambio hacia el sistema métrico decimal. Los artesanos habían alcanzado un alto grado de desarrollo en instrumentos de medidas; el comercio mundial entre el viejo mundo y sus colonias se incrementaba; la ciencia avanzaba y nuevas magnitudes eran descubiertas, todo lo cual exigía un ordenado y cuidadoso sistema de patrones y unidades fácilmente reproducible.



Pesas en campana vidrio: Prototipo Internacional del Kilogramo compuesto de una aleación de platino e iridio. Se guarda en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas en Sèvres, cerca de París, (BIPM).

Convención del metro

En 1875 el gobierno de Francia donó el antiguo Pabellón de Breteuil, un castillo en Sèvres, en las afueras de París, cuya construcción se remonta a la época de Luis XIV (alrededor del año 1672), para que en él operara un organismo que se encargaría de todos los aspectos científicos relacionados con la metrología. En ese mismo año se celebró en París el primer tratado internacional sobre estos temas, llamado Convención del Metro, que fue firmado, por representantes de 17 países. Es un tratado que se mantiene válido hasta el presente y define la organización metrológica mundial. Por el mismo se creó la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) como organismo máximo de decisión, el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) y la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM - por sus siglas en francés) como organismos ejecutores. La CGPM está

integrada por delegados oficiales de los países miembros, el CIPM es un comité integrado por 18 expertos técnicos, mientras que el BIPM es el laboratorio en el cual se custodian los Patrones Internacionales.

Actualmente, solo el patrón de masa queda como sombra del glorioso pasado del BIMP. Los demás patrones internacionales han desaparecido por efecto de nuevas definiciones de las unidades, basadas en constantes universales. La actividad principal del CIPM y de los Comités Consultivos ahora es centralizar y coordinar todos los trabajos de intercomparación de patrones nacionales y determinar los reconocimientos mutuos entre los Laboratorios Nacionales de los diferentes países.

Uruguay es signatario de la Convención del Metro desde 1908. La gran cantidad de países participantes de este tratado, hoy en día, hace necesaria la presencia de organizaciones regionales, de forma de tornar eficientes los esfuerzos destinados a la compatibilidad de las mediciones. El mundo globalizado así lo exige. Aun una sola tarea, como puede ser la de intercomparar las capacidades de medición en longitud, podría tornarse en tarea imposible si se pretendiera que todos los países se compararan entre sí directamente.

La idea fundamental es dividir el mundo en regiones, y esas en sub-regiones. Los reconocimientos de las capacidades de medición de cada uno de los países se determinan en primera instancia dentro de las regiones, y luego a nivel global.

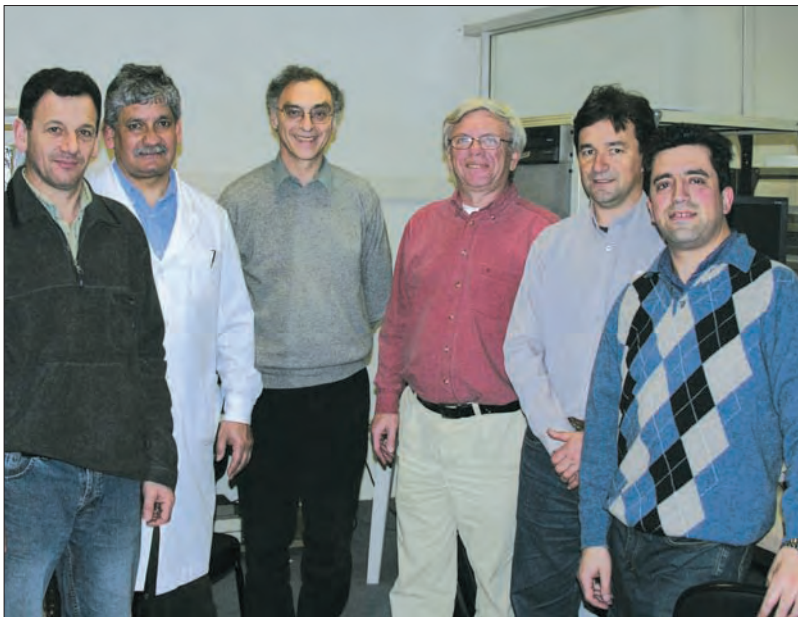
Las comparaciones también se realizan en forma escalonada, generalmente entre los países de cada región. Un representante de cada una de ellas se intercompara con similares de las otras regiones, de forma que una comparación de tal tipo pueda terminarse en un tiempo razonable, que puede llegar a ser de un par de años.

Las organizaciones regionales son: SIM (Sistema Interamericano de Metrología) que reúne a los países de América, EUROMET a los países de Europa, SADCMET, a los de África del sur, COOMET reúne a países como Rusia, Ucrania y otros, y APMP a los de Asia y el Pacífico. A su vez, el SIM está dividido en las siguientes sub-regiones: Andimet, Camet, Carimet, Noramet y Suramet, siendo a esta última que pertenece Uruguay, junto a los países del MERCOSUR más Chile.

El SIM tiene una historia relativamente corta. En 1971 se propuso impulsar la cooperación entre países americanos en temas de metrología y recién en 1979 fue creado el SIM. Sin embargo, fue hace solo unos pocos años, en 1995, que empezó a funcionar activamente impulsado por la OEA.

SIM - LATU - UTE

Es a través del SIM que la región americana, y cada uno de sus países, se vincula con los organismos internacionales de metrología. El organismo de mayor jerarquía dentro del SIM es la Asamblea General, y como organismo ejecutivo, el Consejo, formado por 11 miembros. En las áreas técnicas, las decisiones son tomadas por Grupos de Trabajo. Uruguay participa activamente en dichos grupos, así como en organismos internacionales. Tal es así que el cargo de Secretario Ejecutivo del Comité Conjunto de las Organizaciones Regionales de Metrología y el BIPM, JCRB (por sus siglas en inglés -Joint Committee of the Regional Metrology Organizations and the BIPM), está siendo ocupado actualmente por el Ing. Qco. Luis Mussio, Jefe del área de Metrología del LATU.



Grupo de investigadores involucrado en el desarrollo del patrón Josephson en el Laboratorio de UTE. De izquierda a derecha: Sergio Teliz, Heriguai de Souza, Daniel Slomovitz, Alexander Klushin, Daniel izquierdo, Leonardo Trigo.

El SIM reúne a 34 países de toda América. Sus miembros son los laboratorios metroológicos nacionales, es decir, las instituciones de cada país responsables por la custodia y mantenimiento de los patrones nacionales de medida o, en su defecto, del sistema nacional de pesas y medidas. Por Uruguay participan el LATU (Laboratorio Tecnológico del Uruguay) y UTE (Usinas y Trasmisiones Eléctricas). El primero, por ley, tiene la custodia de todos los patrones nacionales. Sin embargo ha delegado en el laboratorio de UTE la custodia de los patrones nacionales eléctricos, en un acuerdo entre ambas instituciones, firmado en el año 1999, por el cual dicho laboratorio es reconocido por el BIPM como 'Laboratorio Designado' para dichas magnitudes.

El laboratorio de UTE cuenta con más de 50 años de experiencia y es el laboratorio eléctrico más desarrollado del país. Mediante este convenio se optimizó el aprovechamiento de recursos, tanto humanos como de equipamiento, permitiendo hacer un uso más

eficiente de los mismos. Por este convenio, el laboratorio de UTE es reconocido como el laboratorio de referencia del Uruguay, en lo que a calibraciones eléctricas se refiere, y como tal calibra los patrones secundarios e instrumentos de medida eléctricos pertenecientes a personas públicas o privadas y participa en las intercomparaciones internacionales de patrones de medida eléctricos, en representación del país.

Tanto el LATU (como Instituto Nacional de Metrología del Uruguay) como UTE (en su rol de Laboratorio Designado para magnitudes eléctricas) forman parte del Acuerdo Multilateral para el Reconocimiento mutuo de patrones nacionales de medida y de certificados de calibración y medición (MRA), emitidos por los Laboratorios Nacionales de Metrología, lo cual permite que los certificados de calibraciones expedidos por estas instituciones posean reconocimiento internacional.

Este acuerdo, realizado en el marco del CIPM, por 45 estados miembros de la Convención del Metro, fue firmado en París el 14 de octubre de 1999. Las capacidades de medida de ambos laboratorios, reconocidas, están disponibles en la página web: www.bipm.fr. Por ejemplo, en mediciones de energía eléctrica se reconoce una capacidad de medición con incertidumbre de 50 partes en un millón, valor similar al de los países altamente desarrollados.

Toda esta estructura organizacional posibilita el reconocimiento mutuo de patrones y certificados de ensayo, elemento clave para empresas exportadoras o con estrechos vínculos con el exterior, así como para organizaciones certificadas por las normas de calidad ISO 9000.

Referente a los sistemas de unidades, la Convención del Metro define el Sistema Internacional (SI) especificando todas las unidades, agrupándolas en básicas y derivadas. Son unidades básicas el segundo, metro, kilogramo, ampere, kelvin, candela y mol. Todas las restantes se derivan de estas siete.

Mantener el sistema de patrones y diseminarlos dentro del país es la tarea fundamental de los Laboratorios Nacionales. Esto implica una gran cantidad de trabajo, invisible incluso para los usuarios del sistema. Pasar de la definición de la unidad a construir aparatos de medida

y patrones que la materialicen, implica un largo camino. Por ejemplo, la definición del segundo es: 9192631770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133. Pasar de esta especificación teórica a un aparato del cual salgan pulsos cada segundo es complejo, implica altos costos y sobre todo requiere mantener equipos de investigadores trabajando establemente durante años.

Dicho aparato se define como Patrón Primario, es decir un patrón que posee la mejor calidad metrológica en su campo y no requiere ser calibrado contra otro patrón de su misma magnitud. En cambio, otros dispositivos, que reproducen el segundo, basados en principios diferentes (por ejemplo osciladores de cuarzo, tal como los usados en los relojes digitales), deben ser calibrados contra patrones primarios, y por ende son patrones secundarios.

Se denominan 'Patrones Nacionales' a aquellos reconocidos para fijar el valor de los demás patrones, dentro de un país, de esa magnitud. Pueden ser primarios o secundarios. No existe reglamentación sobre la incertidumbre de los patrones nacionales y cada país decide libremente cuál elige. Basta que satisfaga las necesidades de calibración de la industria, el comercio, así como las actividades de ciencia y tecnología locales. Los países más desarrollados poseen patrones primarios para todas las unidades, pero en el caso del Uruguay, esa elección sería excesivamente costosa. De hecho, la mayoría de los patrones nacionales de Uruguay actualmente son de tipo secundario, y por lo tanto requieren periódicas recalibraciones en el exterior. En cada caso, debe evaluarse el compromiso entre los costos de recalibración y los costos de desarrollo y mantenimiento de un Patrón Primario.

Volt - patrón primario

Una unidad cuyo patrón esta siendo mejorado en UTE es el volt, la unidad de tensión eléctrica. Hasta el momento en Uruguay sólo se disponía de patrones



Entretenete y aprendé.

Todo el entretenimiento y la cultura que te gusta, lo podés encontrar en el paquete Mundo & Conocimiento de Montecable, con sus señales Discovery Civilization, Discovery Science, Discovery Turbo, Infinito y The Biography Channel.

Pedilo hoy mismo al 909 00 00.

MUNDO & CONOCIMIENTO

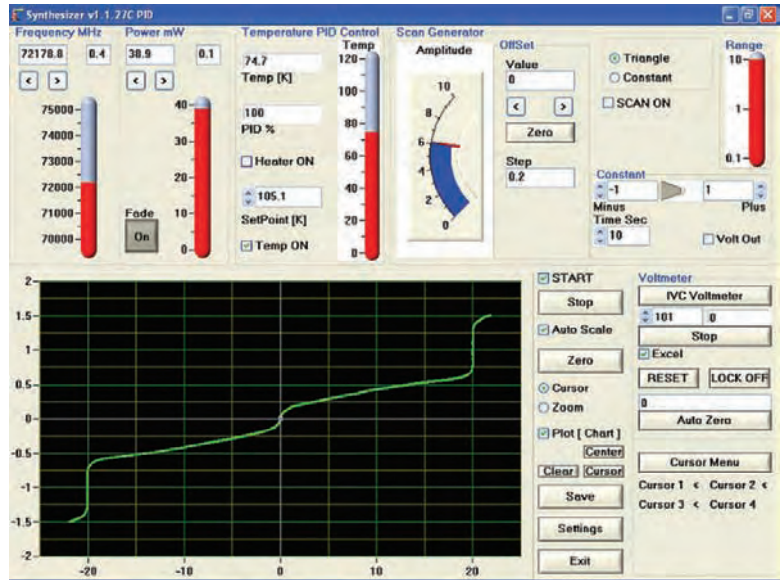
MONTECABLE
digital

El abono más conveniente.

secundarios (fuentes basadas en diodos Zener y pilas patrones). Si bien los patrones primarios de tensión están basados en complejos experimentos que los relacionan con las unidades básicas, también son aceptados en ese rol patrones basados en el llamado efecto Josephson. Éste es un efecto cuántico que ocurre a muy baja temperatura donde ciertos materiales se tornan superconductores, por el cual se establece una relación entre una tensión eléctrica y la frecuencia de una onda. A partir de un dispositivo constituido por dos superconductores separados por una fina barrera aislante, Brian Josephson anunció en 1962 una serie de propiedades teóricas relacionadas con el así llamado efecto túnel (1). En particular, aparece un vínculo entre la tensión aplicada al dispositivo, y la frecuencia de una onda generada por el mismo.

El elemento clave de su utilidad como patrón es que la constante de proporcionalidad solo depende de constantes universales. De esta forma, disponiendo de patrones de frecuencia con alta exactitud, también podremos generar tensiones con incertidumbres similares. Actualmente existen relojes atómicos con incertidumbres

menores a una parte en 10¹³ en la determinación de la frecuencia. La frecuencia y el tiempo son unidades que pertenecen a la misma magnitud física, razón por la cual tanto relojes como frecuencímetros son herramientas



Pantalla del sistema de control por computadora de todos los dispositivos que forman el patrón Josephson,

PATRÓN JOSEPHSON DEL LABORATORIO DE UTE

A diferencia de los equipos convencionales, el patrón Josephson desarrollado en el Laboratorio de UTE usa nitrógeno líquido para lograr las bajas temperaturas necesarias. Por una parte, esto reduce sustancialmente el costo operativo del equipo, pero por otra agrega ciertas dificultades. Las juntas Josephson deben ser desarrolladas especialmente para tornarse superconductoras a unos $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$, y con el actual estado de la tecnología, ello implica que la tensión máxima del dispositivo no supera 0.1 V . Llegar a contrastar patrones secundarios de 1 V y 10 V requiere, por tanto, de dispositivos comparadores complejos, cuyo desarrollo también fue realizado en el referido laboratorio.

Por otra parte, la implementación del efecto, necesita de una radiación electromagnética externa, con frecuencia en el rango de las microondas, que debe ser conducida al interior del tanque de nitrógeno por guías de onda y cavidades resonantes. Deben realizarse varios ajustes mecánicos micrométricos para asegurar que la potencia de esta radiación esté en los rangos previstos.

Controlar todas las variables que intervienen requiere de un sistema de control automático, gobernado por computadoras, y de un entorno donde la temperatura, humedad y otras condiciones ambientales sean controladas estrictamente.



Vista parcial del patrón Josephson implementado en el Laboratorio de UTE

equivalentes en este campo. La incertidumbre agregada por el dispositivo Josephson no es mayor que una parte en 109.

En resumen, conociendo el valor de ciertas constantes universales, se puede medir tensiones con incertidumbres en el orden citado. Esta es la cara positiva del dispositivo. La negativa radica en el alto costo de inversión (cientos de miles de dólares) y el alto costo de mantenimiento. Cada vez que se enciende el equipo se evapora un bidón de helio líquido, equivalente a varios miles de dólares. El helio es necesario para lograr las muy bajas temperaturas que requieren los superconductores que integran el corazón del aparato. La alternativa que se ha implementando en el Laboratorio de UTE consiste en sustituir los convencionales superconductores por otros de 'alta' temperatura. Éstos operan a unos -200 °C, y por tanto admiten ser enfriados con nitrógeno líquido, a un costo de tan solo un par de dólares por litro. Se trata de un desarrollo conjunto con científicos extranjeros de Alemania y Rusia, liderados por Alexander Klushing y un grupo de científicos y técnicos locales pertenecientes al Laboratorio de UTE, integrado por Daniel Slomovitz, Heriguatí De Souza, Leonardo Trigo y otros colaboradores. Solo cinco países de América cuentan actualmente con patrones Josephson. Uruguay es el primer país pequeño en integrarse a este distinguido club, mejorando así su capacidad de medición, no solo en tensión eléctrica, sino en corriente, potencia, y múltiples unidades derivadas.

Nota:

(1) El efecto túnel consiste en el pasaje de corriente eléctrica a través de una barrera aislante. Desde el punto de vista clásico esto no sería posible, pero la mecánica cuántica predice que si la barrera es fina, la probabilidad que los portadores de carga la atraviesen no es nula. Se observa, por tanto, la existencia de una corriente continua como resultado de la aplicación de una tensión continua. Este es un efecto conocido desde hace aproximadamente un siglo, sin embargo, si la juntura es enfriada hasta temperaturas en que los materiales se tornan superconductores, Josephson predijo que, adicionalmente, aparecerá una corriente alterna cuya frecuencia f es directamente proporcional a la tensión continua U aplicada, según la ecuación

$$f = \frac{2e}{h} U$$

donde e es la carga del electrón y h la constante de Plank. En sí misma, la juntura trabaja como un convertidor entre frecuencia y tensión, vinculando ambas magnitudes mediante constantes universales. Esta relación no depende de los detalles constructivos del dispositivo que la implementa, ni de elementos que envejezcan y cambien, lo que la hace ideal para uso como patrón de medida.

Conociendo el valor de la constante de proporcionalidad, el dispositivo no requiere ser contrastado contra otros patrones de tensión para determinar su propio valor. Solo se necesita conocer la frecuencia de la onda generada, lo cual se implementa con relojes atómicos.

* Daniel Slomovitz es Ingeniero Eléctrico y Doctor en Ingeniería. Actualmente ocupa la cátedra de Medidas Eléctricas en la Universidad de la República y el cargo de Jefe del Laboratorio de UTE.

EVOLUCIÓN DEL PATRÓN DEL VOLT

A partir del invento de la pila eléctrica por parte de Alessandro Volta en 1800, se abrieron nuevas posibilidades de experimentación con electricidad. Se dispuso de una fuente de tensión prácticamente constante, posibilitando el desarrollo de patrones de tensión. Los primeros intentos de crear pilas patrones, cuya tensión estuviera determinada solo por los detalles constructivos del dispositivo, se remontan a propuestas de Daniell y Clark hacia mediados del siglo XVIII. Estas pilas adolecían de ciertos problemas, principalmente del efecto de la temperatura. Su tensión variaba con cambios en la temperatura ambiente, y la recuperación de la pila era sumamente lenta. En 1893, Edward Weston patentó un par de pilas patrones, basadas en electrodos de mercurio y amalgamas de cadmio, usando como electrolito soluciones de sulfato de cadmio. La tensión desarrollada era de 1.018 V, valor que se popularizó en los laboratorios eléctricos, aun hasta nuestros días. En poco tiempo este invento fue reconocido como un gran avance para las mediciones eléctricas, siendo reconocido como patrón de tensión por varias organizaciones científicas.

Estas pilas mantienen su tensión dentro de variaciones de unos pocos millonésimos de volt, durante décadas, siempre y cuando sean bien cuidadas. Deben permanecer en ambientes a temperatura constante, no recibir golpes ni vibraciones, ni ser sometidas a descargas. En general, se usaba mantener bancos de unas 10 pilas, las que se comparaban entre sí periódicamente (tarea suma-



Alessandro Volta

mente pesada para los metrólogos).

A partir de la década de los 80 del siglo pasado, comienzan a popularizarse las fuentes patrones Zeners. Estas fuentes electrónicas mantienen tensión constante en su salida, a partir de principios diferentes. Dispositivos especiales semiconductores pueden generar tensiones de valores de 1 V y 10 V con estabilidades similares a las pilas Weston y sin sus inconvenientes. Ellas son robustas, admiten ser transportadas sin mayores cuidados, e incluso es posible extraer corriente sin que su valor se altere. Son los patrones de trabajo preferidos

actualmente, habiendo desplazado casi totalmente a las pilas. Solo algunos laboratorios que venían manteniendo bancos de pilas por muchas décadas, los mantienen operativos.

Tanto los patrones del tipo pilas como los de tipo fuentes Zener necesitan ser contrastados periódicamente, pues sus tensiones de salida varían con el tiempo. Estas variaciones son, en general, acumulativas, esto es aumentan permanentemente.

Simultáneamente se desarrollaron los patrones Josephson, los que por no tener partes que envejezcan ni varíen, constituyen el ideal de patrón. La razón por la cual no han desplazado a las fuentes Zener radica en la casi imposibilidad de su traslado, y su muy alto costo. Es así que actualmente conviven ambos tipos de patrones, unos usados en el trabajo diario de los laboratorios, y otros como soporte de la cadena de trazabilidad del volt. Las pilas patrones y fuentes Zener son, en última instancia, contrastadas contra patrones Josephson.