

# Intercomparación de transformadores de medida de corriente

D. Slomovitz, *Senior Member, IEEE*, A. Santos

**Resumen**—Este trabajo describe en forma somera las intercomparaciones internacionales que los laboratorios de calibración y ensayo deben realizar periódicamente, en acuerdo con los requisitos internacionales de calidad vigentes (ISO 17025). El Laboratorio de UTE mantiene, entre otros, los patrones nacionales de relación de corriente y tensión. Es por esta razón que el laboratorio debe participar en intercomparaciones internacionales de estos dispositivos eléctricos (transformadores de medida de corriente y tensión). Se presentan en este trabajo algunos detalles de la próxima intercomparación de transformadores de corriente en el ámbito del SIM (Sistema Interamericano de Metrología). Ésta organización agrupa los Laboratorios Nacionales de los países de las Américas, asociados a esta organización.

**Palabras clave**— Error, relación de transformación, intercomparación internacional, transformador de medida.

## I. NOMENCLATURA

BIPM Bureau Internacional de Pesas y Medidas  
 CIPM Conferencia Internacional de Pesas y Medidas  
 MRA Acuerdo de Reconocimiento Mutuo  
 NMI Institutos metrologicos Nacionales  
 KCDB Key Comparison Data Base  
 SIM Sistema Interamericano de Metrología  
 CRV Valor de referencia de la intercomparación

## II. INTRODUCCIÓN

Una intercomparación internacional consiste en la circulación de un elemento patrón por todos los laboratorios intervinientes, el cual es medido en cada laboratorio siguiendo sus propios métodos y utilizando sus propios equipamientos [1]. Los resultados de esta medida, y sus incertidumbres, son comparados contra un valor de referencia.

Este valor de referencia se obtiene de estudios estadísticos de los datos aportados por los distintos laboratorios. De la comparación de los datos individuales contra este valor de referencia, surge la equivalencia de las medidas realizadas por los distintos laboratorios. De los resultados de cada

laboratorio, en la intercomparación, se evalúa la calidad de la medida de dicho laboratorio, lo que es fundamental para mantener el reconocimiento internacional de capacidad técnica para realizar las mediciones.

Una intercomparación en transformadores de corriente está proyectada para realizarse en el año 2011. El Laboratorio de UTE actuará como laboratorio piloto en la misma. Esto es, será responsable de organizar y conducir todas las tareas y los cálculos de equivalencia de los resultados.

## III. INTERCOMPARACIONES

En esta sección se brindara una rápida explicación sobre las tareas inherentes a la realización de una Intercomparación Internacional.

### A. Organización Internacional de la Metrología

El organismo Internacional rector de las actividades metrologicas es el BIPM. Uruguay es firmante del MRA, en el ambito del BIPM por lo cual los NMI de los países firmantes tienen la obligación de publicar sus capacidades de medida en la KCDB, una base de datos mantenida por el CIPM. Las capacidades allí publicadas son declaradas como válidas por toda la estructura mundial del BIPM. Las NMI son agrupadas por regiones EUROMET (Europa), SIM (América) [2], etc. A su vez el SIM esta subdividido en regiones, Noramet (Estados Unidos, Canadá, México), Camet (Centroamérica), Andimet (Bolivia, Perú, Colombia Venezuela, Ecuador), Suramet (Brasil, Argentina, Paraguay, Uruguay), Carimet (países del Caribe)

### B. ¿Por qué una intercomparación internacional?

La intercomparación Internacional en una magnitud es una de las herramientas empleadas por el CIPM para poder establecer la capacidad técnica de los diferentes NMI, en la realización de cada una de las magnitudes; y así establecer las relaciones de equivalencia entre las medidas realizadas en un laboratorio y otro. Por tanto, cada laboratorio está obligado a presentar internacionalmente sus capacidades de medida en las diferentes magnitudes que aparecen publicadas en la KCDB .

D. Slomovitz trabaja en el Laboratorio de UTE, Montevideo, Uruguay (e-mail: d.slomovitz@iecc.org).

A. Santos trabaja en el Laboratorio de UTE, Montevideo, Uruguay (e-mail: asantos@ute.com.uy).

### C. ¿Por qué una intercomparación en transformadores de medida?

En la actualidad, con la aplicación del nuevo marco regulatorio en el mercado eléctrico, Han surgido empresas dedicadas a la generación y venta de energía eléctrica [3], por lo que se hacen necesarias actividades de metrología en la habilitación de los nodos de medida de energía de los diferentes emprendimientos en esta materia. En estas actividades está comprendida la calibración de los transformadores de medida (de potencial y de corriente), así como otros parámetros de la instalación de los nodos. Estas actividades deben extenderse a los nodos de interconexión internacional y a los de la empresa distribuidora. Por esto, tener bien determinada la trazabilidad en la calibración de los transformadores y la capacidad de medida se hace imprescindible para el aseguramiento de la calidad de la medida.

### D. Intercomparaciones en esta área en la actualidad

En esta área de la metrología, si bien es muy conocida, no han sido desarrolladas muchas intercomparaciones internacionales en el ámbito del CIPM. Sí, hay muchas intercomparaciones en medida de potencia y energía, pero solo una de transformadores de corriente en el ámbito EUROMET [5], y una bilateral entre NRC (Canadá) y KRIS (Korea) [6]. La intercomparación que se está organizando sería la primera en el ámbito del SIM.

### E. Confección del protocolo de la intercomparación

El Laboratorio de UTE, actuando como laboratorio piloto, será el encargado de la confección del protocolo de la intercomparación, el cual es sometido a revisión por todos los laboratorios intervinientes. El protocolo es el documento por el cual se rige la intercomparación, en el que se establecen los lineamientos generales, las especificaciones técnicas del patrón de transferencia, las capacidades técnicas mínimas que deben tener los laboratorios intervinientes, el método por el cual se obtendrá el valor de referencia (fuente de equivalencia de las diferentes medidas), así como si tienen trazabilidad propia o están referidos a un patrón internacional. El valor de referencia se calcula utilizando promedios ponderados por las incertidumbres, de acuerdo a si se tiene trazabilidad propia o referida a otro patrón. Se definen los rangos a ser medidos, la frecuencia a las que se realizará la calibración, las planillas de presentación de los resultados obtenidos y sus incertidumbres, todos los detalles concernientes a cronogramas, traslados, despachos aduaneros y manejo del patrón de transferencia.

## IV. EXTRACTO DEL PROTOCOLO

El objetivo de esta intercomparación es comparar las capacidades de medida de los NMI, en el SIM, en el campo de las calibraciones de los transformadores de corriente. Esta acción está destinada a determinar el grado de equivalencia de las medidas llevadas a cabo por los diferentes NMI en la determinación de los errores en módulo y fase de los transformadores de medida. Los puntos de medida propuestos fueron seleccionados tanto para evaluar las capacidades de medida, como los métodos de medida utilizados.

### A. Patrón de referencia

#### Requerimientos generales

El Laboratorio de UTE, Laboratorio piloto de esta intercomparación, usa un puente de determinación de errores (Puente Dr. Hohle) y un transformador marca Conimed tipo TN 1205 como patrón de referencia. Este transformador es trazable a patrones primarios [4].

Criterio de participación. Para la participación en la intercomparación los participantes deberán poseer una capacidad de medida (incluida su referencia), con una incertidumbre igual o menor a  $200 \times 10^{-6}$  en error de módulo y menor a 200  $\mu$ rad en error de fase.

#### Descripción del patrón de transferencia

Un transformador de corriente marca ZERA N° 52-123-2, modelo TMI 7115 será utilizado como patrón de transferencia. Los detalles técnicos del patrón son detallados en el anexo 1.

### B. Cantidades a ser medidas

Los participantes deberán medir los errores de relación de transformación, de módulo y fase, de acuerdo con este documento. Las definiciones de estos parámetros están de acuerdo con la norma IEC60044-1, apartado 2.1.10 y 2.1.11 [7]. El error de módulo debe ser expresado en partes en  $10^6$  y el error de fase en  $\mu$ rad.

#### Definiciones

Error en corriente (error de relación de transformación) es el error que introduce el transformador en la medida de corriente, y que proviene del hecho de que verdadero valor de la relación de transformación no es igual al valor nominal.

$$\text{Error en corriente} = \frac{(Kn \cdot Is - Ip)}{Ip} \quad (1)$$

donde

$Kn$  es la relación de transformación nominal.

$Ip$  es la corriente primaria real.

$Is$  es la corriente secundaria real cuando circula  $Ip$  en el primario.

Error de fase es la diferencia de fase entre los vectores de la corriente primaria y la secundaria, la que vale cero para un transformador ideal. El error de fase se dice positivo cuando el vector de la corriente secundaria adelanta al vector de la corriente primaria. Las incertidumbres se deberán expresar en las mismas unidades que el error de módulo y fase, es decir partes en  $10^6$  y  $\mu\text{rad}$  respectivamente.

Los participantes deben medir los errores en diferentes relaciones y corrientes primarias, de acuerdo con este documento.

### C. Método de cálculo del valor de referencia

Los resultados de las medidas de todos los participantes que sean independientes serán utilizados para calcular el valor de referencia de la intercomparación. El CRV será calculado como la suma de los promedios ponderados de acuerdo a:

$$X_{CRV} = \sum_{i=1}^n w_i m_i \quad (2)$$

donde  $m_i$  es el valor del error de relación o de fase informado por el laboratorio  $i$  en partes en  $10^6$  o  $\mu\text{rad}$ ,  $n$  es el número de laboratorios intervinientes con resultados de medidas independientes, y  $w_i$  es determinado de acuerdo con

$$w_i = \frac{\frac{1}{u_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u_i^2}} \quad (3)$$

Donde  $u_i$  es la incertidumbre asociada con el resultado de la medida  $m_i$ , en partes en  $10^6$  o  $\mu\text{rad}$ .

### D. Organización

El Laboratorio de UTE será el laboratorio piloto. El patrón de transferencia comenzará allí la ronda de intercomparación, viajara por la región a todos los laboratorios participantes, y luego retornará, siendo a su retorno nuevamente calibrado, dando por finalizada así la ronda.

#### Cronograma

El patrón de referencia permanecerá en cada NMI alrededor de 6 semanas para su calibración.

#### Transporte

Se propone el uso de servicios Courier. Los laboratorios deberán usar reconocidos servicios de transporte. El laboratorio piloto deberá proporcionar una carta de negocios con las características y costos del patrón. Esta carta debe acompañar al patrón durante toda la ronda. El laboratorio que envía el patrón debe informar al coordinador vía email (con copia al coordinador) cuando el patrón está listo para su envío al siguiente laboratorio interviniente. Se usará la forma del anexo 6 como adjunto en formato PDF. El envío debe ser coordinado con antelación entre los laboratorios, de modo de permitir que el laboratorio que recibe arregle los documentos de importación de acuerdo a las leyes de los países de los laboratorios intervinientes. El laboratorio que envía el patrón cubre los costos de envío, incluidos los seguros. Cada laboratorio participante debe cubrir los costos dentro de su respectivo país.

#### Envío y manejo

El transformador de transferencia debe ser embarcado en un contenedor apropiado. Se controlará la forma en que el contenedor arriba al laboratorio, asegurarse de empacarlo adecuadamente en el momento de enviarlo al siguiente. Cada laboratorio deberá empacar y reenviar el patrón de transferencia al siguiente laboratorio. Cada laboratorio deberá informar a todos los participantes cuando el patrón de transferencia arribe a su laboratorio.

#### Lista de partes

El contenedor de transporte contiene:

Un transformador patrón

Marca: ZERA

Modelo TMI7115

Numero de serie: 52-123-2

2 llaves de tuerca apropiadas para el ajuste de los terminales

Fotografías del transformador patrón son incluidas en el anexo 8. Verificar que todas las partes declaradas lleguen a su laboratorio.

#### Fallas en el transformador de transferencia

Luego del arribo del patrón de transferencia, verifique si ha ocurrido algún daño causado durante el transporte. Verifique especialmente si el contenedor ha recibido algún daño. En caso de daño el laboratorio piloto deberá ser inmediatamente informado.

#### Asuntos financieros y seguros

Cada laboratorio participante deberá cubrir los costos de envíos, embarque, transporte, seguros y aduanas.

### E. Instrucciones de medida

#### Inspección previa a las medidas

Inspeccione el exterior del contenedor de transporte, en busca de algún signo de daño. Abra el contenedor por los lados

indicados superior y lateral, compruebe que el transformador y los accesorios están en buenas condiciones. El transformador debe ser retirado del contenedor para su ensayo. El anexo 6 debe ser llenado y enviado al laboratorio piloto luego de recibido el patrón.

#### Medidas

Los laboratorios deben llevar a cabo medidas en error de relación, tanto en módulo como en fase, con trazabilidad, por cualquier método apropiado. Las relaciones medidas serán, 5 A, 10 A, 50 A, 100 A, 500 A, 1000 A de corriente primaria, a 5 A. de corriente secundaria. Los valores de corriente a los que se determinarán los errores serán, 1%, 5%, 20%, 100% y 120% de la corriente nominal. La frecuencia de calibración, será 50 Hz, o 60 Hz, o ambas. La carga a la que se realizara la calibración será de 1 VA,  $\cos \varphi = 1$ . La temperatura ambiente de calibración deberá ser medida y registrada. El transformador deberá ser desmagnetizado, previo a su calibración.

#### Resultados de las medidas y sus incertidumbres

Los resultados deberán ser proporcionados al laboratorio piloto de acuerdo al anexo 5. Este anexo muestra la tabla que debe ser llenada. Informar el promedio de al menos 5 lecturas por cada punto de medida. La incertidumbre debe ser también proporcionada al laboratorio piloto junto con los resultados de acuerdo con la guía ISO de Expresión de Incertidumbres de las Medidas [8]. El anexo 2 muestra un ejemplo de planilla de incertidumbres. Si los resultados son enviados, los mismos serán publicados en los resultados de la intercomparación. No envíe resultados que no desee que sean publicados. Vea el anexo 5 para el envío de los resultados. Incluya los datos de su trazabilidad en la calibración de transformadores de corriente.

#### Informe de las medidas

Los resultados deberán ser enviados al laboratorio piloto dentro de las dos semanas luego de haber sido enviado el transformador de transferencia al siguiente laboratorio interviniente. Se deberá incluir: descripción del método de medida, (confirmar si es el mismo declarado en las CMC), descripción del sistema de medida (si es posible incluya esquema), descripción de la fuente de trazabilidad al SI. Especifique si es independiente, incluyendo información de los patrones de referencia.

Por resultados de las medidas, incluidas las incertidumbres, ver Anexo 5. Por planilla de incertidumbres ver Anexo 2.

#### Informe de la intercomparación

Los borradores A, y B serán de responsabilidad del comité revisor, siguiendo la guía del BIPM para las intercomparaciones.

#### Referencias

- [1] *SIM Comparison of DC Resistance Standards At 1  $\Omega$ , 1 M  $\Omega$ , and 1 G  $\Omega$* . D. G. Jarrett, Senior Member, IEEE, R. E. Elmquist, Senior Member, IEEE, N. F. Zhang, A. Tonina, M. Porfiri, J. Fernandes, H. Schechter, D. Izquierdo, C. Faverio, D. Slomovitz, D. Inglis, K. Wendler, F. Hernandez, and B. Rodriguez
- [2] *Intercomparación multilateral de potencia eléctrica, entre los Laboratorios Nacionales de Alemania, Argentina, Brasil y Uruguay*. D. Izquierdo, C. Faverio, D. Slomovitz, W. G. Kürten Ihlenfeld, UTE, 2PTBlabute@ute.com.uy, Guilherme.Ihlenfeld@ptb.
- [3] *IEEE, 7° encuentro de Energía, Potencia, Instrumentación y Medidas. 16 y 17 de Octubre del 2008, Montevideo-URUGUAY. PAG 84, VALIDACIÓN DE PUESTOS DE MEDIDA DE ENERGÍA*. Luis Astesiano, Alfredo Spaggiari LABORATORIO de UTE, Montevideo, Uruguay
- [4] *EPIM 2010 Desarrollo de un transformador de corriente patrón primario*. D. Slomovitz, Senior Member, IEEE, A. Santos dslomovitz@ute.com.uy
- [5] *EUROMET EM-S11 Comparison of current transformers (March 2009)*
- [6] *KRISS-NRC Intercomparison of calibration systems for Instruments Transformers with many diferents ratios (June 2009)*
- [7] *IEC 60044-1 Instrument Transformers—Part 1: Current transformers, IEC Std. 60 044-1, 1996.*
- [8] *GUIDE TO EXPRESSION OF UNCERTAINTY IN MEASUREMENT BIPM IEC IFCC ISO*

## V. BIOGRAFIAS



**Alejandro Santos** nació en Montevideo, Uruguay, en 1959. Recibió el título de Perito en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de la República, Uruguay, en 1983 y el grado del Ingeniero Eléctrico de la misma universidad en 2003. Trabaja en el Laboratorio de UTE como Ingeniero, y está actualmente a cargo de la Sección Baja Tensión. Ha llevado a cabo investigaciones en el campo de transformadores de medición.



**Daniel Slomovitz** (M'86–SM'89) nació en Montevideo, Uruguay, en 1952. Recibió el título de Ingeniero Eléctrico en 1977 y Doctor en Ingeniería en 2000, en la Universidad de la República, Uruguay. Actúa como Profesor Catedrático en la misma universidad. En 1977, se incorporó al Laboratorio de UTE como Ayudante de Ing., ocupando actualmente el cargo de Jefe del Laboratorio. Ha llevado a cabo investigación en mediciones de baja frecuencia y alto voltaje, habiendo publicado más de 80 trabajos y el libro "Mediciones Eléctricas" del IEEE.