

## Intercambio Técnico

<b>Intercambio Técnico</b>			
<b>Fechas de entrenamiento (Duración):</b> 11 al 22 de diciembre de 2017			
<b>Nombre de la INM:</b> Centro Hondureño de Metrología (CEHM)			
<b>Nombre del INM anfitrión(s):</b> Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP-AIP)			
<b>Tema/ subtema</b>	a) Eficiencia Energética Subtema: Calibración básica de equipos de medición de magnitudes eléctricas	b) Energía Renovable Subtema:	c) Calidad del Aire Subtema:
	d) Emisiones de GEI y otros Subtema:	e) Smart/Grids Subtema:	f) Otra. Humedad Relativa y Temperatura (medidores de condiciones ambientales)
<b>Resumen de Investigación / Entrenamiento:</b> Por favor resuma sus objetivos de investigación o entrenamiento; incluya detalles que expliquen por qué se necesita la investigación / capacitación y cómo esta experiencia mejorará los servicios de medición que su Instituto o la Oficina actualmente proporciona, o planea brindar.	El objetivo de esta pasantía es formar el personal técnico responsable de implementar los servicios de calibración en los dispositivos de medición de Energía y Variables Eléctricas, y proveer la trazabilidad en el país que es responsabilidad del Centro Hondureño de Metrología CEHM, según lo establece la Ley del Sistema Nacional de la Calidad.  Esta formación fortalecerá el conocimiento del personal técnico del CEHM y permitirá apoyar a los entes reguladores en el país.		
<b>Impacto a nivel de país:</b> ¿De qué manera las habilidades recién adquiridas pueden apoyar la implementación de políticas y mediciones relacionadas con la energía o el medio ambiente en su país?	Como Laboratorio Nacional de Metrología, es responsabilidad de proveer trazabilidad y apoyar a las instituciones u Organismos encargados de realizar funciones en el ámbito de Energía, como resultado se espera a corto ofrecer servicios de calibración en los siguientes alcances: <ul style="list-style-type: none"><li>• Calibración de medidores de energía residenciales clase 1 % y 2 % tipo <b>1S</b></li><li>• Calibración de analizadores de calidad de energía</li></ul> Así como la calibración de multímetros, amperímetros, verificación de medidores portátiles de energía, óhmetros y muticalibradores.		

<p><b>Logros:</b> Resuma los principales logros/resultados de la capacitación. Por favor incluya mejores prácticas aprendidas, lecciones de aprendizaje, etc.</p>	<p>A continuación se detallan las principales actividades y logros alcanzados:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Puesta a punto de procedimientos de calibración de multímetros, amperímetros, décadas de resistencia y multicalibradores.</li><li>• Desarrollo de prácticas para la calibración de medidores de energía, analizadores de calidad de energía, medidores de resistencia a tierra y medidores de aislamiento.</li><li>• Desarrollo de prácticas para la calibración de cronómetros y tacómetros.</li><li>• Revisión y actualización del procedimiento de calibración de termohigrómetros.</li></ul>
<p><b>Divulgación del conocimiento</b> Proporcione una propuesta de cómo se planea aplicar y divulgar el conocimiento adquirido en su entorno laboral. Incluya fechas tentativas de implementación así como anexos de guías y procedimientos desarrollados para tal propósito.</p>	<p>Como parte de la divulgación del conocimiento, se planificará dentro del programa de capacitación interna dos cursos para el primer trimestre de este año en los cuales se desarrollarán prácticas en la calibración de medidores de energía, analizadores de calidad de energía, medidores de resistencia a tierra y medidores de aislamiento, además se buscaran los canales para llegar a los entes reguladores para proponerles apoyo en la parte técnica en temas relativos a los dispositivos de medición involucrados en este campo.</p>

## Anexo A: Agenda Final del Entrenamiento

### *Bitácora pasantía CENAMEP-AIP, del 11 al 22 de diciembre de 2017*

#### ***Día 11 de dic de 2017***

Presentación a los metrologos del laboratorio de MEM (Mediciones electromagnéticas).

- Recorrido por las instalaciones del CENAMEP (laboratorios).
- Evaluación actual de nivel de incertidumbre que presentan en las mediciones, sus CMC's y conociendo los patrones nacionales y de diseminación de los distintos laboratorios de MEM de CENAMEP

#### ***Día 12 de dic de 2017***

##### **Laboratorio de multifunción**

- Introducción a los conceptos generales de metrología eléctrica y estimación de la incertidumbre,
- Análisis del balance de incertidumbre de la calibración de multímetros hasta 6 ½ dígitos, valores de corriente voltaje y resistencia DC,
- Estudio de las unidades para expresar el error e incertidumbre de la medición, error relativo expresado por ppm (partes por millón) y porcentual (% , fondo de escala)
- Modelo matemático del error de multímetros de la calibración de multímetros y Pinzas amperimétricas:

Multímetros digitales hasta 6 ½ dígitos:  $E_m = (L_m + \Delta R_m) - [(V_p - E_p) + \Delta R_p + \Delta D_p + \Delta R_p]$

Donde:

$E_m$ = Error de multímetro

$L_m$ = Lectura de multímetro

$\Delta R_m$ = Resolución de multímetro

$V_p$ = Voltaje aplicado de patrón

$E_p$ = Error de voltaje aplicado

$\Delta R_p$ = Resolución de patrón

$\Delta D_p$ = Deriva del patrón

En este proceso de revisión y análisis de los procedimientos que utiliza el CEHM, se encontró que el presupuesto de incertidumbre estaba sobre estimada en la variable de "estabilidad a un año" debido a que la "linealidad" ya incluye esta variación, sin embargo se demostró que por el grado de exactitud en el cuál se ofrece el servicio de calibración no impacta significativamente en el resultado, por lo que se debe de implementar las correcciones y actualizar las CMC's del CEHM.

A continuación se detallan algunos aspectos técnicos, así como mejores prácticas para esta magnitud.

1. Previo a la calibración de cualquier equipos, conectándolo al menos 24 horas antes de su uso, en un lugar con condiciones ambientales controladas y alimentación eléctrica estable (se procura que la frecuencia sea distinta a 60 Hz para evitar batido de señal)

2. Incluir el valor de offset (cero Medido) al valor medido por el multímetro y hacer la respectiva corrección al valor medido para así evitar la pérdida por resistencia de línea (Esta medición se hace poniendo en corto circuito las terminales del multímetro en modo medición de voltaje DC y resistencia DC a 2 hilos y colocando los terminales en circuito abierto en la medición de corriente DC, con tiempo de espera de al menos 5 minutos).
3. Para evitar el efecto FEM en cualquier tipo de conexión, previo a hacer mediciones de corriente directa, se debe de dejar estabilizar (5 a 15 minutos, dependiendo del equipo y la cantidad de calor que se genera al frotar los metales en sus terminales conectores y la cercanía a las manos de quien lo está manipulando, calor corporal).
4. Si en la mediciones de corriente alterna en valores de voltaje arriba de 100 voltios y corriente arriba de 2 amperios, no es estable en la medición en función del tiempo, esto se debe a que se tiene a calentar la resistencia interna del multímetro, entonces se debe hacer mediciones a 1, 5 y a 10 minutos después de haberlo conectado, si en las mediciones muestra deriva considerable, se deberá de hacer uso de la función "filtro" en la opción de "moving average", media móvil con 10 datos, esta función permite tomar el promedio de las ultimas y 10 consecutivas mediciones y presentarlo como valor leído.
5. En todo tipo de mediciones en corriente alterna como directa, se debe de trenzar cada par de cables para evitar la inducción e interferencia que un cable alimentado ejerce en el otro.

#### ***Día 13 de dic de 2017***

Se revisó el modelo matemático para la calibración de pinzas amperimétricas, utilizando el multicalibrador Transmille 3010 A

Pinzas amperimétricas:  $E_{PA} = (L_{PA} + \Delta R_{PA}) - (No_{vueltas\ bobina}) [(A_P - E_P) + \Delta R_P + \Delta D_P] + \Delta E_B$

Donde:

$E_{PA}$ = Error de pinza amperimétrica

$L_{PA}$ = Lectura de pinza amperimétrica

$\Delta R_{PA}$ = Resolución de pinza amperimétrica

$No_{vueltas\ bobina}$  = Relación del número de vueltas de la bobina

$\Delta E_B$ = Especificaciones Bobina

$A_P$ = Amperios aplicado de patrón

$E_P$ = Error de voltaje aplicado

$\Delta R_P$ = Resolución de patrón

$\Delta D_P$ = Deriva del patrón

En el proceso de revisión y análisis de este procedimiento, se determinó que la incertidumbre estaba sobre estimada en la variable de "exactitud efectiva", sin embargo se demostró que por el grado de exactitud en el cual se ofrece el servicio de calibración no impacta significativamente en el resultado, por lo que se debe de implementar las correcciones y actualizar las CMC's del CEHM.

Se encontró que en el presupuesto de incertidumbre del CEHM estaba sobre estimado en la variable de " exactitud efectiva " debido a que el aporte de "incertidumbre total" ya incluye esta variación.

1. El ciclo recomendado para el uso de la bobina:

Amperios aplicados	Tiempo de uso/apagado
10 A	Continuo
20 A	2 minutos encendido/5 minutos apagado*
30 A	30 segundos encendido/5 minutos apagado*

\* Esta recomendación es propiamente para el cuidado de los cables de conexión

2. El aislamiento de Los cables deben de ser de al menos 10 000 voltios para evitar el sobrecalentamiento.

**Día 13 de dic de 2017**

Se estudió el modelo matemático para las mediciones de resistencia DC a 4 hilos en la calibración de décadas de resistencia de 4 terminales (2 hilos para medir voltaje y los otros 2 hilos para medir corriente, ambos de forma individual)

El modelo matemático es:

Décadas de Resistencia:

$$E_{DR} = (I_{DR} + \Delta DR_{Rep.} + \Delta DR_{Resol.} + \Delta DR_{Coef. Temp.} + \Delta DR_{Coef. Pot.}) - [(LP - E_P) + \Delta DR_{Rep.P.} + \Delta DP + \Delta DR_{Res.P.} + \Delta EP + \Delta DR_{Rep.P0} + \Delta DP0 + \Delta DR_{Res.P.0} + \Delta EP0]$$

Donde:

EDR= Error de década de resistencia

IDR=Valor aplicado por la década de resistencia

$\Delta DR_{Rep.}$  = Repetibilidad de la década de resistencia

$\Delta DR_{Resol}$  = Resolución década de resistencia

$\Delta DR_{Coef. Temp.}$  = Coeficiente de temperatura década resistencia

$\Delta DR_{Coef. Pot.}$  = Coeficiente de potencia década resistencia

$\Delta DR_{Res.P.0}$  = Resolución patrón "0"

$\Delta EP0$  = especificaciones patrón "0"

LP = Lectura patrón

EP = Error patrón

$\Delta DR_{Rep.P.}$  = Repetibilidad década de resistencia

$\Delta DP$  = Deriva del patrón

$\Delta DR_{Res.P.}$  = Resolución patrón

$\Delta EP$  = Especificación patrón

$\Delta DR_{Rep.P0}$  = Repetibilidad patrón "0"

$\Delta DP0$  = Deriva de patrón "0"

En el proceso de revisión y análisis de este procedimiento o apartado, se determinó que la incertidumbre estaba sobre estimada en la variable de "coeficiente de potencia", sin embargo se demostró que por el grado de exactitud en el cual se ofrece el servicio de calibración no impacta significativamente en el resultado, por lo que se debe de implementar las correcciones y actualizar las CMC's del CEHM.

Como parte de la mejora en este servicio de calibración es incluir la "fem" debido a contacto del paso por paso, ya que existe rozamiento entre los terminales de cobre, se recomienda estudiar este comportamiento, sin embargo se utiliza aproximadamente 5 minutos como un valor .

- Antes de cada calibración se debe de tomar el valor mínimo generado por la década luego se debe calentar todos los diales de la década girándolos hasta su máximo valor y regresando al valor mínimo y se debe de medir el mínimo valor nuevamente, el periodo de estabilización es de aproximadamente 10 a 15 minutos.
- Se debe de tomar siempre la mejor configuración para la medición y esta es a 4hilos, si se hace a 2 hilos se debe de tomar en cuenta la perdida y hacer la corrección en la medición.
- Siempre conectar primero las 2 terminales de voltaje a la década y luego las 2 terminales de corriente.

**Día 14 de dic de 2017**

Se trabajó en las especificaciones de exactitud y estabilidad en función del tiempo como lo detalla el fabricante de los equipos, estas mismas se dan en unidades relativas como ppm, % o absolutas expandidas +/- (valor) con k=2 Las especificaciones se deben de comparar contra el calibrando o bien patrón, hay una relación mínima de TUR (relación de unidades técnicas), esta relación debería de ser al menos de 3 veces mejor el patrón con respecto al calibrando.

Por ejemplo y se comparó el multímetro **8081** y el multicalbrador **3010 A** de TRANMILLE en valores de corriente alterna.

<b>Especificaciones en voltaje de corriente directa Vcd a 1 año</b>			
<b>Valor nominal (V)</b>	<b>8081 (mV)</b>	<b>3010 A (mV)</b>	<b>TUR</b>
0,100	4,8 ppm Lectura+1,7 ppm Rango <b>0,000 65</b>	15 ppm Set +2 uV <b>0,003 5</b>	<b>5,4</b>
0,200	3,9 ppm Lectura+0,6 ppm Rango <b>0,001 38</b>	<b>0,005 0</b>	<b>3,6</b>
1,000	<b>0,004 5</b>	9 ppm Set +2,5 uV <b>0,001 2</b>	<b>2,6</b>
<b>Especificaciones en voltaje de corriente alterna Vca a 1 año</b>			
1 @ 60 Hz	0,03 % Lectura+0,006 % Rango 0,36 (@95%, k=2) <b>0,18</b>	0,0160 % Lectura+120 uV +/- 0,000 28 <b>0,16</b>	<b>1,1</b>

En la revisión se encontraron algunos aspectos de mejora, que se actualizarán en la nueva versión del procedimiento, mismas que se detallan a continuación:

- En valores bajos de corriente directa, se muestra que por la exactitud del multicalibrador, el multímetro como patrón queda fuera de rango ya que el valor del TUR no mejoran, tiene un comportamiento descendente.
- Se encuentra que en el valor de 1 V ya queda fuera de la relación ya que no se cumple.
- En valores bajos de corriente alterna son más exigentes para calibración directa con un multímetro, debido a la inestabilidad en la linealidad y deriva en función del tiempo.
- Nos recomiendan que enviemos el multicalibrador y el multímetro (si se obtiene) a calibrar a un laboratorio acreditado o bien con CMC's declaradas, donde se usan técnicas y equipos más exactos y estables.

También se hace un análisis para determinar si el Multímetro **KEITHLEY 2000**, sirve como patrón para calibrar la década de resistencia **COPRICO 006-A**, ya que este valor es el más exigente en el proceso.

<b>Especificaciones en resistencia de corriente directa (4 hilos) a 1 año</b>			
<b>Valor nominal (Ω)</b>	<b>Multímetro (Ω)</b>	<b>Década de resistencia (Ω)</b>	<b>TUR</b>
1,001	$100 \text{ ppm Lectura} + 40 \text{ ppm Rango}$ $\frac{100}{1e6} * 1,001 + \frac{40}{1e6} * 100 = \frac{0,004 100 1}{\sqrt{3}}$ <p style="text-align: center;"><b>0,002 367 1</b></p>	$(2 \text{ y } 0,2) \% \text{ en valor de } (0,001 \text{ y } 1) \Omega$ $1 \frac{0,2}{100} * 1 + 1 * \frac{2}{100} * 0,001 = \frac{0,002 02}{\sqrt{3}}$ <p style="text-align: center;"><b>0,001 166 25</b></p>	<b>2,02</b>
1,005	$100 \text{ ppm Lectura} + 40 \text{ ppm Rango}$ $\frac{100}{1e6} * 1,005 + \frac{40}{1e6} * 100 = \frac{0,004 100 5}{\sqrt{3}}$ <p style="text-align: center;"><b>0,002 367 4</b></p>	$(2 \text{ y } 0,2) \% \text{ en valor de } (0,001 \text{ y } 1) \Omega$ $1 \frac{0,2}{100} * 1 + 5 * \frac{2}{100} * 0,001 = \frac{0,002 1}{\sqrt{3}}$ <p style="text-align: center;"><b>0,001 212 4</b></p>	<b>1,95</b>

Se encontró estas observaciones:

- En valores presentados en la tabla anterior se muestra que la década de resistencias no se recomienda calibrar en los 1eros 3 diales con pasos de 0,001 Ω/paso, 0,01 Ω/paso, 0,1 Ω/paso bajos porque la exactitud de la dedada es mayor a la relación permitida.
- Si se requiere calibrar se recomienda calibrar 2 veces y ver el comportamiento del equipo en función del tiempo y de esa forma se valida la calibración.
- La configuración al calibrar este tipo de décadas es a 4 hilos ya que se elimina la resistencia de línea del conductor, de lo contrario se deberá de hacer corrección por conexión a 2 hilos, midiendo el cero en cada dial y corrigiendo la medición.

**Día 15 de dic de 2017**

Se trabajó con el análisis de incertidumbre de los medidores de resistencia a tierra

El funcionamiento de estos equipos es básico, se mide resistencia de corriente directa en un ámbito de 0,001 a 50 Ω, configuración a 3 o 4 hilos.

Se maneja como un usual medidor de resistencia a 3 o 4 hilos.

El modelo matemático es:

Medidores de resistencia a tierra:  $E_{MRT} = (I_{MRT} + \Delta MRT_{Resol.}) - (\Delta P_{certificado} + \Delta P_{Temp.} + \Delta P_{Potencia} + \Delta P_{Deriva})$

donde:

$E_{MRT}$  = Error medidor de resistencia a tierra

$I_{MRT}$  = Indicación medidor de resistencia a tierra

$\Delta MRT_{Resol.}$  = Resolución medidor de resistencia a tierra

$\Delta P_{certificado.}$  = Datos certificado Patron

$\Delta P_{Temp}$  = Aporte por coeficiente de temperatura

$\Delta P_{Potencia}$  = Aporte por coeficiente de potencia

$\Delta P_{Deriva}$  = Aporte por deriva del Patrón

Como parte del estudio se recomienda:

- Tener en cuenta según los reglamentos utilizados por los entes reguladores sobre la resistencia mínima permitida en la medición de resistencia a tierra y de esa forma ver la manera de replicarla en la calibración.
- El las mediciones con configuración a 3 hilos tiene una distinta conexión, se deberá entonces tomar en cuenta el erro que introduce a la medición, restando este de la indicación promedio del o solo tomando lo mismo que aporta por incertidumbre de resolución.
- Si se toma la decisión de calibrar con los cables del equipo, se elimina el aporte de corrección por de los cables.

***Día 18 de dic de 2017***

### **Laboratorio de Tiempo y Frecuencia**

El área de Mediciones Electromagnéticas MEM de CENAMEP tiene también a cargo la magnitud de Tiempo y Frecuencia, en donde se calibran medidores y generadores de tiempo y frecuencia de alta y mediana exactitud.

También se calibran tacómetros y cronómetros con medidores y generadores disciplinados al patrón nacional de Tiempo y Frecuencia de CENAMEP, se planteó originalmente los equipos que tiene el CEHM actualmente y se encontró que con:

- El multímetro de 6 ½ dígitos en el modo de contador de frecuencia de 5 Vpp de **9 Hz a 450 Hz**, con incertidumbre de **0,12 mHz a 0,68 mHz** en onda cuadrada
- El multicalibrador de 8 ½ dígitos en el modo de generador de frecuencia de **100 Hz a 10 MHz**, con incertidumbre de **0,02 mHz a 2 Hz**.

Se pueden realizar los experimentos para hacer la calibración de tacómetros (medidores de revoluciones) y cronómetros (medidores de tiempo) haciendo uso de 2 circuitos electrónicos que permiten:

- Convertir la señal de entrada ( frecuencia variadas) a un haz de luz, por medio de un transistor NPN que se activa al polarizarse con valores de voltaje positivos arriba de 0,7 V y actúa como interruptor del LED (alimentado con una fuente externa DC de 5 V), de esta forma el LED emite luz a una relación por ciclo recorrido, esto permite con ciertas herramientas estadísticas definir el equivalente de las revoluciones por la base de tiempo definida que estaría relacionando el generador de frecuencia con el tacómetro



- censar la oscilación del cuarzo (base de tiempo de los cronómetros) mediante mediciones continuas, capturando la señal de actualización de la pantalla LCD del cronómetro.  
La señal de actualización es inducida en una placa de metal conductor y luego ingresada a un circuito comparador de señal, el cual adecúa la señal para poder ser capturada por el contador de frecuencia (aproximadamente 32 Hz), El circuito hace una comparación entre la señal inducida por pantalla LCD del cronómetro y cero voltios de tensión DC (ground del circuito), La frecuencia de la señal inducida se capturada utilizando un contador de frecuencia, por un periodo de al menos 1 hora continuas, tomando un dato cada segundo, los valores de frecuencia de la señal inducida y con ciertas herramientas estadísticas se obtienen el error por la base de tiempo del cronometro.

Para iniciar, ambos experimentos se montaran en el laboratorio de CEHM contando con el generador y contador de frecuencia actuales y se estimara si es factible la implementación del ensayo de calibración o no, por la posible falta de exactitud en los equipos con los que se cuenta y porque originalmente no fueron diseñados para hacer y generar mediciones de alta ni mediana exactitud en Tiempo y Frecuencia.

Partiendo de esto se planteara la posible adquisición de equipos más apropiados para la calibración en esta magnitud o bien habilitar alguno de los dos ensayos.

### **Laboratorio de Humedad Relativa y Temperatura Ambiental**

El área de Mediciones Electromagnéticas MEM de CENAMEP también tiene a cargo la magnitud de humedad relativa y temperatura ambiental, en donde se calibran medidores de condiciones ambientales con una incertidumbre de calibración de 3% en humedad y 0,05 °C en temperatura, ellos hacen uso del método de calibración por medio de un generador de humedad y temperatura.

Esta cámara permite por medio de 2 presiones que se generan, una humedad definida a una temperatura de saturación de la cámara, esto permite poder variar la temperatura de calibración a cierta humedad y viceversa.

El CEHM presta el servicio de calibración de medidores de condiciones ambientales desde junio del 2017, con una cámara similar a la de CENAMEP, proveyendo de una incertidumbre de 1,5% a 3,5% en humedad y de 0,5°C en temperatura.

Se hizo las consultas del caso para determinar las recomendaciones en ciertos aspectos en particular y se encontró que gracias a estas recomendaciones se corregirá y modificara:

- Purgado de la cámara (agua y aire residual) previo al encendido.
- El procedimiento de calibración: cuidado de los sensores de los equipos, periodo de secado, periodo de estabilización, análisis de la deriva e histéresis, verificación de la estabilidad y uniformidad en temperatura y humedad.
- Colocar un valor máximo de la incertidumbre total de calibración ofrecida, de este modo protegernos y ofrecer un valor constante en nuestro certificado así como ellos manejan el 3 % para todo el rango de trabajo.

Como parte del seguimiento y para determinar cuán efectivas han sido las mejoras propuestas a los procedimientos revisados se planteó realizar una intercomparacion bilateral, y con ello validar las CMC's establecidas.

**Día 18 al 22 de dic de 2017**

**Laboratorio de medidores de energía, Medidores de energía**

El MEM de CENAMEP cuenta con un banco de 5 posiciones calibración de medidores de energía residenciales trifásicos y monofásicos (forma **1S** y **2S**) de 0,005% de exactitud con CMC's reconocidas, trazable a su patrón de energía.

El patrón de energía es trazable a PTB (instituto de metrología de Alemania) con una incertidumbre de 100 ppm, que permite dar trazabilidad a medidores patrón de mayor exactitud, la relación TUR recomendada para la calibración es de al menos 5 veces por la inestabilidad de las mediciones en corriente alterna y por la deriva y especificaciones exigentes de los equipos a calibrar.

El CEHM cuenta con una fuente monofásica controlada con un medidor patrón de 0,1% de exactitud y como sistema completo 0,2%, para la calibración de medidores de energía, este mismo se limita a medir simultáneamente un voltaje y una corriente.

Dada la relación TUR del equipo, se podría calibrar equipos monofásicos con exactitud de 0,5% (la relación TUR no es la adecuada, entonces se recomienda hacer la calibración al menos 3 veces por equipo calibrado).

Se encontró que por ser monofásico el equipo del CEHM, los únicos medidores residenciales que se podrían ensayar serían el tipo **1S** (medición simultanea de un voltaje y una corriente), entonces se realizó la configuración del banco trifásico para hacer el ensayo a un medidores **2S** con la opción de configurarse a **1S** con una sola medición de corriente y voltaje y se encontró para validar que tipos de medidores se podrían ensayar en el medidor del CEHM replicando las distintas configuraciones:

Configuración del medidor	Configuración de la medición de la/las bobinas	Numero de bobinas en las que se midió la corriente	Constante del medidor (wh/rev)	Resultado (%)	Opción viable para el CEHM
<b>1S</b>	Normal	1	7,2	<b>98,5</b>	SI
<b>2S</b>	Normal	1	7,2	<b>95</b>	NO
<b>2S</b>	Serie	2	7,2	<b>55</b>	NO

Y se encontró lo siguiente:

- Por diseño de fabricación el medidor del CEHM, solo se pueden calibrar medidores tipo **1S**, estos miden corriente a través de una sola bobina y voltaje en un par de bornes.
- Al replicar la calibración de medidores tipo **2S**, se utilizó un medidor que puede separar de forma externa las 2 bobinas en su punto común de medición permitiendo así hacer las mediciones individuales, pero como se muestra en la tabla anterior no repite el error de medición en ninguno de las dos configuraciones, esto se debe a la relación de Wh/rev, esta cambia y por eso de la diferencia de valores encontrados.
- Las pruebas que se realizaron fueron al 100 % de corriente de prueba del medidor.

Teniendo como premisa lo anteriormente detallado, se siguió con el detalle de la hoja de cálculo y evaluación de la incertidumbre, las pruebas que se recomiendan realizar en el ensayo son las siguientes:

- Al 10% de la corriente de prueba: con voltaje nominal se le aplica una corriente del 10% de la corriente de prueba al medidor a factor de potencia 0 y se obtiene el error.
- Al 100% de la corriente de prueba: con voltaje nominal se le aplica una corriente del 100% de la corriente de prueba al medidor a factor de potencia 0 y se obtiene el error.
- Al 100% de la corriente de prueba a factor de potencia del 0,5: con voltaje nominal se le aplica una corriente del 100% de la corriente de prueba al medidor a factor de potencia 0,5 y se obtiene el error.

Hay 2 pruebas adicionales que para la verificación de medidores de energía son opcionales, ya que usualmente solo se realizan para ensayos más profundos y detallados del equipo en cuestión:

- Marcha en vacío: se le aplica un voltaje nominal y una corriente de 0 amperios, se marca el inicio del recorrido del plato marcador, después de 1 hora este recorrido no debe superar una revolución del recorrido del plato marcador.
- Arranque en vacío: con un voltaje nominal de cero voltios y una corriente del 10% se marca el inicio del recorrido del plato marcador, después de 1 hora este recorrido no debe superar una revolución del recorrido del plato marcador.

El modelo matemático es:

Medidores de energía eléctrica:  $E_{ME} = (L_{CP} + \Delta TC_p + \Delta Res_p + \Delta TA_p + \Delta D_p + \Delta Cert_p) + \Delta Cal_p$

Donde:

$E_{ME}$  = Error medidor de energía

$L_{CP}$ : Lectura del comparador de pulsos de la mesa

$\Delta TC_p$ : Corrección a la incertidumbre debida a la realización de la calibración a una temperatura diferente a la que fue calibrado el patrón. Su valor promedio es 0.

$\Delta Res_p$ : Corrección de la incertidumbre debido a la resolución del patrón de referencia. Su valor promedio es 0.

$\Delta TA_p$ : Corrección de la incertidumbre debido a la influencia de la variación de la temperatura durante el proceso de calibración. Su valor promedio es 0.

$\Delta D_p$ : Corrección de la incertidumbre debido a la deriva del patrón. Su valor promedio es 0.

$\Delta Cert_p$ : Corrección de la incertidumbre debido a calibración del patrón. Su valor promedio es 0.

$\Delta Cal_p$ : Corrección de la indicación del patrón obtenida del certificado de calibración.

### **Analizadores de calidad de energía**

El analizador de calidad de energía trifásico es un equipo con aplicación muy similar al medidor de energía, pero este almacena los datos medidos, voltaje corriente tiempo y energía suministrada a 60 Hz con su software en la memoria del equipo, esto permite analizar los datos al descargarlos en la computadora y ver el comportamiento del servicio eléctrico.

Al contar el CEHM con el calibrador de medidores de energía monofásico, se puede realizar la calibración de analizadores de calidad de energía trifásicos de 1% de exactitud, haciendo el ensayo de las mediciones en voltaje corriente potencia y energía, fase por fase.

El procedimiento aplica a todo conjunto, analizador de calidad de energía eléctrica digital y sensor de corriente (pinza de corriente), monofásico o trifásico en sus funciones de medida de corriente alterna, tensión alterna, potencia eléctrica y registrador de energía eléctrica.

Límites por función de medida			
Función	Frecuencia	Límite Inferior	Límite Superior
Tensión Alterna	60 Hz	60V	300 V
Corriente Alterna		1 A	1000 A (Método Indirecto)
Potencia Eléctrica		120 W	240 000 W
Registro de Energía		1 kWh	20 kWh

Esta prueba consiste en suministrar una cantidad específica de energía eléctrica al analizador de calidad de energía, mediante el sistema de medición conformado por un patrón de energía de referencia y una fuente de alimentación; El error del analizador como registrador de energía se establece mediante la comparación de ambas indicaciones o registros.

El modelo matemático es:

Medidores de energía eléctrica:  $EMCE = (IMCE + \Delta ResMCE) - (IP + \Delta CalP + \Delta ResP + \Delta DP + \Delta CalSCP)$

Donde:

EMCE = Error medidor de calidad de energía

IMCE: Indicación del equipo bajo calibración.

IP: Lectura o indicación del patrón.

$\Delta ResMCE$ : Componente de incertidumbre por resolución del equipo bajo calibración.

$\Delta ResP$ : Componente de incertidumbre por resolución del patrón

$\Delta CalP$ : Componente de incertidumbre de la calibración del patrón.

$\Delta DP$ : Componente de incertidumbre por deriva del patrón.

$\Delta CalSCP$ : Componente de incertidumbre por sensor de corriente.

Se hicieron ciertas recomendaciones al calibrar analizadores de calidad de energía:

- Por ser el equipo monofásico, al medir energía se deberá de hacer fase por fase, esto se permite porque la energía total que muestra el analizador es la suma aritmética de las mediciones de cada fase.
- Se debe de tener cuidado en la mediciones respectivas de voltaje y corriente para evitar sobrecalentamiento o corto circuito en los terminales de los equipos