

Comparación interlaboratorial de medición de energía eléctrica 2014

2014 Electrical Energy Measurement Interlaboratory Comparison

Saúl Magaña-Godoy¹, Isabel Castro-Blanco², Harold Sánchez-Vargas³

Fecha de recepción: 26 de noviembre de 2015

Fecha de aprobación: 7 de marzo de 2016

Magaña-Gogoy, S; Castro-Blanco, I; Sánchez-Vargas, H. Comparación interlaboratorial de medición de energía eléctrica 2014. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29-4. Octubre-Diciembre 2016. Pág 16-33.

DOI: 10.18845/tm.v29i4.3034

-
- 1 Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas - Instituto Costarricense de Electricidad. Costa Rica. Correo electrónico: smaganag@ice.go.cr
 - 2 Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas - Instituto Costarricense de Electricidad. Costa Rica. Correo electrónico: bcastro@ice.go.cr
 - 3 Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas - Instituto Costarricense de Electricidad. Costa Rica. Correo electrónico: hsanchez@ice.go.cr



Palabras clave

Comparación interlaboratorial; medición de energía eléctrica; patrón viajero; calibración.

Resumen

En este trabajo se describe y presentan los resultados de una comparación de medición de energía eléctrica entre laboratorios, que se llevó a cabo en Costa Rica y Panamá en 2014. El laboratorio piloto fue el Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (LMVE) del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) como instituto designado en Costa Rica para Electricidad, Magnetismo, Tiempo y Frecuencia. La comparación tuvo como participantes a seis laboratorios secundarios de Costa Rica y al Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP).

Keywords

Interlaboratory comparison; electrical energy measurement; traveler standard; calibration.

Abstract

This paper presents the results of an Electrical Energy Measurements Interlaboratory Comparison, conducted in Costa Rica and Panamá in 2014, by the Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)-Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (LMVE) as a designated NMI in Costa Rica for Electricity, Magnetism, Time and Frequency. The comparison involved six participating laboratories from Costa Rica, the NMI of Panama CENAMEP AIP.

Introducción

El Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (ICE-LMVE), como laboratorio nacional designado en Electricidad, Magnetismo, Tiempo y Frecuencia, de acuerdo con el Convenio de Entendimiento Bilateral entre el Laboratorio Costarricense de Metrología (LACOMET) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) [2], llevó a cabo una comparación de calibración de medidores y patrones de energía eléctrica. La actividad se realizó entre los meses de junio y diciembre de 2014.

La comparación de energía eléctrica entre laboratorios se efectuó con el propósito de comparar las capacidades de medición de los laboratorios que ofrecen calibraciones de medidores de energía eléctrica a sus clientes o las utilizan en sus procesos, para mejorar sus métodos de calibración y su aseguramiento metrológico [3]. Además, también se busca ampliar la colaboración a nivel metrológico entre laboratorios que realizan calibraciones en energía eléctrica y el ICE-LMVE.

El LMVE fue el laboratorio piloto para la comparación. Cada participante fue responsable de realizar su propia estimación de la incertidumbre de medición, utilizando métodos coincidentes con los descritos en la GUM. [5]

El cuadro 1 muestra los laboratorios participantes y los contactos técnicos.

Programación y logística de la comparación

Para la circulación del patrón de energía se propuso un circuito de traslado adecuado entre los laboratorios participantes y el laboratorio piloto, con el fin de obtener una inspección del valor del patrón de manera periódica durante la movilización a lo largo de la ronda de la comparación.

Cuadro 1. Laboratorios participantes y contactos técnicos.

| Laboratorio | Contacto | Teléfono |
|--|--|--------------------------------------|
| CNFL - Laboratorio de Medidores LASIMEE | Rodrigo Espinoza Porras | (+506) 2295-1541 |
| JASEC, Laboratorio de Medidores | Marco Centeno Masís | (+506) 2550-6829 |
| ICE, Laboratorio de Medidores LABCAME | José Francisco Carballo Alvarez | (+506) 2236-4068 |
| CENAMEP AIP, Centro Nacional de Metrología de Panamá – Laboratorio Primario de Energía y Potencia (E2) | Julio González | (+507) 517-3100 |
| CENAMEP AIP, Centro Nacional de Metrología de Panamá – Laboratorio Secundario de Energía y Potencia (E0) | Cándido Montero | (+507) 517-3100 |
| ICE, Laboratorio de Calibración de Magnitudes Eléctricas LACAME | William Bonilla Martin Maricel Cordero Gómez | (+506) 2001-5962 (+506) 2001-5982 |
| ICE, Laboratorio de Eficiencia Energética LEE | Heyleen Villalta Maietta Mauricio Sibaja Amador | (+506) 2000-4129 |
| ELVATRON, Centro de Servicios Técnicos de Elvatrón S.A. | Oscar Sibaja Seravalli | (+506) 2242-9960, Ext. 315 |

La modalidad de circulación del patrón fue de tipo estrella: distribución del patrón a cada participante y retorno al piloto a lo largo de la ronda. Se consideró, como parte del tiempo de medición de cada laboratorio, el tiempo requerido para la estabilización y mediciones, así como el tiempo para el adecuado transporte.

El cuadro 2 muestra las fechas de las mediciones realizadas por los participantes en la comparación. También se aprecian las mediciones que el ICE-LMVE efectuó al inicio y al final de la comparación.

La programación inicial se vio ligeramente afectada en las últimas fechas de medición entre CENAMEP e ICE-LMVE, debido al tiempo que tomó el traslado del patrón viajero y las gestiones de aduanas de Panamá y Costa Rica. Las características técnicas del patrón viajero se mantuvieron estables durante este período, lo que permite establecer una comparación válida.

Patrón viajero

El patrón viajero que se utilizó fue un patrón de energía marca Radian Research Inc, modelo RM-11-07, número de serie 506216. [6], [7]

Descripción de las condiciones de operación del RM-11-07:

- Tensión de entrada (Línea - neutro): 60 V a 600 V (autorrango), monofásico.
- Corriente de entrada 0.2 A a 50 A, monofásico.
- Temperatura 20 °C a 30 °C,
- Humedad relativa 0% a 95%,
- Frecuencia 59 Hz a 61 Hz,
- Alimentación auxiliar 120 V ó 240 V.

Cuadro 2. Programa de mediciones realizadas.

| Laboratorio | Fecha de medición | Fecha de transporte |
|-------------|-------------------------|---------------------|
| ICE-LMVE | 2013-12-06 a 2014-07-10 | 2014-07-11 |
| CNFL | 2014-07-14 a 2014-07-18 | 2014-07-21 |
| ICE-LMVE | 2014-07-22 a 2014-08-07 | 2014-08-08 |
| JASEC | 2014-08-11 a 2014-08-15 | 2014-08-18 |
| ICE-LMVE | 2014-08-19 a 2014-08-28 | 2014-08-29 |
| LABCAME | 2014-09-01 a 2014-09-05 | 2014-09-08 |
| ICE-LMVE | 2014-09-09 a 2014-09-11 | 2014-09-12 |
| LACAME | 2014-09-16 a 2014-09-19 | 2014-09-22 |
| ICE-LMVE | 2014-09-23 a 2014-09-25 | 2014-09-26 |
| ELVATRON | 2014-09-29 a 2014-10-03 | 2014-10-06 |
| ICE-LMVE | 2014-10-07 a 2014-10-09 | 2014-10-10 |
| LEE | 2014-10-13 a 2014-10-17 | 2014-10-20 |
| ICE-LMVE | 2014-10-21 a 2014-10-23 | 2014-11-10 |
| CENAMEP | 2014-11-28 a 2014-12-22 | 2015-01-08 |
| ICE-LMVE | 2015-01-21 | -- |

Los siguientes accesorios fueron parte del equipamiento utilizado para las mediciones:

- Un adaptador tipo *socket*, marca WECO, AL001202, para la conexión del circuito de corriente entre las mesas de pruebas y el RM-11-07.
- Un comparador, marca Radian Research Inc, modelo RM-110, serie 107273. Este dispositivo se utilizó para dividir los pulsos de salida del RM-11-07 y adaptarlos a una frecuencia compatible con las mesas de pruebas. [8]
- Un dispositivo emisor luminoso, marca Radian Research Inc, modelo RM-1P. Este toma la salida de pulsos del comparador RM-110 y emite un pulso de señal luminosa (visible o infrarroja) por cada pulso eléctrico recibido. Este dispositivo se utilizó alineado con la cabeza lectora de la mesa de pruebas (para las mediciones de mesas de pruebas).
- Un sujetador metálico para el posicionamiento del dispositivo emisor RM-1P.
- Dos cables con terminales tipo BNC – BNC.
- Un cable para alimentación auxiliar del RM-11-07 a 120 V.
- Dos terminales tipo “banana – Ojo abierto”, para la conexión de la tensión de medición en el patrón viajero RM-11-07.
- Un adaptador de tensión, para la alimentación auxiliar del RM-110, 120 V.

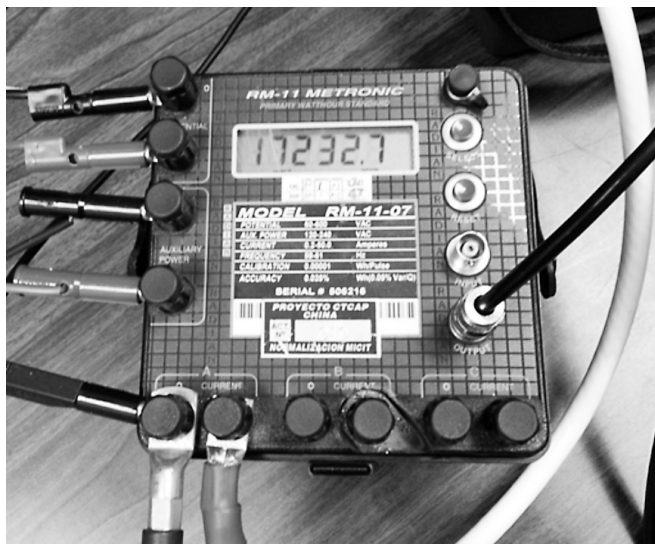


Figura 1. Patrón viajero, RM-11-07.

El patrón de energía y los accesorios viajaron en una caja de protección destinada para su traslado. Cada participante usó sus procedimientos normales para el traslado y entrega del equipo.



Figura 2. Caja de protección utilizada para el transporte.

Mensurando

La magnitud a medir correspondió a energía eléctrica activa AC a 60 Hz, reportándose el error medido y su incertidumbre (con un nivel de confianza de 95%) asociada en unidades porcentuales (%). Dichos valores se reportaron relativos a la energía activa (Wh/Wh) o a la energía aparente (Wh/VAh), según los procedimientos de cada participante.

Puntos de medición

Los puntos de medición de esta comparación se muestran en los cuadros 4 y 5:

Cuadro 4. Puntos de medición, laboratorios con patrones de energía, 60 Hz.

| Tensión (V) | Corriente (A) | Factor de potencia (f.p.) |
|-------------|---------------|---------------------------|
| 120 | 5 | 1 |
| 120 | 5 | 0.5 adelanto (capacitivo) |
| 120 | 5 | 0.5 atraso (inductivo) |

Cuadro 5. Puntos de medición, laboratorios con mesas de pruebas, 60 Hz.

| Tensión (V) | Corriente (A) | Factor de potencia (f.p.) |
|-------------|---------------|---------------------------|
| 108 | 30 | 1 |
| 120 | 0.25 | 1 |
| 120 | 2.5 | 1 |
| 120 | 5 | 1 |
| 120 | 5 | 0.5 adelanto |
| 120 | 5 | 0.5 atraso |
| 120 | 15 | 1 |
| 120 | 30 | 1 |
| 120 | 50 | 1 |
| 132 | 30 | 1 |

Método de medición

El método de medición del ICE-LMVE, y el utilizado por los participantes en este ejercicio, corresponde a la medición de energía por comparación. Se compara el valor de energía medido por el objeto bajo prueba (patrón viajero) y el valor de energía medido o generado por el patrón de referencia del laboratorio.

EI LMVE

La comparación contó con dos modalidades de medición con las cuales los participantes realizaron sus mediciones, a saber: laboratorios con patrones de energía eléctrica y laboratorios con mesas de pruebas de medidores de energía eléctrica.

Los laboratorios con patrones realizaron su medición comparando el patrón viajero con su patrón de referencia. Por su parte, los laboratorios con mesas de pruebas utilizaron los accesorios provistos por ICE-LMVE para adaptar el patrón viajero RM-11-07 al sistema de medición de las mesas, con el objetivo de que este arreglo les permitiera realizar la medición de forma equivalente a la que efectúan con los medidores tipo *socket*.

Resultado de mediciones

En este apartado se presentan los resultados de los laboratorios participantes en la comparación. En los cuadros de resultados se muestran el error de medición reportado por cada laboratorio, la incertidumbre expandida reportada y el *Error Normalizado* (E_n) para cada laboratorio. El error normalizado se calculó a partir de la siguiente expresión [4]:

$$E_n = \frac{|E_L - E_{LMVE}|}{\sqrt{U_L^2 + U_{LMVE}^2}} \quad (1)$$

donde:

E_{LMVE} Error del laboratorio ICE-LMVE

E_L Error reportado por el participante

U_{LMVE} Incertidumbre expandida del ICE-LMVE

U_L Incertidumbre expandida reportada por el participante

Como se indicó anteriormente, cada participante fue responsable de proveer su propia estimación de la incertidumbre de la medición, por lo que el formulario de presentación no les exigía incluir el cálculo y el análisis de la incertidumbre total, sino una descripción de las fuentes de incertidumbre que cada uno tomó en cuenta para su respectivo análisis y estimación. La mayoría de los laboratorios participantes presentaron las siguientes fuentes de incertidumbre: *Certificado de calibración del patrón de referencia, especificaciones del patrón a un año o estimación de la estabilidad del patrón, repetibilidad de las mediciones, resolución y efectos térmicos de las condiciones ambientales.*

Los valores de referencia de la comparación corresponden a las mediciones hechas por el ICE-LMVE, entidad que ha participado en comparaciones internacionales del Sistema Interamericano de Metrología (SIM). [1], [9]

Los cuadros y gráficos con los resultados de la comparación, para un factor de potencia igual a 1, muestran a todos los laboratorios juntos, tanto los relativos a energía activa como aparente, debido a su equivalencia. Mientras que para el factor de potencia 0.5 adelanto/atraso, se muestran los resultados de forma separada, los relativos a energía activa y a energía aparente.

En esta comparación, la incertidumbre de medición asociada al resultado del ICE-LMVE corresponde a su CMC publicada y el alcance vigente de acreditación. [10]

Laboratorios con patrones

Los resultados de medición y la incertidumbre estimada de los laboratorios con patrones se muestran en los cuadros 6 a 10.

Cuadro 6. Resultados de laboratorios con patrones, 120 V, 5 A, f.p. 1. El error y su incertidumbre asociada en unidades porcentuales (%).

| Laboratorio | Error | U (k = 2) | E_n |
|-------------|---------|-----------|-------|
| ICE-LMVE | -0.001 | 0.029 | - |
| Lab2 | 0.0198 | 0.0567 | 0.32 |
| CENAMEP AIP | -0.0027 | 0.0058 | 0.07 |
| Lab4 | -0.004 | 0.031 | 0.08 |
| Lab5 | -0.0072 | 0.023 | 0.18 |
| Lab6 | 0.017 | 0.078 | 0.21 |

Cuadro 7. Resultados de laboratorios con patrones, 120 V, 5 A, f.p. 0.5 adelanto. El error y su incertidumbre asociada en unidades porcentuales (%), son relativos a la energía activa.

| Laboratorio | Error | U (k = 2) | E_n |
|-------------|--------|-----------|-------|
| ICE-LMVE | 0.012 | 0.029 | - |
| Lab2 | 0.0476 | 0.0734 | 0.45 |
| Lab4 | 0.007 | 0.031 | 0.12 |
| Lab5 | 0.0024 | 0.034 | 0.22 |
| Lab6 | 0.053 | 0.240 | 0.17 |

Cuadro 8. Resultados de laboratorios con patrones, 120 V, 5 A, f.p. 0.5 atraso. El error y su incertidumbre asociada en unidades porcentuales (%), relativos a la energía activa.

| Laboratorio | Error | U (k = 2) | E_n |
|-------------|---------|-----------|-------|
| ICE-LMVE | -0.008 | 0.029 | - |
| Lab2 | 0.0154 | 0.0666 | 0.32 |
| Lab4 | -0.005 | 0.031 | 0.06 |
| Lab5 | -0.0082 | 0.028 | 0.01 |
| Lab6 | 0.037 | 0.240 | 0.18 |

Cuadro 9. Resultados de laboratorios con patrones, 120 V, 5 A, f.p. 0.5 adelanto. El error y su incertidumbre asociada en unidades porcentuales (%), relativos a la energía aparente.

| Laboratorio | Error | U (k = 2) | E_n |
|-------------|--------|-----------|-------|
| ICE-LMVE | 0.010 | 0.029 | - |
| CENAMEP AIP | 0.0087 | 0.0058 | 0.06 |

Cuadro 10. Resultados de laboratorios con patrones, 120 V, 5 A, f.p. 0.5 atraso. El error y su incertidumbre asociada en unidades porcentuales (%), relativos a la energía aparente.

| Laboratorio | Error | U (k = 2) | E_n |
|-------------|---------|-----------|-------|
| ICE-LMVE | -0.007 | 0.029 | - |
| CENAMEP AIP | -0.0053 | 0.0058 | 0.05 |

En las figuras 3 a 7 se presentan los gráficos con los resultados de los laboratorios que midieron con patrón:

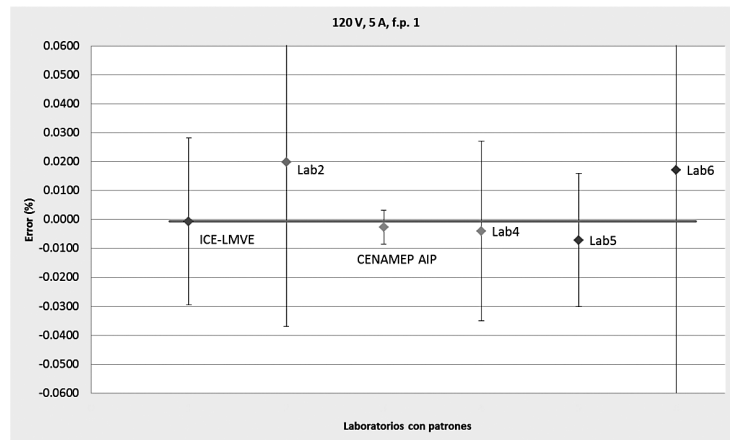


Figura 3. Resultados de laboratorios con patrones, 120 V, 5 A, f.p. 1, 60 Hz.

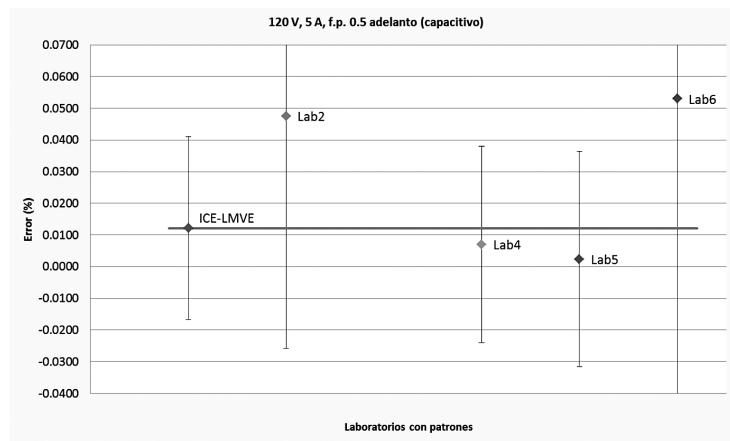


Figura 4. Resultados de laboratorios con patrones, 120 V, 5 A, f.p. 0.5 adelanto, 60 Hz, valores relativos a la energía activa.

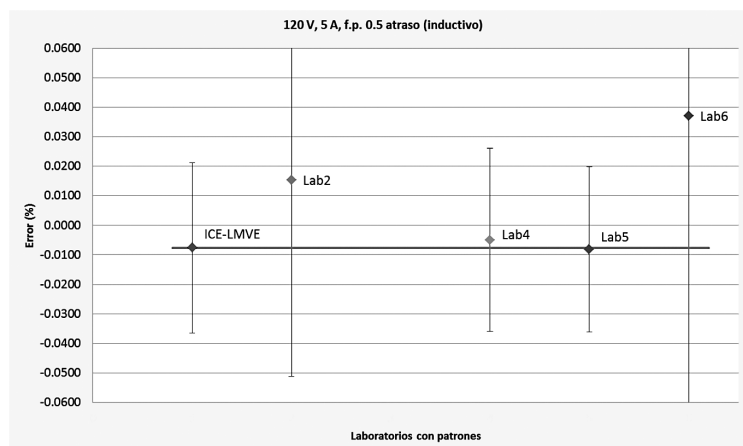


Figura 5. Resultados de laboratorios con patrones, 120 V, 5 A, f.p. 0.5 atraso, 60 Hz, valores relativos a la energía activa.

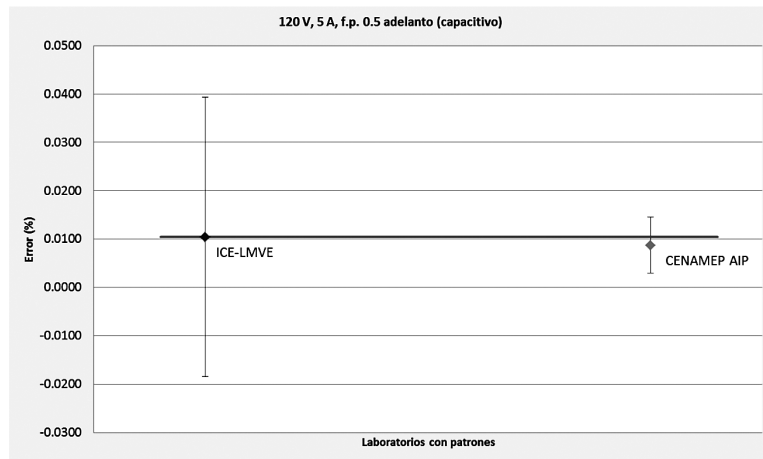


Figura 6. Resultados de laboratorios con patrones, 120 V, 5 A, f.p. 0.5 adelanto, 60 Hz, valores relativos a la energía aparente.

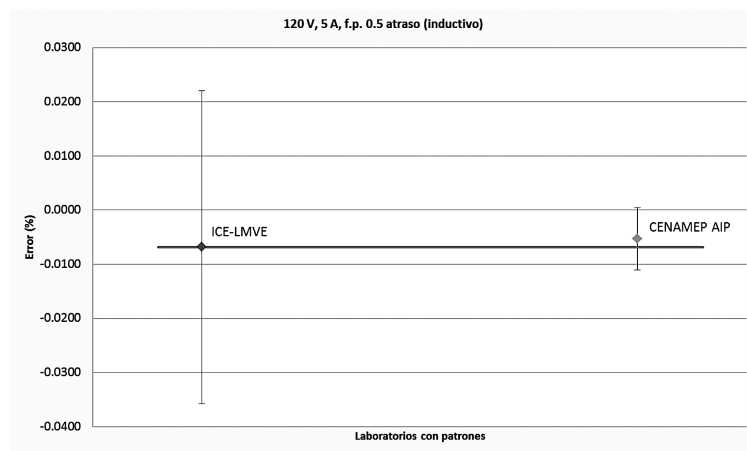


Figura 7. Resultados de laboratorios con patrones, 120 V, 5 A, f.p. 0.5 atraso, 60 Hz, valores relativos a la energía aparente.

Laboratorios con mesas de pruebas

Los resultados de medición y la incertidumbre estimada de los laboratorios con mesas de pruebas se muestran en los cuadros 11 a 22.

Cuadro 11. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 108 V, 30 A, f.p. 1. El error y su incertidumbre asociada en unidades porcentuales (%).

| Laboratorio | Error | U (k = 2) | E_n |
|-------------|---------|-----------|-------|
| ICE-LMVE | 0.000 | 0.029 | - |
| Lab2 | -0.0208 | 0.0052 | 0.72 |
| Lab3 | -0.0373 | 0.058 | 0.58 |
| Lab4 | -0.003 | 0.069 | 0.04 |
| CENAMEP AIP | 0.000 | 0.015 | 0.01 |

Cuadro 12. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 0.25 A, f.p. 1. El error y su incertidumbre asociada en unidades porcentuales (%).

| Laboratorio | Error | U (k = 2) | E _n |
|-------------|---------|-----------|----------------|
| ICE-LMVE | -0.002 | 0.029 | - |
| Lab2 | -0.0302 | 0.0112 | 0.92 |
| Lab3 | -0.0358 | 0.058 | 0.53 |
| Lab4 | -0.022 | 0.069 | 0.27 |
| CENAMEP AIP | -0.001 | 0.015 | 0.02 |

Cuadro 13. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 2.5 A, f.p. 1. El error y su incertidumbre asociada en unidades porcentuales (%).

| Laboratorio | Error | U (k = 2) | E _n |
|-------------|---------|-----------|----------------|
| ICE-LMVE | -0.003 | 0.029 | - |
| Lab2 | -0.0321 | 0.0052 | 0.98 |
| Lab3 | -0.0377 | 0.058 | 0.53 |
| Lab4 | -0.023 | 0.069 | 0.26 |
| CENAMEP AIP | -0.001 | 0.015 | 0.08 |

Cuadro 14. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 5 A, f.p. 1. El error y su incertidumbre asociada en unidades porcentuales (%).

| Laboratorio | Error | U (k = 2) | E _n |
|-------------|---------|-----------|----------------|
| ICE-LMVE | -0.001 | 0.029 | - |
| Lab2 | -0.0280 | 0.0061 | 0.93 |
| Lab3 | -0.0319 | 0.058 | 0.48 |
| Lab4 | -0.012 | 0.069 | 0.15 |
| CENAMEP AIP | 0.005 | 0.015 | 0.17 |

Cuadro 15. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 5 A, f.p. 0.5 adelante. El error y su incertidumbre asociada en unidades porcentuales (%), relativos a la energía activa.

| Laboratorio | Error | U (k = 2) | E _n |
|-------------|---------|-----------|----------------|
| ICE-LMVE | 0.012 | 0.029 | - |
| Lab2 | -0.0092 | 0.0102 | 0.69 |
| Lab3 | -0.0236 | 0.058 | 0.55 |
| Lab4 | -0.003 | 0.069 | 0.20 |

Cuadro 16. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 5 A, f.p. 0.5 atraso. El error y su incertidumbre asociada en unidades porcentuales (%), relativos a la energía activa.

| Laboratorio | Error | U (k = 2) | E _n |
|-------------|---------|-----------|----------------|
| ICE-LMVE | -0.008 | 0.029 | - |
| Lab2 | -0.0383 | 0.0109 | 0.99 |
| Lab3 | -0.0347 | 0.058 | 0.42 |
| Lab4 | -0.029 | 0.069 | 0.29 |

Cuadro 17. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 5 A, f.p. 0.5 adelante. El error y su incertidumbre asociada en unidades porcentuales (%), relativos a la energía aparente.

| Laboratorio | Error | U (k = 2) | E _n |
|-------------|--------|-----------|----------------|
| ICE-LMVE | 0.010 | 0.029 | - |
| CENAMEP AIP | -0.004 | 0.015 | 0.44 |

Cuadro 18. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 5 A, f.p. 0.5 atraso. El error y su incertidumbre asociada en unidades porcentuales (%), relativos a la energía aparente.

| Laboratorio | Error | U (k = 2) | E _n |
|-------------|--------|-----------|----------------|
| ICE-LMVE | -0.007 | 0.029 | - |
| CENAMEP AIP | 0.014 | 0.015 | 0.64 |

Cuadro 19. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 15 A, f.p. 1. El error y su incertidumbre asociada en unidades porcentuales (%).

| Laboratorio | Error | U (k = 2) | E _n |
|-------------|---------|-----------|----------------|
| ICE-LMVE | 0.000 | 0.029 | - |
| Lab2 | -0.0255 | 0.0051 | 0.86 |
| Lab3 | -0.0391 | 0.058 | 0.60 |
| Lab4 | -0.015 | 0.069 | 0.19 |
| CENAMEP AIP | -0.007 | 0.015 | 0.21 |

Cuadro 20. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 30 A, f.p. 1. El error y su incertidumbre asociada en unidades porcentuales (%).

| Laboratorio | Error | U (k = 2) | E _n |
|-------------|---------|-----------|----------------|
| ICE-LMVE | 0.001 | 0.029 | - |
| Lab2 | -0.0214 | 0.0050 | 0.78 |
| Lab3 | -0.0352 | 0.058 | 0.56 |
| Lab4 | -0.003 | 0.069 | 0.05 |
| CENAMEP AIP | 0.000 | 0.015 | 0.04 |

Cuadro 21. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 50 A, f.p. 1. El error y su incertidumbre asociada en unidades porcentuales (%).

| Laboratorio | Error | U (k = 2) | E _n |
|-------------|---------|-----------|----------------|
| ICE-LMVE | -0.001 | 0.029 | - |
| Lab2 | -0.0205 | 0.0079 | 0.64 |
| Lab3 | -0.0356 | 0.058 | 0.53 |
| Lab4 | -0.011 | 0.069 | 0.13 |
| CENAMEP AIP | 0.002 | 0.015 | 0.11 |

Cuadro 22. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 132 V, 30 A, f.p. 1. El error y su incertidumbre asociada en unidades porcentuales (%).

| Laboratorio | Error | U (k = 2) | E _n |
|-------------|---------|-----------|----------------|
| ICE-LMVE | -0.002 | 0.029 | - |
| Lab2 | -0.0195 | 0.0076 | 0.59 |
| Lab3 | -0.0355 | 0.058 | 0.52 |
| Lab4 | -0.005 | 0.069 | 0.04 |
| CENAMEP AIP | 0.000 | 0.015 | 0.05 |

En las figuras 8 a 19 se presentan los gráficos con los resultados de los laboratorios con mesas de pruebas:

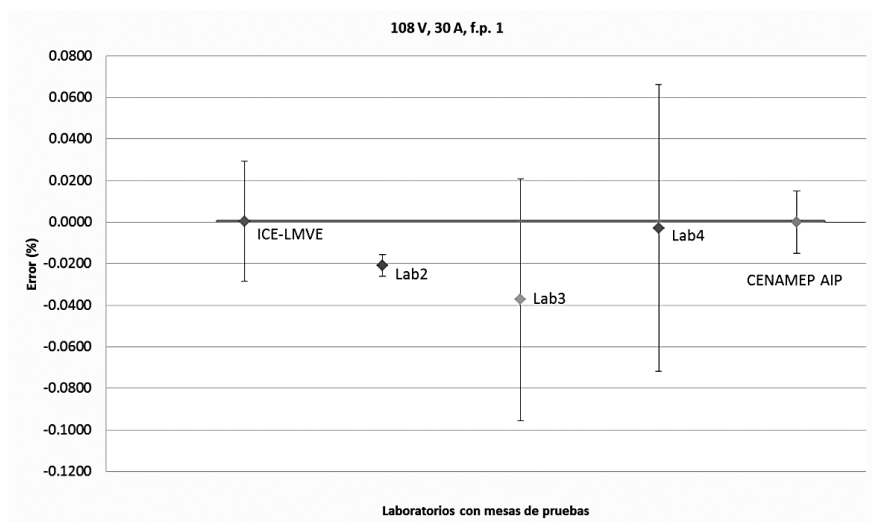


Figura 8. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 108 V, 30 A, f.p. 1, 60 Hz.

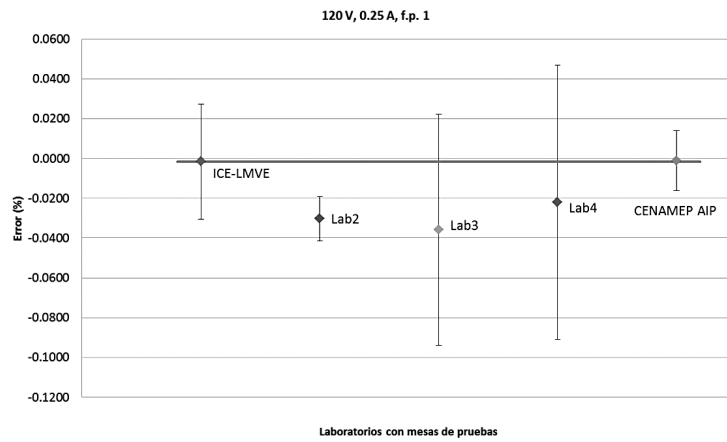


Figura 9. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 0.25 A, f.p. 1, 60 Hz.

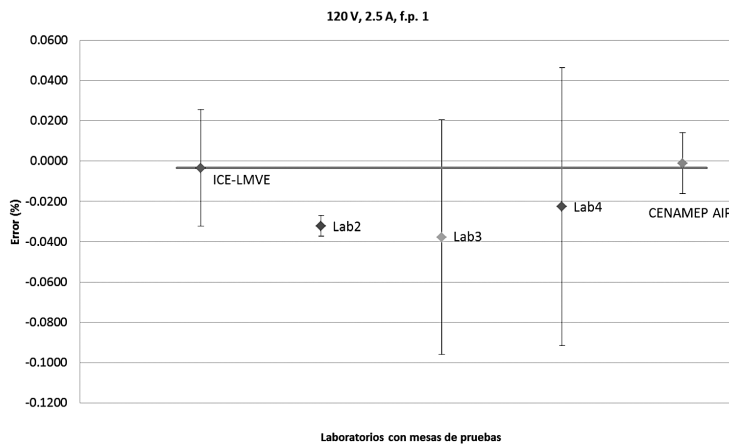


Figura 10. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 2.5 A, f.p. 1, 60 Hz.

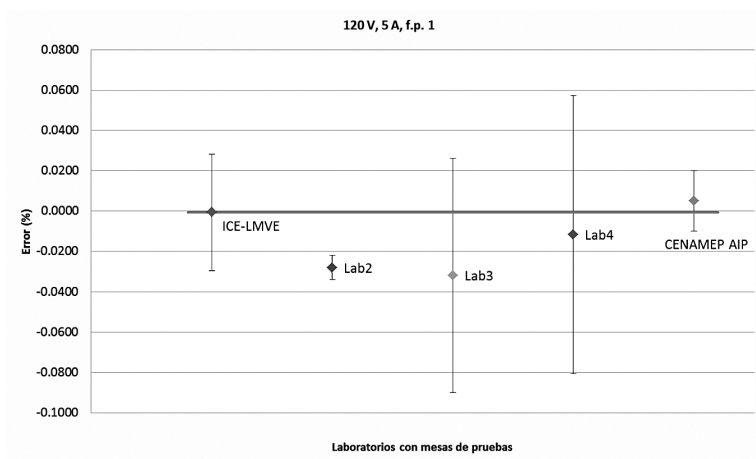


Figura 11. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 5 A, f.p. 1, 60 Hz.

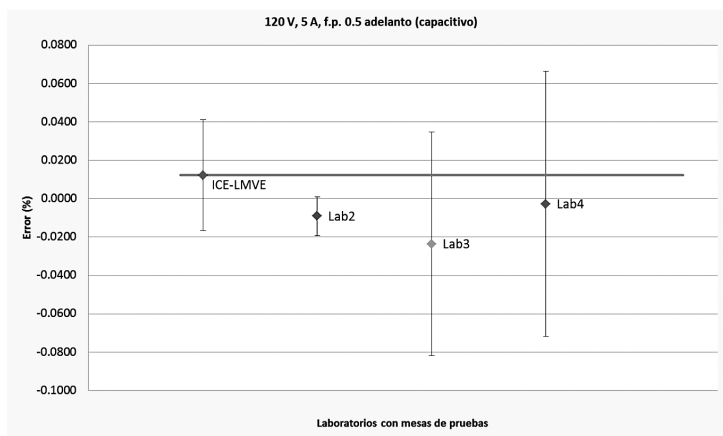


Figura 12. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 5 A, f.p. 0.5 adelanto, 60 Hz, relativos a la energía activa.

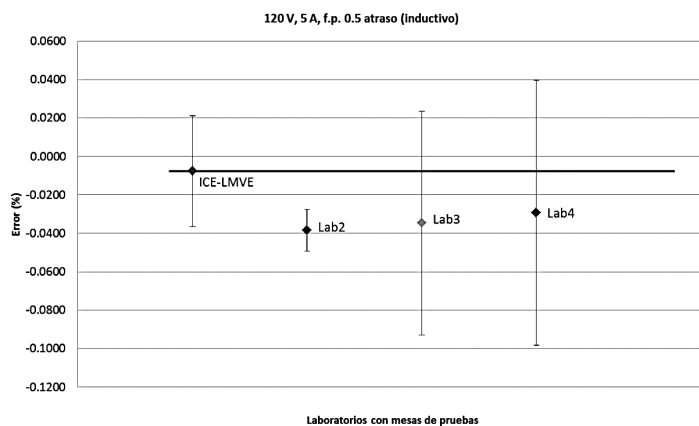


Figura 13. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 5 A, f.p. 0.5 atraso, 60 Hz, relativos a la energía activa.

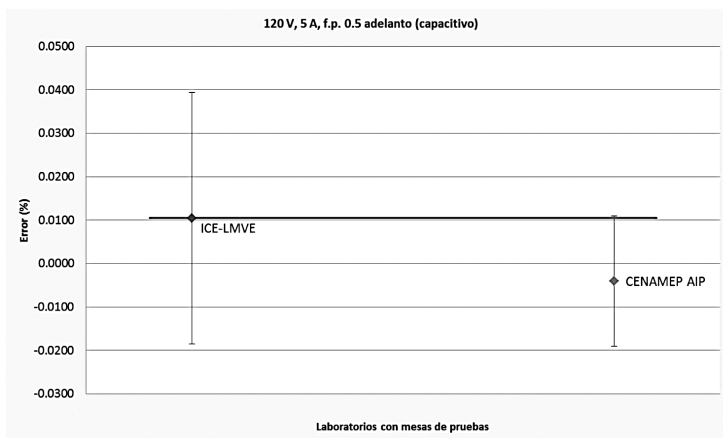


Figura 14. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 5 A, f.p. 0.5 adelanto, 60 Hz, relativos a la energía aparente.

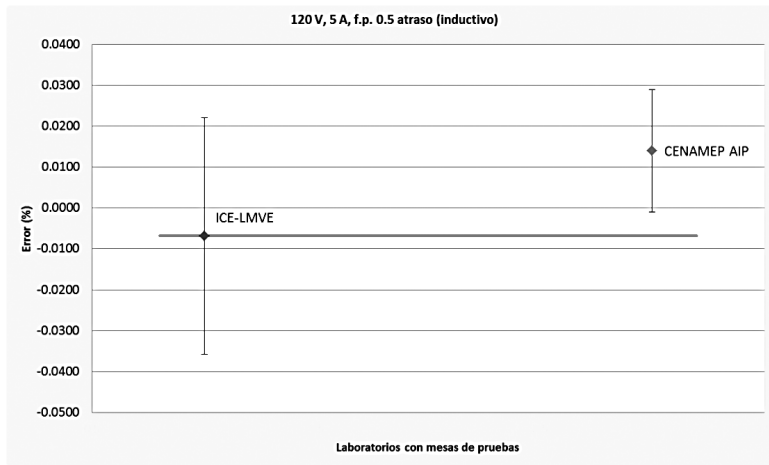


Figura 15. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 5 A, f.p. 0.5 atraso, 60 Hz, relativos a la energía aparente.

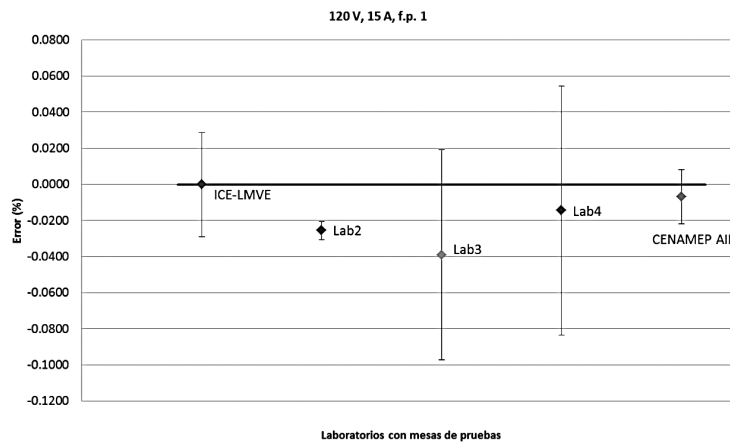


Figura 16. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 15 A, f.p. 1, 60 Hz.

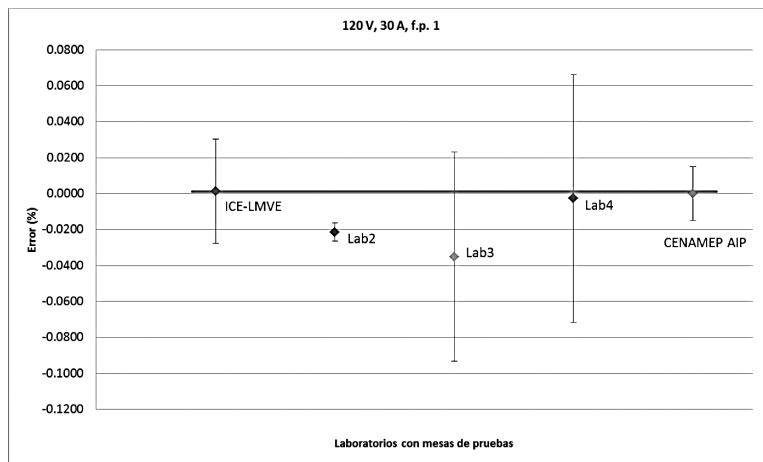


Figura 17. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 30 A, f.p. 1, 60 Hz.

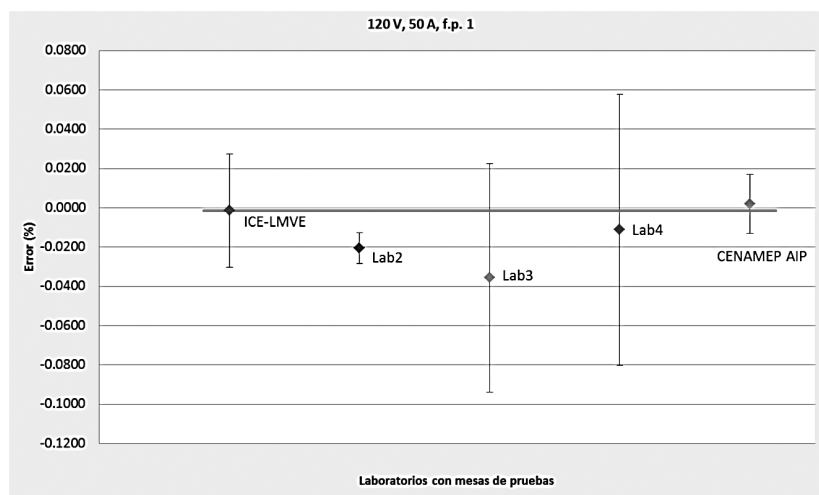


Figura 18. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 120 V, 50 A, f.p. 1, 60 Hz.

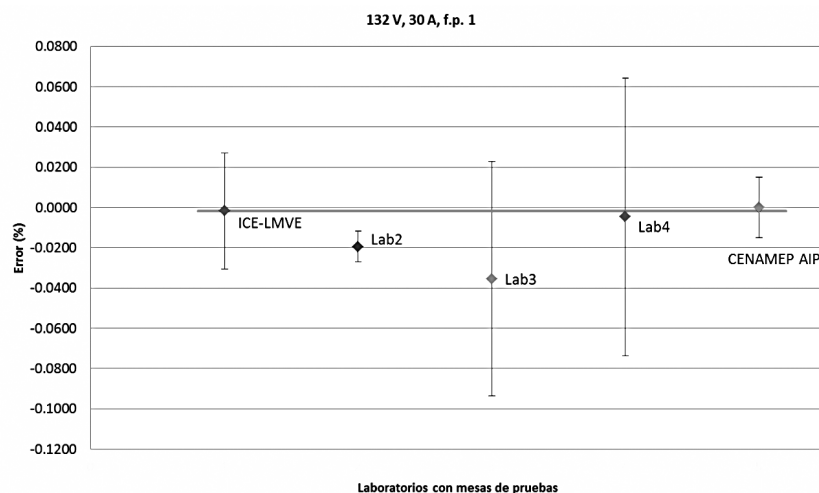


Figura 19. Resultados de laboratorios con mesas de pruebas, 132 V, 30 A, f.p. 1, 60 Hz.

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados de esta comparación indican que los valores de error y su incertidumbre asociada se traslapan entre ellos, mostrando que los sistemas de medición arrojan resultados compatibles.

En los resultados de *laboratorios que utilizaron patrones*, al evaluar el error normalizado para cada participante, se tiene que este es menor a 1.

En los resultados de *laboratorios con mesas de pruebas*, la evaluación del error normalizado muestra que los participantes obtuvieron un valor menor a 1.

Como parte de los puntos de mejora en los siguientes ejercicios de comparación, se contemplará que cada laboratorio reporte su cálculo de incertidumbre detallado y las unidades relativas utilizadas en el cálculo de error e incertidumbre.

Se considera que este ejercicio cumplió el objetivo trazado de poder brindar una herramienta para reforzar el aseguramiento de los resultados y la gestión de calidad a nivel metrológico en Costa Rica, Panamá y la región. Así mismo, complementa los esfuerzos de cooperación entre los laboratorios participantes y el ICE-LMVE.

Referencias

- Carranza, R., Campos, S., Castruita, A., Sánchez, H., Nelson, T., Ribeiro, A., So, E., Di Lillo, L., Spaggiari, A., Slomovitz, D., Izquierdo, D., Faveiro, C., Postigo, H., Díaz, H., González, J. & Zipaquirá, A. (febrero, 2015). Final report: Key comparison of 50/60 Hz power SIM.EM-K5. *Metrología*, 52, 01002. Obtenido de <http://iopscience.iop.org/0026-1394/52/1A/01002>
- Laboratorio Costarricense de Metrología, Laboratorios Designados: Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas, ICE. Designación en Electricidad, Magnetismo, Tiempo y Frecuencia. Obtenido de <http://www.lacomet.go.cr/index.php/lacomet/laboratorios-designados>
- INTECO (Instituto Costarricense de Normas Técnicas). (2009). *INTE ISO/IEC 17043:2010 Evaluación de la conformidad – Requisitos generales para ensayos de aptitud*, San José: INTECO.
- Izquierdo, D., Faveiro, C., Slomovitz, D., Ihlenfeld, W.G.K., Di Lillo, L., Laiz, H., Garcia, R., Franco, A.M.R. & Debatin, R.M. (mayo 2006). *Intercomparación Multilateral de Potencia Eléctrica, entre los Laboratorios Nacionales de Alemania, Argentina, Brasil y Uruguay*. *IEEE Latin American Transactions*, 4, 177-183. Obtenido de http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=4472111&sortType%3Dasc_p_Sequence%26filter%3DAND%28p_IS_Number%3A4472103%29
- Joint Committee for Guides in Metrology. (septiembre, 2008). *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement*. JCGM 100:2008. Obtenido de <http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>.
- Centro Español de Metrología. *Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM)*. JCGM 200:2012. Obtenido de <http://www.cem.es/sites/default/files/vim-cem-2012web.pdf>
- Radian Research Inc. (1998). *RM-11 Primary metronic standard, Operation Manual*. (Rev004-1/98). Obtenido de <http://www.radianresearch.com/manuals/>
- Radian Research Inc. (1998). *RM-110 Automated Comparator, Operation Manual*. (Rev003-2/98). Lafayette, Indiana: Radian Research Inc.
- Sánchez, H., Cioffi, J., Laiz, H., Bennett, D., Ferreira, H., Ortega, R., Oldham, N. & Parker, M. (diciembre 2000). *SIM Comparison of Electrical Units*. *Metrologia* 2000. Obtenido de http://www.nist.gov/manuscript-publication-search.cfm?pub_id=17128
- Calibration and Measurement Capabilities Electricity and Magnetism*. Costa Rica, ICE-LMVE (Instituto Costarricense de Electricidad, Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas). Obtenido de http://kcdb.bipm.org/AppendixC/country_list_search.asp?CountSelected=CR&sservice=EM/AC.7.1