



INNOTEC

ISSN: 1688-3691

ISSN: 1688-6593

innotec@latu.org.uy

Laboratorio Tecnológico del Uruguay
Uruguay

González Vannucchi, Julio; Rodríguez de la Cruz, Néstor Juan;
Espinosa Bejarano, Carlos; Batista Donastorg, Juan Rafael; Mesa
Niña, Jerry Irvam; Engelmán, Jaime Estrella; García Tovar, Saúl
Comparación interlaboratorio en medición de energía eléctrica en Panamá y República
Dominicana: un ejercicio clave para mantener la confianza y el reconocimiento internacional
INNOTEC, núm. 27, e660, 2024, Enero-Junio
Laboratorio Tecnológico del Uruguay
Montevideo, Uruguay

DOI: <https://doi.org/10.26461/27.07>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=606177611007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante
Infraestructura abierta no comercial propiedad de la academia

Comparación interlaboratorio en medición de energía eléctrica en Panamá y República Dominicana: un ejercicio clave para mantener la confianza y el reconocimiento internacional

Interlaboratory comparison for electric energy in Panama and the Dominican Republic: a key exercise to maintain confidence and international recognition

Comparaçãointerlaboratorial em mediçãode energia elétrica no Panamá e na República Dominicana: um exercício fundamental para manter a confiança e reconhecimento internacional

 JULIO GONZÁLEZ VANNUCCHI (1)

 NÉSTOR JUAN RODRÍGUEZ DE LA CRUZ (2)

 CARLOS ESPINOSA BEJARANO (1)

 JUAN RAFAEL BATISTA DONASTORG (2)

 JERRY IRVAM MESA NINA (2)

 JAIME ESTRELLA ENGELMANN (1)

 SAÚL GARCÍA TOVAR (1)

(1) Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP), Ciudad de Panamá, Panamá.

(2) Instituto Dominicano para la Calidad (INDOCAL), Santo Domingo, República Dominicana.

RECIBIDO: 23/5/2024 → APROBADO: 24/6/2024  jgonzalez@cenamep.org.pa

RESUMEN

Este artículo describe los resultados de una comparación entre dos laboratorios nacionales de metrología, ubicados en Panamá y República Dominicana, con mediciones de energía eléctrica realizadas desde agosto hasta octubre de 2023. La intercomparación se desarrolló con el objetivo de respaldar las capacidades de medición y calibración (CMC) del INDOCAL (República Dominicana) en la magnitud de energía eléctrica, específicamente para el servicio de calibración de patrones de dicha magnitud. Para ello se realizó la comparación de sus resultados de medición contra aquellos emitidos por un laboratorio con CMC reconocidas y publicadas en la base de datos del Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), en este caso el CENAMEP AIP (Panamá). Debido a que los participantes tuvieron de manera consistente un $E_n < 1$, no fue necesario implementar acciones correctivas en los laboratorios participantes para la mejora de sus procesos

de calibración de patrones de energía eléctrica. Con los resultados de este estudio se fortalece la confianza de la gestión técnica de los dos laboratorios participantes y, en consecuencia, de la infraestructura nacional de la calidad en ambos países.

Palabras clave: incertidumbre, error normalizado, patrón de referencia, trazabilidad.

ABSTRACT

This article describes the results of a comparison between two national metrology laboratories, located in Panama and the Dominican Republic, regarding electrical energy measurements carried out from August to October 2023. The intercomparison was developed with the objective of supporting calibration and measurement capabilities (CMC) of INDOCAL (Dominican Republic) in the magnitude of electrical energy, specifically for the calibration service of standards of this magnitude. To this purpose, the comparison of their measurement results was carried out against those issued by a laboratory with a recognized CMC and published in the database of the International Bureau of Weights and Measures (BIPM), in this case CENAMEP AIP (Panama). Because the participants consistently had an $E_n < 1$, it was not necessary to implement corrective actions in the participating laboratories to improve their electrical energy standard calibration processes. The results of this study strengthen the confidence of the technical management of the two participating laboratories and, consequently, of the national quality infrastructure in both countries.

Keywords: normalized error, reference standard, traceability, uncertainty.

RESUMO

Este artigo descreve os resultados de uma comparação entre dois laboratórios nacionais de metrologia, localizados no Panamá e na República Dominicana, com medições de energia elétrica realizadas de agosto a outubro de 2023. A intercomparação foi desenvolvida com o objetivo de apoiar capacidades de medição e calibração (CMC) do INDOCAL (República Dominicana) na magnitude de energia elétrica, especificamente para o serviço de calibração de padrões dessa magnitude. Para tanto, foi realizada a comparação de seus resultados de medição com aqueles emitidos por um laboratório com CMC reconhecidos e publicados na base de dados do Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM), neste caso o CENAMEP AIP (Panamá). Como os participantes tiveram consistentemente $E_n < 1$, não foi necessário implementar ações corretivas nos laboratórios participantes para melhorar seus processos de calibração de padrões de energia elétrica. Os resultados deste estudo fortalecem a confiança da gestão técnica dos dois laboratórios participantes e, conseqüentemente, da infraestrutura nacional de qualidade dos dois países.

Palavras-chave: erro normalizado, incerteza, padrão de referência, rastreabilidade.

INTRODUCCIÓN

La Norma ISO/IEC 17025:2017, en su numeral 7.7.2 inciso b, establece que las comparaciones interlaboratorios y los ensayos de aptitud son una herramienta valiosa para asegurar el control de la calidad y la validez de los resultados de los ensayos y calibraciones llevados a cabo por un laboratorio determinado (International Organization for Standardization, 2017).

El Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP) y el Instituto Dominicano para la Calidad (INDOCAL), en cumplimiento con lo establecido por dicha norma y con el fin de evaluar la calidad de sus mediciones, realizaron una comparación interlaboratorio en la magnitud de energía eléctrica, específicamente para el servicio de calibración de patrones de energía eléctrica. Esta comparación se desarrolló del 30 de agosto al 23 de octubre del año 2023.

Por su parte, este estudio se realizó visualizando a la infraestructura de la calidad (IC) como el marco referencial para el desarrollo económico y social tanto de Panamá como de República Dominicana. En ambos países, la IC es considerada como parte de toda su infraestructura, con el mismo nivel de jerarquía que tienen las carreteras, los hospitales, los centros de educación, los sistemas de transporte y las redes de distribución eléctrica, entre otros recursos. Esta consideración se observa, por ejemplo, en el documento “Visión Metrológica Panamá 2050” (Centro Nacional de Metrología de Panamá, CENAMEP AIP, 2023), así como también en el “Plan Estratégico Institucional 2021-2024” de la República Dominicana (Instituto Dominicano para la Calidad, INDOCAL, 2021), en el que la meta es claramente la inserción competitiva en la economía global y el bienestar social.

Adicionalmente, cuando la IC funciona de manera adecuada apoya al desarrollo industrial, la competitividad del comercio, el uso eficiente de los recursos naturales, la seguridad alimentaria, la salud y el combate al cambio climático (Canelas-Santiesteban et al., 2022). En este mismo sentido, un sistema confiable de la IC depende de las interacciones efectivas entre una serie de iniciativas, instituciones (públicas y privadas), actividades y personas. Dichas instituciones pueden ser las entidades regulatorias, los organismos evaluadores de la conformidad, las entidades de normalización y reglamentación técnica, los laboratorios de prueba y los laboratorios de calibración, entre otras.

El CENAMEP AIP, en su calidad de Laboratorio Nacional de Metrología, y como uno de los actores claves de la IC en Panamá, tiene entre sus funciones establecer comparaciones interlaboratorios para mejorar o evidenciar la competencia técnica de los laboratorios de calibración y ensayos (Panamá, 2007). De igual modo, el INDOCAL está llamado al apoyo a la IC a través de su “Política No. 22. El desarrollo industrial, una prioridad”, tal como se menciona en su Plan Estratégico Institucional 2021 – 2024 (Instituto Dominicano para la Calidad, INDOCAL, 2021).

La energía eléctrica es fundamental para muchos aspectos de la vida en la sociedad moderna y lo será aún más a medida que se amplíe su papel en la logística, el transporte, la comunicación y la calefacción. Se estima que la demanda global de la energía para el 2025 aumentará en 2500 TWh con respecto a la demanda del 2022; y, partiendo de estas aseveraciones incluidas en el Electricity Market Report (International Energy Agency, 2023), se espera que los países realicen esfuerzos para monitorear y evaluar factores como la disponibilidad, el acceso y la calidad del suministro eléctrico que recibe la población.

En este sentido, garantizar una adecuada medición de esta magnitud (así como de los parámetros ligados a ella), toma alta relevancia y es en este momento en que la metrología, a través de mediciones confiables en los laboratorios nacionales, debe garantizar la equidad en las transacciones de compra y venta de energía eléctrica. Estas transacciones van desde la correcta facturación por el consumo de energía en los hogares hasta los grandes acuerdos comerciales de compra y venta entre la industria y las empresas distribuidoras, así como aquellas transacciones realizadas entre países a través de los organismos regionales de transmisión de la energía eléctrica.

En este artículo se describen los resultados de la comparación realizada entre dos laboratorios nacionales de metrología: el CENAMEP AIP y el INDOCAL. El objetivo primordial de esta intercomparación fue respaldar las capacidades de medición y calibración (CMC) del INDOCAL en la magnitud de energía eléctrica, específicamente para el servicio de calibración de patrones de energía eléctrica, mediante el análisis estadístico y evaluación de los resultados emitidos por el INDOCAL contra los emitidos por el CENAMEP AIP, quien posee su CMC publicada y reconocida internacionalmente por el BIPM.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sobre el protocolo de la comparación

El marco de trabajo bajo el cual se realizó la comparación interlaboratorio fue establecido en un documento previamente elaborado, denominado protocolo de comparación. El objetivo de este protocolo fue contar con una hoja de ruta mutuamente acordada que sirviera como guía de trabajo para las actividades y los aspectos técnicos más importantes de la comparación llevada a cabo en ambos laboratorios.

El CENAMEP AIP se encargó de elaborar el protocolo y el documento fue presentado, discutido y acordado en reuniones virtuales desarrolladas entre los participantes. Algunos de los tópicos incluidos en el documento final fueron: objetivo de la comparación, requisitos de participación, cronograma de participación, descripción del patrón viajero, instrucciones generales de medición, valor de referencia de la comparación, método de evaluación de desempeño a utilizar, plantillas para el reporte de los resultados y su confidencialidad, e informe final. Estos aspectos se describen en las siguientes secciones.

Laboratorios participantes y patrón viajero

Las dos entidades participantes fueron el Laboratorio Nacional de Mediciones Eléctricas del Instituto Dominicano para la Calidad (INDOCAL) y el Laboratorio Primario de Energía y Potencia (E2) del CENAMEP AIP. Este último organizó y coordinó las actividades de la comparación, así como también proporcionó el patrón viajero y sus valores de referencia. Para la comparación se utilizó un patrón de energía y potencia eléctrica monofásico de clase 0.01, marca Radian Research, Inc., modelo RD-23-433. Las principales características técnicas del patrón viajero empleado en este estudio se presentan en la Tabla 1.

TABLA 1. Información del patrón viajero empleado en esta intercomparación.

Características	Información del patrón
Modelo	Radian Research, Inc., RD-23-433
Entrada de corriente	0.2 A - 67 A
Entrada de tensión	30 V - 630 V, auto rango
Frecuencia	45 Hz - 75 Hz
Ángulo de fase	0° a 360°
Constante Kh	100 000 imp/Wh
Temperatura	20 °C - 30 °C
Alimentación eléctrica	120 V - 240 V, 50 Hz - 60 Hz

Puntos de comparación

En la Tabla 2 se presentan los parámetros medidos durante la intercomparación, los mismos que fueron acordados por los dos laboratorios participantes. En dicha tabla, los caracteres FP representan el factor de potencia, donde FP 1.0 corresponde al factor de potencia unitario, FP 0.5i corresponde al factor de potencia 0.5 inductivo y FP 0.5c corresponde al factor de potencia 0.5 capacitivo.

TABLA 2. Puntos de comparación empleados en el estudio en los dos países.

Número	Tensión (V)	Corriente (A)	Factor de potencia (FP)
1	120	0.5	1.0
2	120	5.0	1.0
3	120	5.0	0.5i
4	120	5.0	0.5c
5	120	10.0	1.0
6	120	10.0	0.5i

Cabe indicar que para todas las mediciones sólo se utilizó la fase A del patrón RD-23-433 y una frecuencia de 60Hz.

Programa de la comparación y metodología

El programa de participación de los dos laboratorios en esta comparación tuvo como punto de origen al CENAMEP AIP (como laboratorio piloto), para luego continuar en el INDOCAL y finalmente retornar al CENAMEP AIP. El traslado del patrón viajero durante la comparación tuvo como responsabilidad primaria al INDOCAL; para ello, envió a su personal técnico

del Laboratorio Nacional de Mediciones Eléctricas a retirar y posteriormente a devolver dicho patrón a las instalaciones físicas del CENAMEP AIP, en Ciudad de Panamá. Mediante esta modalidad de traslado, se agilizó y cumplió con el cronograma trazado para la comparación. Finalmente, se realizó una medición final en el CENAMEP AIP (piloto), para asegurar la ausencia de posible deriva por el traslado del equipo. Las fechas de participación para las mediciones en cada uno de los laboratorios fueron:

- En el Laboratorio Primario de Energía y Potencia (E2) del CENAMEP AIP: del 30 de agosto al 10 de octubre de 2023.
- En el Laboratorio Nacional de Mediciones Eléctricas del INDOCAL: del 13 al 19 de octubre de 2023.

Método y trazabilidad de las mediciones por participante

En el protocolo de la comparación, se acordó dentro del alcance y requisitos de participación que el laboratorio participante debía ostentar la capacidad técnica e instrumental, para ejecutar el servicio de calibración de patrones de energía eléctrica de una clase de exactitud de 0.05 %. Adicionalmente, el laboratorio debía emplear un sistema de medición basado en el método de comparación directa de pulsos entre los emitidos por un equipo bajo prueba, contra los registrados o contabilizados por un patrón de referencia.

Con base en lo anterior, para la calibración del patrón viajero los participantes utilizaron sus propias instalaciones, equipos y métodos de medición, determinando el error y estimando la incertidumbre asociada para cada uno de los puntos de comparación indicados en la Tabla 2. Por otra parte, en la Tabla 3 se presentan los métodos de calibración y los patrones de referencia utilizados por los participantes con su fuente de trazabilidad.

TABLA 3. Métodos de calibración, patrones y fuente de trazabilidad empleados en el estudio.

Laboratorio	Método	Patrón	Clase	Trazabilidad
INDOCAL	Comparación directa	Radian Research, Inc. RD-22-332	0.005	Radian Research, Inc.* (fábrica)
CENAMEP AIP	Comparación directa	ZERA, COM 3003	0.008	PTB (Alemania)

* Este equipo tiene trazabilidad al National Institute of Standards and Technology, NIST, de Estados Unidos de América.

Cálculo de la incertidumbre: presupuesto

En la Tabla 4 se presenta el presupuesto de incertidumbre para el punto de: 120 V, 5 A y FP 1. En dicho presupuesto se plasman las componentes que se consideraron con base

en el sistema de medida (variación de las indicaciones de error, calibración del patrón de referencia, resolución y deriva del patrón, e influencia de la temperatura).

TABLA 4. Presupuesto de incertidumbre para el punto de medición 120 V, 5 A, FP 1.

Componentes principales de la incertidumbre (yi)	Incertidumbre estándar u(yi)		Método tipo A o B de evaluación/Función de distribución de probabilidad	Coeficiente de sensibilidad (Ci)	Contribución de la incertidumbre u(Ri)		Grados de libertad (ni)
Desviación de las lecturas del patrón viajero	0.4	μWh/VAh	Tipo A (Normal)	1	0.4	μWh/VAh	44
Incertidumbre de calibración estándar	20.0	μWh/VAh	Tipo B (Normal)	1	20.0	μWh/VAh	1000
Resolución del patrón	0.6	μWh/VAh	Tipo B (Rectangular)	1	0.6	μWh/VAh	1000
Deriva del patrón	14.4	μWh/VAh	Tipo B (Rectangular)	1	14.4	μWh/VAh	1000
Coeficiente de temperatura estándar	2.9	μWh/VAh	Tipo B (Rectangular)	1	2.9	μWh/VAh	1000
Suma de raíces cuadráticas de incertidumbres estándar tipo A y grados de libertad efectivos					0	μWh/VAh	7
Suma de raíces cuadráticas de incertidumbres estándar de tipo B y grados de libertad efectivos					25	μWh/VAh	617000
Incertidumbre estándar combinada y grados de libertad efectivos					25	μWh/VAh	613838
Incertidumbre ampliada (factor de cobertura del 95,45%)					50	μWh/VAh	2.0

Procedimientos utilizados

En la Figura 1 se presenta el esquema simplificado del proceso llevado a cabo para el desarrollo de la comparación interlaboratorio en los dos países. Se presentan las etapas, las principales actividades conducidas en ambos laboratorios y sus respectivos entregables.

En términos generales, este estudio tuvo un total de cuatro etapas (planeación; ejecución; análisis y evaluación; y emisión de resultados), con entregables que iniciaron con el protocolo de la comparación hasta la confección del informe final de este estudio (Figura 1).

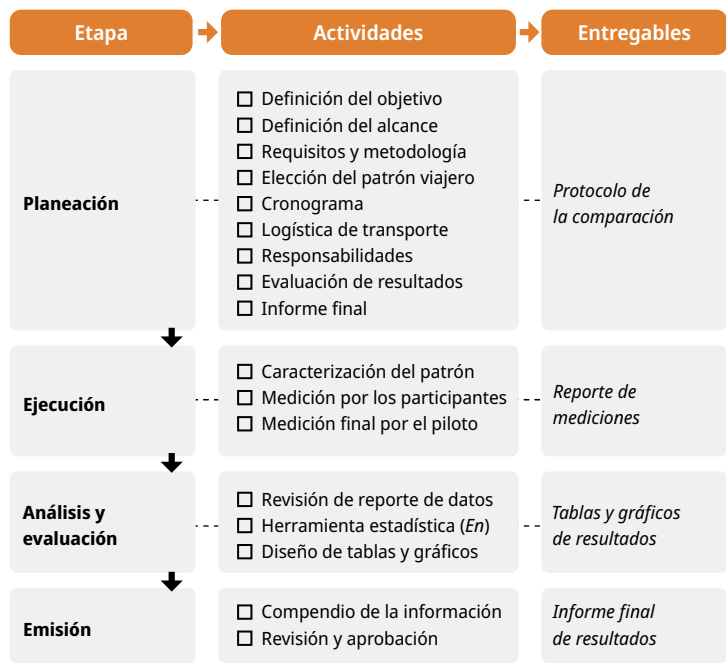


FIGURA 1. Esquema simplificado del proceso realizado en la comparación interlaboratorio en los dos países.

Valor de referencia y aseguramiento de los resultados

Los valores de referencia fueron establecidos por el CENAMEP AIP de acuerdo con lo acordado por los participantes en una reunión inicial de la comparación. Dicho centro, para establecer los valores de referencia realizó mediciones semanales en cada punto de medida al patrón viajero, por un periodo aproximado de un mes, previo al traslado del equipo hacia el INDOCAL (caracterización del patrón).

Adicionalmente, a fin de asegurar los resultados y descartar alguna posible deriva por el traslado del equipo, el CENAMEP AIP realizó también una medición final luego del retorno del patrón y verificó que las diferencias encontradas entre estas mediciones y las realizadas inicialmente se mantuvieran dentro de los niveles de incertidumbres reportadas por el piloto (Figura 1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sobre las comparaciones realizadas

En la Tabla 5 se describen los resultados emitidos por los laboratorios participantes luego de la calibración del patrón viajero. Los errores e incertidumbres asociadas fueron expresados en $\mu\text{Wh}/\text{VAh}$.

TABLA 5. Resultados emitidos por los laboratorios participantes.

Puntos de medición Patrón viajero		Error			Incertidumbre ($k = 2$)		
		0°	+60°	-60°	0°	+60°	-60°
INDOCAL	120 V 0.5 A	26	-	-	59	-	-
	120 V 5.0 A	17	15	19	59	62	62
	120 V 10.0 A	14	-	27	59	-	62
CENAMEP AIP	120 V 0.5 A	15	-	-	50	-	-
	120 V 5.0 A	18	-29	66	50	50	50
	120 V 10.0 A	13	-	64	50	-	50

Cabe indicar que en la Tabla 5, el valor 0° representa un factor de potencia unitario; +60° un factor de potencia 0.5 capacitivo y -60° un factor de potencia 0.5 inductivo.

A continuación, en la Figura 2 se presentan los resultados generados por los dos laboratorios participantes para cada uno de los puntos de prueba.

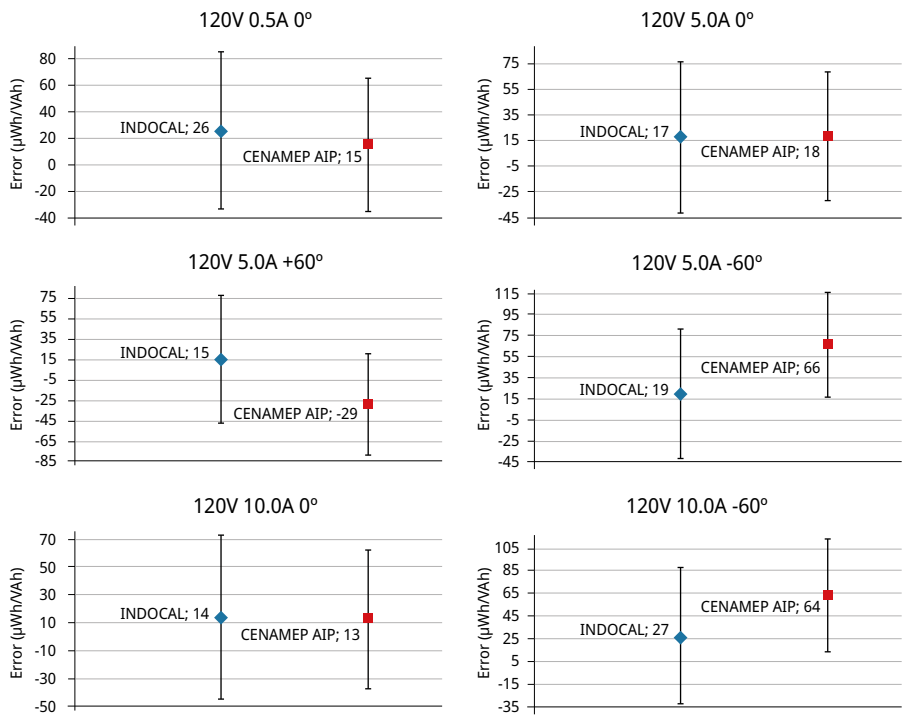


FIGURA 2. Resultados generados por los dos laboratorios participantes (donde 0° representa un factor de potencia unitario; +60° es un factor de potencia 0.5 capacitivo; y, -60° es un factor de potencia 0.5 inductivo).

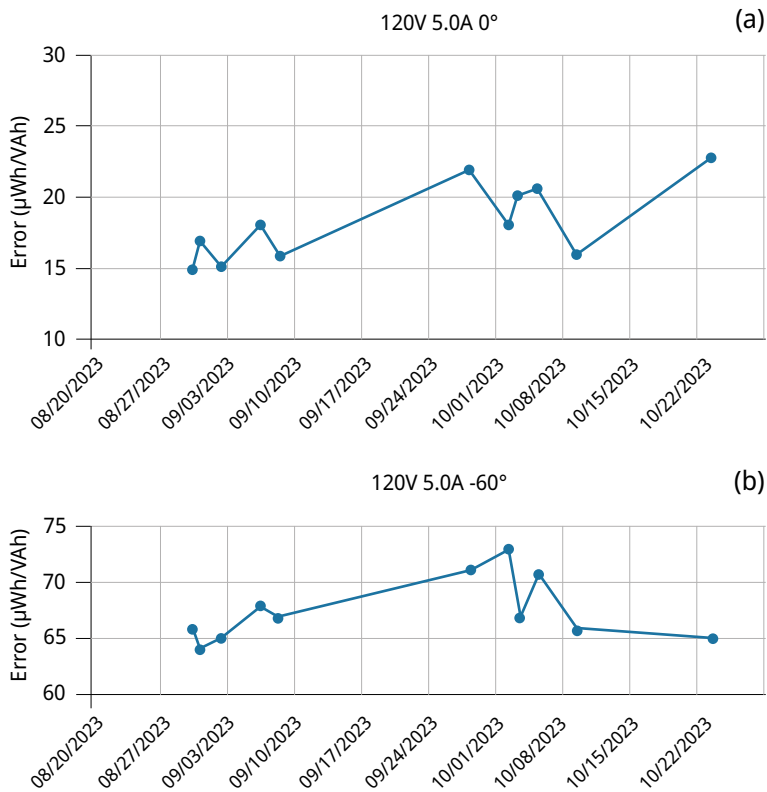
En las seis secciones de la Figura 2, es posible observar los valores de error reportados por cada participante en los distintos puntos de prueba ensayados, donde el punto de

color azul representa el valor de error reportado por el INDOCAL (en $\mu\text{Wh}/\text{VAh}$), mientras que el punto de color rojo corresponde a los errores reportados por el CENAMEP AIP. En ambos casos, las barras que acompañan por ambos lados a los puntos azules y rojos representan los valores de incertidumbre que declararon los laboratorios participantes, INDOCAL y CENAMEP AIP, respectivamente.

Con base en lo establecido y acordado en el protocolo de la comparación, los participantes en ambos países utilizaron la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida JCGM 100:2008 (Joint Committee for Guides in Metrology, 2008) para estimar la incertidumbre de sus mediciones.

Sobre el aseguramiento de los resultados

Para asegurar los resultados de la intercomparación y descartar posible deriva por el traslado del equipo, el CENAMEP AIP realizó una medición luego del retorno del patrón y verificó que las diferencias encontradas entre las mediciones finales y las realizadas inicialmente se mantuvieran dentro de niveles adecuados de incertidumbre. En la Figura 3 se muestra el estudio de deriva realizado al patrón, con mediciones semanales realizadas desde agosto hasta octubre de 2023. Esta última fecha corresponde a la medición realizada al retorno del equipo desde República Dominicana. Se presentan tres imágenes para los puntos de: 120V 5.0A 0°, 120V 5.0A -60° y 120V 5.0A +60°. Las diferencias encontradas entre las mediciones realizadas antes de enviar el patrón, contra las realizadas a su retorno, no superaron los 20 $\mu\text{Wh}/\text{VAh}$.



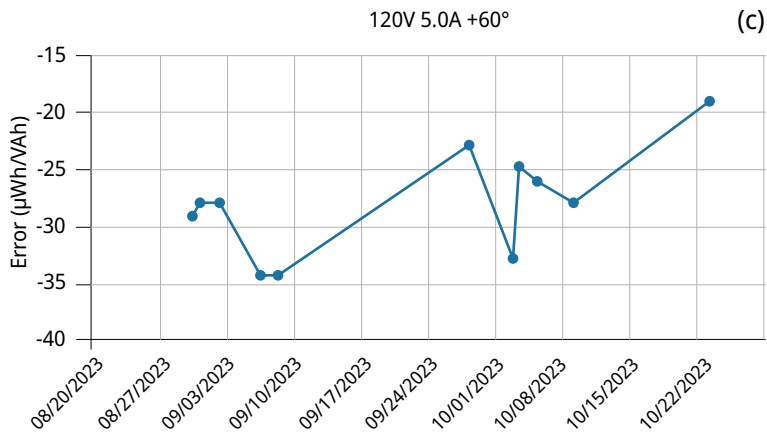


FIGURA 3. Mediciones realizadas para descartar posible deriva por el traslado del equipo. Datos generados para los puntos: (a) 120V 5.0 A 0°, (b) 120V 5.0 A -60° y (c) 120V 5.0 A +60°.

Evaluación de los resultados

Sobre la base de lo acordado y establecido en el protocolo de la comparación, para la evaluación de los resultados se utilizó la herramienta estadística denominada error normalizado (E_n). El error normalizado permite comparar los resultados emitidos por los laboratorios participantes y los emitidos por el laboratorio piloto, considerando las incertidumbres respectivas de ambos asociadas a la medición.

La Norma ISO/IEC 17043:2023 (International Organization for Standardization, 2023) en su Anexo B, acápite B.4.1.3, establece al error normalizado como una de las herramientas estadísticas a utilizar en la evaluación de resultados de una comparación interlaboratorio, mientras que la Norma ISO 13528:2022 (International Organization for Standardization, 2022) en su numeral 9.7.1, lo define mediante la siguiente ecuación:

$$E_n = \frac{|x - X|}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \tag{1}$$

Donde:

E_n = error normalizado.

x = resultados reportados por el laboratorio participante.

X = valor de referencia (resultados del laboratorio piloto).

U_{lab} = incertidumbre expandida del resultado del laboratorio participante.

U_{ref} = incertidumbre expandida del resultado del laboratorio piloto.

De igual manera, según la Norma ISO/IEC 17043:2023 (en su Anexo B, acápite B.4.1.3 literal e) y la Norma ISO 13528:2022 (en su numeral 9.7.2), un valor de $|E_n| > 1.0$ indica que el resultado no es satisfactorio y amerita un adecuado seguimiento y correctivos por parte del participante, a modo de vislumbrar la causa raíz que originó la desviación. En contraste, un valor de $|E_n| \leq 1.0$ indica un resultado satisfactorio.

Con base en lo anterior, para esta comparación, la evaluación del grado de equivalencia entre los laboratorios se calculó mediante la diferencia entre los valores reportados por el laboratorio INDOCAL contra el valor de referencia emitido por el laboratorio piloto (el CENAMEP AIP).

$$D_{CENAMEP - INDOCAL} = X_{CENAMEP} - X_{INDOCAL}$$

(2)

Y, empleando la incertidumbre expandida con factor de cobertura $k = 2$, se genera:

$$U(D_{CENAMEP - INDOCAL}) = \sqrt{u^2(X_{CENAMEP}) + u^2(X_{INDOCAL})}$$

(3)

A partir de esta diferencia y la incertidumbre correspondiente, la ecuación (1) para el cálculo del error normalizado para cada valor nominal de la comparación quedó de la siguiente forma:

$$E_n = \frac{|D_{CENAMEP - INDOCAL}|}{U(D_{CENAMEP - INDOCAL})}$$

(4)

Según lo expuesto, en la Tabla 6 se presentan los grados de equivalencia entre los dos laboratorios participantes.

TABLA 6. Grados de equivalencia entre los dos laboratorios participantes.

Tensión (V)	Corriente (A)	Ángulo (°)	Diferencia CENAMEP - INDOCAL (μWh/VAh)	Incertidumbre expandida (μWh/VAh)	Error normalizado (E _n)
120	0.5	0	-11.3	77	0.1
	5.0	0	0.5	80	0.0
	5.0	-60	47.0	80	0.6
	5.0	+60	-44.7	77	0.6
	10.0	0	-1.1	80	0.0
	10.0	-60	37.3	80	0.5

En la Tabla 6 se puede apreciar que las mayores diferencias entre los errores reportados por los participantes fueron en los puntos de prueba con un factor de potencia 0.5 inductivo (ángulo de -60°) y 0.5 capacitivo (ángulo de 60°), motivo por el cual al aplicar la herramienta estadística del E_n , esos puntos resultaron con valores superiores o iguales a 0.5. En la Figura 2 es posible visualizar estas diferencias.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados reportados por el participante INDOCAL (en la Tabla 5), se calcularon los errores normalizados para cada punto de la comparación. Por otra parte, en la Tabla 6 se plasman estos resultados y se concluye que los mismos son consistentes dentro de la incertidumbre reportada por este laboratorio. Además, dichos datos indican una equivalencia aceptable al compararlos con los resultados emitidos por el CENAMEP AIP (laboratorio piloto), ya que luego de aplicar el estadístico error normalizado (E_n) no se obtuvieron valores superiores a la unidad.

La ausencia de valores no satisfactorios, es decir un $|E_n| > 1.0$, luego de aplicar el error normalizado, constituyó para los laboratorios participantes un respaldo técnico y un incremento en la confiabilidad de sus mediciones y los valores de incertidumbre reportados. Por ello, luego de este ejercicio, no hubo cabida para el levantamiento de algún tipo de acción correctiva.

Ambos laboratorios participantes acordaron que los valores de referencia, para todos los puntos de prueba, fueran establecidos por el CENAMEP AIP, debido a que este laboratorio ha mantenido el reconocimiento y publicación de sus CMC en energía eléctrica por más de 15 años. A ello se suma el hecho de haber participado con resultados satisfactorios en las últimas dos comparaciones a nivel del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) en la magnitud de energía eléctrica: comparaciones SIM.EM-S7 (Carranza et al., 2016) y SIM.EM-S14 (González et al., 2019).

Adicionalmente, con el resultado obtenido en esta comparación, el INDOCAL valida sus capacidades en el servicio de calibración de patrones de energía eléctrica. Esto, sin duda, ayudará a reforzar el rol del INDOCAL como fuente de trazabilidad en lo referente a mediciones de energía eléctrica en República Dominicana y en la región del Caribe, impactando positivamente a toda la infraestructura de la calidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a sus respectivos laboratorios, autoridades y entidades en República Dominicana (INDOCAL) y en Panamá (CENAMEP AIP), por facilitar los recursos de trabajo y la logística para la conducción de esta comparación interlaboratorio; se agradece el apoyo del Ing. Lorenzo Ramírez y del Magister Javier Arias, directores generales de ambas entidades, respectivamente.

El Laboratorio Nacional de Mediciones Eléctricas del Instituto Dominicano para la Calidad (INDOCAL) agradece al personal del CENAMEP AIP por el soporte técnico y logístico durante los procesos de la comparación interlaboratorio. Se agradece también, y de manera especial, el apoyo del INDOCAL, en las manos del Ing. Rubén Neris (director de metrología) y a los colaboradores del Laboratorio Nacional de Mediciones Eléctricas, los ingenieros Analdo Ramírez, Euri Tejada y Wascar García.

Los nombres de los laboratorios participantes y los resultados emitidos son presentados en esta publicación en común acuerdo con todos los participantes y los autores de este artículo científico.

REFERENCIAS

- Canelas-Santiesteban, E.; Harmes-Liedtke, U.; Valqui, A.; Flores-Campos, M.; Lugo, G.; Liewald, W. y Rivadeneira, M., 2022. *Infraestructura de la calidad para la economía circular en América Latina y el Caribe* [En línea]. Quito: Consejo de la Infraestructura de la Calidad de América (QICA). (Documentos para la infraestructura de la calidad de América; 1). [Consulta: 15 de enero de 2024]. Disponible en: <https://qica.site/wp-content/uploads/2023/03/Estudio-IC-EC-ESP-Online-PTB.pdf>.
- Carranza, R.; Campos, S.; Castruita, A.; Nelson, T.; Ribeiro, A.; So, E.; Spaggiari, A.; Slomovitz, D.; Izquierdo, D.; Postigo, H.; Díaz, H.; Sánchez, H.; González, J.; Ramos, R. y Zipaquirá A., 2016. Final Report. Supplementary comparison of 50/60 Hz energy SIM. EM-S7. En: *Metrologia*, (53), 1A 01008.
DOI: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0026-1394/53/1A/01008>.
- Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP), 2023. *Visión metrológica Panamá 2050* [En línea]. Panamá: NOVAPRINT, S.A. ISBN 978-9962-8557-0-5. [Consulta: 19 de enero de 2024]. Disponible en: <https://www.cenamep.org.pa/wp-content/uploads/2023/07/LIBRO%20-%20CENAMEP%20-%20PARA%20PLATAFORMA%20DIGITAL.pdf>.
- González, J.; Espinosa, C. y Halawa, M., 2019. Final report. Bilateral comparison of 50/60 Hz energy SIM. EM-S14. En: *Metrologia*, (56), 1A 01006.
DOI: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0026-1394/56/1A/01006>.
- Instituto Dominicano para la Calidad (INDOCAL), 2021. *Plan estratégico institucional 2021-2024* [En línea]. Santo Domingo: INDOCAL. [Consulta: 19 de enero de 2024]. Disponible en: <https://indocal.gob.do/transparencia/plan-estrategico/>.
- International Energy Agency, 2023. *Electricity market report 2023* [En línea]. París: IEA Publications. [Consulta: 19 de enero de 2024]. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-2023>.
- International Organization for Standardization, 2017. ISO/IEC 17025:2017. *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*. Ginebra: ISO.
- International Organization for Standardization, 2022. ISO/IEC 13528:2022. *Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison*. Ginebra: ISO.
- International Organization for Standardization, 2023. ISO/IEC 17043:2023. *Evaluación de la conformidad - Requisitos generales para la competencia de los proveedores de ensayos de aptitud*. Ginebra: ISO.
- Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG1), 2008. JCGM 100:2008. *Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement* [En línea]. Sèvres Cedex: JCGM. [Consulta: 19 de enero de 2024]. Disponible en: https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf/cb0ef43f-baa5-11cf-3f85-4dcd86f77bd6.
- Panamá. Ley No. 52, de 11 de diciembre de 2007. *Gaceta Oficial Digital* [En línea], 19 de diciembre de 2007, No. 25943. [Consulta: 19 de enero de 2024]. Disponible en: <https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/25943/8093.pdf>.