

# **GUÍA TÉCNICA SOBRE TRAZABILIDAD E INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN PARA SERVICIOS DE CALIBRACIÓN UTILIZANDO GENERADORES DE UNA FUNCIÓN O MULTIFUNCIONES**

**México, Abril 2008**

**Derechos reservados ©**

## PRESENTACIÓN

Durante la evaluación de la competencia técnica de los laboratorios de calibración y de ensayo, la demostración de la trazabilidad y la estimación de la incertidumbre de las mediciones, requiere la aplicación de criterios técnicos uniformes y consistentes.

Con el propósito de asegurar la uniformidad y consistencia de los criterios técnicos en la evaluación de la trazabilidad y la incertidumbre de las mediciones, la entidad mexicana de acreditación, a. c. (ema), solicitó al Centro Nacional de Metrología (CENAM) que encabezara un programa de elaboración de Guías Técnicas de Trazabilidad e Incertidumbre de las Mediciones.

Los Comités de Evaluación, a través de los Subcomités de los Laboratorios de Calibración y de Ensayo, se incorporan a este programa y su participación está orientada a transmitir sus conocimientos y experiencias técnicas en la puesta en práctica de las Políticas de Trazabilidad y de Incertidumbre establecidas por ema, mediante el consenso de sus grupos técnicos de apoyo. La incorporación de estos conocimientos y experiencias a las Guías, las constituyen en referencias técnicas para usarse en la evaluación de la competencia técnica de los laboratorios de calibración y ensayo.

En este programa, el CENAM se ocupa, entre otras actividades, de coordinar el programa de las Guías Técnicas; proponer criterios técnicos sobre la materia; validar los documentos producidos; procurar que todas las opiniones pertinentes sean apropiadamente consideradas en los documentos; apoyar la elaboración de las Guías con eventos de capacitación; asegurar la consistencia de las Guías con los documentos de referencia indicados al final de este documento.

La elaboración de las Guías está vinculada con la responsabilidad que comparten mutuamente los laboratorios acreditados de calibración y de ensayo, de ofrecer servicios con validez técnica en el marco de la evaluación de la conformidad. La calidad de estos servicios se apoya en la confiabilidad y uniformidad de las mediciones, cuyo fundamento está establecido en la trazabilidad y en la incertidumbre de las mismas. Los que ejercitan la evaluación de la competencia técnica de los laboratorios, así como los que realizan la práctica rutinaria de los servicios acreditados de calibración y ensayo, encontrarán en las Guías una referencia técnica de apoyo para el aseguramiento de las mediciones.

Las Guías Técnicas de Trazabilidad e Incertidumbre de las Mediciones no reemplazan a los documentos de referencia en que se fundamentan las políticas de trazabilidad e incertidumbre de emc. Las Guías aportan criterios técnicos que servirán de apoyo a la aplicación de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006. La consistencia de las Guías con esta norma y con los demás documentos de referencia, permitirá conseguir el propósito de asegurar la confiabilidad de la evaluación de la conformidad por parte de los laboratorios de calibración y ensayo.

**Dr. Héctor O. Nava Jaimes**  
Director General  
Centro Nacional de Metrología

**María Isabel López Martínez**  
Directora Ejecutiva  
entidad mexicana de acreditación a.c.

Grupo de Trabajo que participó en la elaboración de esta Guía:

**ALCÁNTARA GONZÁLEZ, Javier, Industrias IEM, S.A. DE C.V.**

**CAMPOS HERNÁNDEZ, Sara Andrea, CENAM**

**GARAY CORREA, Juan Jesús, SEPRI, S.A. DE C.V.**

**GARAY MORENO, Juan Edmundo, SEPRI, S.A. DE C.V.**

**GONZÁLEZ GONZÁLEZ, Alonso Salvador, LAPEM**

**GUTIÉRREZ GALVÁN, Oscar, CANEFER, S.A. DE C.V.**

**GUTIÉRREZ GUZMÁN, Fernando Antonio, CANEFER, S.A. DE C.V.**

**VELASCO BLANCO, Norma Rocío, METAS, S.A. DE C.V.**

## ÍNDICE

	<b>página</b>
<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>2</b>
<b>GRUPO DE TRABAJO QUE PARTICIPÓ EN LA ELABORACIÓN</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>5</b>
<b>1. NOTACIONES</b>	<b>6</b>
<b>2. PROPÓSITO DE LA GUÍA</b>	<b>6</b>
<b>3. ALCANCE DE LA GUÍA</b>	<b>6</b>
<b>4. MENSURANDO</b>	<b>7</b>
<b>5. MÉTODO Y SISTEMA DE MEDICIÓN</b>	<b>9</b>
<b>6. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES</b>	<b>13</b>
<b>7. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN</b>	<b>18</b>
<b>8. VALIDACIÓN DE MÉTODOS</b>	<b>25</b>
<b>9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>25</b>

## 1. NOTACIONES

Medidor bajo calibración: MBC

Generador de una función o multifunciones (dispositivos activos): Generador de referencia

Unión de referencia a 0 ° C: Unión de referencia

## 2. PROPÓSITO DE LA GUÍA

Esta guía tiene la finalidad de establecer las bases, criterios y requisitos que deben cumplir los laboratorios de calibración, satisfaciendo los lineamientos marcados por la NMX-EC-17025-IMNC-2006, para demostrar la trazabilidad y la incertidumbre asociadas a los resultados de la calibración realizada a instrumentos de medición de hasta 4 <sup>3</sup>/<sub>4</sub> dígitos, en magnitudes eléctricas, cuando para realizar el servicio de calibración se utilice un generador de referencia.

## 3. ALCANCE DE LA GUÍA

Los criterios, bases y requisitos establecidos en esta guía aplican para servicios de calibración realizados por el método directo, el cual consiste en conectar directamente el MBC al generador de referencia, determinando el error entre el valor de la magnitud medida por el MBC y el valor del patrón de referencia de medición. En esta guía, el patrón de medición es identificado como el generador de referencia. Aplica para los instrumentos de medición de magnitudes eléctricas que se indican en la tabla I. Si el laboratorio desea ofrecer servicios en puntos fuera del alcance de esta guía deberá aportar elementos adicionales para demostrar la trazabilidad, tales como calibraciones en puntos específicos, validación de métodos de medición, etc.

**TABLA I**

<b>Servicio de Calibración</b>
Medidores de tensión en corriente continua
Medidores de tensión en corriente alterna
Medidores de intensidad de corriente continua
Medidores de intensidad de corriente alterna
Medidores de resistencia eléctrica (simulación electrónica)
Medidores de capacitancia (simulación electrónica)
Medidores de potencia en corriente continua
Medidores de potencia en corriente alterna
Medidores de factor de potencia
Medidores de ángulo de fase

<b>Servicio de Calibración</b>
--------------------------------

Indicadores de temperatura que operen con termopares
--

Indicadores de temperatura que operen con RTDs
--

En el alcance de esta guía en los servicios de calibración de medidores de resistencia eléctrica y capacitancia, se considera que en algunos casos el generador de referencia no contiene patrones de resistencia o de capacitancia con los cuales se realice la contrastación de algún MBC, sino que utiliza circuitos electrónicos que producen los efectos de una resistencia o de una capacitancia en el circuito eléctrico de medición en el que participa el MBC.

Esta guía no contempla los requerimientos necesarios para la calibración de medidores de resistencia de aislamiento, puentes de resistencia, medidores de resistencia de tierra ni puentes de impedancia tipo RLC. En el caso de la calibración de osciloscopios, esta guía contempla únicamente los requerimientos para la calibración de amplitud en tensión, mientras que la calibración de la base de tiempo de estos instrumentos está fuera del alcance de esta guía.

Durante el uso de indicadores de temperatura, éstos deben ser empleados conjuntamente con sensores de esa magnitud (comúnmente termopares o RTDs). En esta guía sólo se cubren los requerimientos para la calibración del indicador. Para tener mediciones de temperatura trazables a patrones nacionales, el usuario del indicador debe también tener calibrados sus sensores de temperatura.

## 4. MENSURANDO

Al realizar servicios de calibración de medidores empleando un generador de referencia, independientemente de la magnitud de medición, el mensurando será el error de calibración relativo, el cual se expresará en unidades relativas a la magnitud o en un valor porcentual:

$$\text{Error relativo [\%]} = \frac{\text{Valor medido} - \text{Valor referencia}}{\text{Valor referencia}} * 100 \quad \text{Ec.1}$$

Para los servicios de calibración de indicadores de temperatura y de medidores de ángulo de fase el mensurando será el error de calibración, el cual se expresará en unidades de la magnitud:

$$\text{Error [unidad]} = \text{Valor medido} - \text{Valor de referencia} \quad \text{Ec.2}$$

### 4.1. Intervalo típico de medición

Los intervalos de medición aplicables a esta guía se muestran en la tabla II, donde se indica el alcance del generador de referencia requerido para ofrecer los servicios de calibración a

los medidores de 4 <sup>3</sup>/<sub>4</sub> dígitos indicados en la misma. Cuando se realicen servicios de calibración fuera de estos intervalos deberán considerarse requerimientos adicionales a los señalados en esta guía.

**TABLA II**

Servicio de Calibración	Alcance del generador de referencia
Medidores de tensión en corriente continua	10 mV a 1000 V
Medidores de tensión en corriente alterna	10 mV a 1000 V; 40 Hz a 100 kHz
Medidores de intensidad de corriente continua	1 mA a 20 A
Medidores de intensidad de corriente alterna	10 mA a 20 A; 45 Hz a 5 kHz
Medidores de resistencia eléctrica (simulación electrónica)	10 Ω a 300 MΩ
Medidores de capacitancia (simulación electrónica)	10 nF a 1 mF
Medidores de potencia en corriente continua	10 mV a 1000 V; 1mA a 20 A (10 μW a 20 kW)
Medidores de potencia en corriente alterna	10 mV a 1000 V; 10 mA a 20 A; 45 Hz a 60 Hz y factor de potencia de 0,5 a 1,0 en atraso y adelanto
Medidores de factor de potencia	Factor de potencia de 0,5 a 1,0 en atraso y adelanto; 120 V a 240 V; 5 A a 10 A, 45 Hz a 60 Hz
Medidores de ángulo de fase	0 ° a ± 180 °; 120 V a 240 V; 5 A a 10 A, 45 Hz a 60 Hz
Indicadores de temperatura que operen con termopares	J, K, T
Indicadores de temperatura que operen con RTDs	PT385 100 Ω, PT3926 100 Ω.

#### 4.2. Incertidumbre de medición esperada

Dependiendo del servicio de calibración, de los diferentes intervalos de medición y del generador de referencia, se espera una diferente incertidumbre de medición, por lo que en esta guía no se define un valor específico de incertidumbre esperada. La incertidumbre esperada podrá ser igual a la especificación técnica de estabilidad a un año del generador de referencia del laboratorio o a la estabilidad a un año que el laboratorio haya evaluado y que demuestre, de acuerdo a la NMX-EC-17025-IMNC-2006, que es menor que la especificación técnica, sin embargo el laboratorio debe demostrar que la incertidumbre



asociada a sus servicios de calibración incluye las componentes de incertidumbre que se indican en el punto 7 de esta guía.

## 5. MÉTODO Y SISTEMA DE MEDICIÓN

### 5.1. Método de medición

Los criterios, bases y requisitos establecidos en esta guía aplican cuando el servicio de calibración se realice por el método directo, el cual consiste en conectar directamente el MBC al generador de referencia, determinando el error entre el valor de la magnitud medida por el MBC y el valor de la magnitud generada por el generador de referencia.

Para los diferentes servicios de calibración objeto de esta guía el laboratorio debe reunir los requerimientos indicados en la tabla III para aplicar el método de medición:

**TABLA III**

Servicio de Calibración	Requerimientos para aplicar el método de medición
Medidores de tensión en corriente continua	<u>El laboratorio debe demostrar cómo minimiza el efecto del cable de interconexión entre el generador de referencia y el MBC, indicando su impacto en los diferentes intervalos de medición, así como la selección del mismo.</u>
Medidores de tensión en corriente alterna	
Medidores de intensidad de corriente continua	
Medidores de intensidad de corriente alterna	
Medidores de potencia en corriente continua	
Medidores de potencia en corriente alterna	
Medidores de factor de potencia	
Medidores de ángulo de fase	

**TABLA III (CONTINUACIÓN)**

Servicio de Calibración	Requerimientos para aplicar el método de medición
Medidores de resistencia eléctrica (simulación electrónica)	<u>El laboratorio debe demostrar cómo minimiza el efecto del cable de interconexión entre el</u>

Servicio de Calibración	Requerimientos para aplicar el método de medición
Medidores de capacitancia (simulación electrónica)	<u>generador de referencia y el MBC, indicando su impacto en los diferentes intervalos de medición, así como la selección del mismo.</u>
Indicadores de temperatura que operen con RTDs	
Indicadores de temperatura que operen con termopares	<u>El laboratorio debe demostrar que utiliza una unión de referencia, ya sea interna (compensación electrónica del generador) o externa. Cuando la unión de referencia sea externa el laboratorio debe demostrar que utiliza técnicas adecuadas para obtener una temperatura estable de 0 °C con incertidumbre conocida, evaluada por el laboratorio.</u>

## 5.2. Documentos de consulta

El laboratorio debe consultar en los manuales de operación de su generador de referencia y del MCB las condiciones ambientales de operación necesarias para mantener en valores conocidos la incertidumbre asociada a la estabilidad del generador de referencia.

El laboratorio debe consultar las recomendaciones del fabricante del generador de referencia y del MBC para la ejecución de las funciones de autocalibración, los tiempos de estabilización requeridos, configuraciones de operación, así como recomendaciones generales para operar adecuadamente ambos instrumentos de medición.

## 5.3. Procedimiento de medición

El laboratorio debe contar con procedimientos de medición preferentemente por magnitud indicando claramente las consideraciones para los diferentes intervalos de calibración del MBC.

Un procedimiento debe contener como mínimo: objetivo, alcance del servicio de calibración, condiciones de medición, descripción del método de medición, diagrama de conexiones, modelo matemático, estimación de la incertidumbre y referencias. De no estar contenida toda la información en un mismo procedimiento, el mismo procedimiento deberá hacer referencia a los procedimientos que incluyan los requerimientos indicados. Los métodos de medición descritos en los procedimientos del laboratorio deben estar validados.

## 5.4. Equipos, instrumentos e instalaciones

### 5.4.1. Instalaciones

El laboratorio debe tener elementos objetivos para asegurar que el generador de referencia y el MBC se encuentran en las condiciones ambientales de operación requeridas para no poner en riesgo la trazabilidad de las mediciones (típicamente indicadas por su fabricante), para lo que deberá contar con instrumentos de medición calibrados para monitorear las condiciones ambientales de temperatura y de humedad relativa en las que se realiza el servicio de calibración.

Si el laboratorio debe realizar servicios de calibración fuera de las condiciones ambientales en las que se conocen los valores en las diferentes magnitudes del generador de referencia, el laboratorio debe demostrar que cuenta con el soporte suficiente para determinar cuál es la incertidumbre de las mediciones, considerando los coeficientes de temperatura que indica el fabricante o considerando la evaluación que el laboratorio haya realizado del mismo.

### 5.4.2. Equipos e instrumentos

El laboratorio debe contar con:

- Un generador de referencia, el que utilizará como patrón para dar los servicios de calibración indicados en esta guía, con el método de medición indicado en esta guía.
- Un instrumento para realizar la verificación entre periodos de calibración de las magnitudes básicas de su generador de referencia. Este instrumento debe estar calibrado y debe ser capaz de detectar las desviaciones esperadas de acuerdo a los servicios que proporciona el laboratorio.
- Cables del calibre y aislamiento adecuados para los diferentes niveles de resistencia eléctrica, intensidad de corriente y tensión en corriente continua o alterna en los que se realice el servicio de calibración.
- Cables de cobre, para la calibración de indicadores de temperatura que operen con termopares, cuando el indicador y el generador utilicen unión de referencia interna.
- Cables de termopar correspondientes al alcance (tipos de termopar) en que el laboratorio solicite acreditación, calibrados a temperatura ambiente, cuando el generador de referencia utilice una unión de referencia externa, por ejemplo un baño de hielo.
- Agua desionizada o destilada o con la pureza suficiente para la realización de la unión de referencia externa a 0 °C, cuando se utilice un baño de hielo.

## 5.5. Competencia del personal

El personal que solicite acreditación para los servicios de calibración descritos en esta guía debe:

- Saber operar el generador de referencia y los MBC.
- Saber interpretar las especificaciones técnicas del generador de referencia así como las especificaciones técnicas de los MBC.
- Cumplir con los requerimientos indicados en el punto 5.1 de esta guía para lo que debe contar con conocimientos técnicos, teóricos y prácticos (técnicas de medición e interconexión) específicos para cada una de las magnitudes en las que desee demostrar su competencia técnica.
- Conocer los procedimientos técnicos relacionados con las diferentes magnitudes y saber aplicarlos.
- Saber interpretar los resultados de un certificado o informe de calibración para aplicar las correcciones del mismo a los valores de su generador de referencia así como también para estimar la incertidumbre del resultado de la calibración del MBC.
- Ser capaz de determinar el modelo matemático para determinar el mensurando de los servicios de calibración objeto de esta guía así como de estimar la incertidumbre partiendo de dicho modelo matemático.
- Conocer el método de verificación del patrón de referencia y realizar las actividades de verificación del mismo de acuerdo al programa de verificaciones que establezca el laboratorio.
- Entender<sup>1</sup> la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006

El personal que forme parte del proceso de medición y que cumpla con uno o varios de los requerimientos citados anteriormente se le considerará personal en capacitación, hasta que reúna todos los requerimientos.

El laboratorio debe tener documentados las funciones y perfiles de sus técnicos, así como un programa de capacitación en que se optimicen las competencias técnicas de su personal, este elemento es indispensable para asignar al personal del laboratorio la competencia para asegurar la trazabilidad y determinar la incertidumbre de las mediciones.

---

<sup>1</sup> Entender.-Asimilar las ideas; tenerlas precisas y claras. Extraer consecuencias

## 6. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES

### 6.1. Definición

*Trazabilidad:* Propiedad del resultado de una medición o de un patrón, tal que estos puedan ser relacionados con referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas incertidumbres determinadas [1].

#### NOTAS

- i. Este concepto se expresa frecuentemente por el adjetivo trazable.
- ii. La cadena ininterrumpida de comparaciones es llamada cadena de trazabilidad.

### 6.2. Elementos de trazabilidad

El laboratorio debe contar con registros y seguimiento metrológico de su generador de referencia y de su patrón de verificación, debe presentar un programa de verificaciones periódicas de su patrón de referencia así como los registros que muestren los valores obtenidos de la verificación, incluyendo la incertidumbre de medición en cada verificación.

Debe presentar un programa de calibración del generador de referencia el que puede basarse en las especificaciones del fabricante del mismo, generalmente un año, (si las especificaciones están declaradas en periodos menores se requerirá que las calibraciones se realicen con la frecuencia que indican dichos periodos), o de acuerdo al seguimiento metrológico que el laboratorio tenga de su generador de referencia con el que asegure que puede calibrarlo en periodos diferentes al señalado por el fabricante.

El laboratorio debe aplicar las correcciones indicadas en el certificado o informe de calibración de su generador de referencia, cuando no lo haga, debe demostrar que el no aplicarlas no tiene impacto alguno en la trazabilidad de las mediciones.

Si en el periodo de calibración del generador de referencia se encuentra que está fuera de sus especificaciones de exactitud a un año, el laboratorio debe calcular y aplicar las correcciones necesarias a los valores de su generador de referencia. En este caso el laboratorio debe estimar la incertidumbre debida a la estabilidad del generador de referencia, la que se puede realizar a partir de las verificaciones periódicas.

Cuando el generador de referencia haya sido ajustado, éste debe calibrarse nuevamente contra un patrón de mayor calidad metrológica. El laboratorio debe registrar los cambios en los valores de medición del generador de referencia una vez calibrado. De igual manera si el laboratorio, a solicitud del cliente, realiza ajustes al MBC, el informe de calibración debe indicar los resultados antes del ajuste y posteriores al mismo.

### **6.3. Criterios requeridos para corroborar la trazabilidad de los valores de medición del generador de referencia.**

De acuerdo con el artículo 24 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización los laboratorios acreditados deben tener patrones cuyos valores sean trazables a los valores de los patrones nacionales correspondientes, excepto en el caso de que no se cuente con el patrón nacional y se reconozca la trazabilidad a los valores de algún laboratorio extranjero cuando la Secretaría de Economía haya celebrado un acuerdo de reconocimiento mutuo o lo haya aprobado. En este entendido los laboratorios que cuenten con generadores de referencia o equipo de nueva adquisición no podrán sustentar su trazabilidad con certificados de origen emitidos por el fabricante del equipo, todos los requerimientos de esta guía deben aplicarse de igual manera para generadores de referencia de nueva adquisición.

El laboratorio debe asegurar la capacidad de medición para puntos intermedios en el alcance de los servicios de calibración objeto de esta guía. En este sentido debe contar con métodos de medición que permitan asegurar la incertidumbre de la medición, contando con algunos puntos de calibración de su generador de referencia y a partir de esos puntos ser capaz de realizar mediciones considerando la contribución de incertidumbre que corresponde al método de interpolación empleado.

Para asegurar los valores y la incertidumbre de los puntos que calibrará en el MBC, el laboratorio debe conocer la linealidad y planicidad en frecuencia de su generador de referencia, tomando en cuenta este criterio el laboratorio debe calibrar su generador de referencia en los puntos descritos a continuación

- 6.3.1.** En al menos dos puntos entre el 10 % y el 100 % en cada intervalo, para ofrecer servicios de calibración a medidores de tensión en corriente continua.
- 6.3.2.** En al menos un punto entre el 10 % y el 100 % en cada intervalo, para ofrecer servicios de calibración a medidores de intensidad de corriente continua, capacitancia y resistencia eléctrica.
- 6.3.3.** Para ofrecer servicios de calibración a medidores de tensión eléctrica en corriente alterna, en al menos un punto en cada intervalo de tensión / frecuencia y para los correspondientes a los intervalos de 40 Hz a 10 kHz, en al menos tres frecuencias por intervalo de tensión.
- 6.3.4.** Para ofrecer servicios de calibración a medidores de intensidad de corriente alterna, en al menos un punto en cada intervalo de intensidad de corriente en al menos dos frecuencias en el intervalo donde encuentre la frecuencia de 60 Hz y en al menos un punto corriente / frecuencia para los demás intervalos de frecuencia.

**6.3.5.** Para ofrecer servicios de calibración a medidores de ángulo fase, en al menos tres puntos, a una frecuencia de 60 Hz, a dos niveles de intensidad de corriente eléctrica.

Tensión	Frecuencia	Intensidad de corriente	Ángulo de fase
120 V	60 Hz	1 A	3 puntos (entre 0 ° y ± 180 °)
		5 A	3 puntos (entre 0 ° y ± 180 °)
240 V	60 Hz	1 A	3 puntos (entre 0 ° y ± 180 °)
		5 A	3 puntos (entre 0 ° y ± 180 °)

**6.3.6.** Para ofrecer servicios de calibración a medidores de potencia eléctrica en corriente alterna, en al menos los puntos de 120 V y 240 V a 1 A y 5 A, a 60 Hz y a un factor de potencia, preferentemente 0,8, siempre y cuando se aplique el punto 6.3.5.

Tensión	Intensidad de corriente	Frecuencia	Factor de Potencia
120 V	1 A	60 Hz	1 punto (entre 0,1 y 0,8)
	5 A		1 punto (entre 0,1 y 0,8)
240 V	1 A	60 Hz	1 punto (entre 0,1 y 0,8)
	5 A		1 punto (entre 0,1 y 0,8)

Si no se cumple el punto 6.3.5 el laboratorio requiere calibrar al menos los puntos indicados en la siguiente tabla:

Tensión	Intensidad de corriente	Frecuencia	Factor de Potencia
120 V	1 A	60 Hz	3 puntos (entre 0,1 y 1)
	5 A		3 puntos (entre 0,1 y 1)
240 V	1 A	60 Hz	3 puntos (entre 0,1 y 1)
	5 A		3 puntos (entre 0,1 y 1)

**6.3.7.** Para ofrecer servicios de calibración a indicadores de temperatura que operen con termopares, se requiere calibrar el generador de referencia en los diferentes tipos de termopar en los que el laboratorio ofrezca servicios de calibración. De no realizarse la calibración del generador de referencia de esta manera, cuando se trate de un generador multifunciones el laboratorio deberá:

**6.3.7.1.** Calibrar la unión de referencia interna de su generador de referencia.

- 6.3.7.2.** Calibrar la fuente interna de tensión del generador de referencia, en el intervalo de 1 mV a 100 mV, en al menos 5 puntos, en la configuración de temperatura
- 6.3.7.3.** Corroborar la indicación del generador de referencia asociada a la evaluación de los polinomios de referencia (ASTM E230-03; Standard Specification and Temperature-Electromotive Force (EMF) Tables for Standardized Thermocouples) en al menos cinco puntos para cada uno de los diferentes tipos de termopares en los que ofrezca servicios de calibración.
- 6.3.8.** Para ofrecer servicios de calibración a indicadores de temperatura que operen con RTDs, se requiere calibrar el generador de referencia en los diferentes tipos de RTD en los que ofrezca servicios de calibración. De no realizarse la calibración del generador de referencia de esta manera el laboratorio deberá:
- 6.3.8.1.** Calibrar el generador de referencia en la magnitud de resistencia eléctrica
- 6.3.8.2.** Corroborar la indicación del generador de referencia asociada a la evaluación de los polinomios de referencia (ASTM E1137-97, Standard Specification for Industrial Platinum Resistance Thermometers) en al menos cinco puntos para cada uno de los diferentes tipos de RTD en los que ofrezca servicios de calibración.

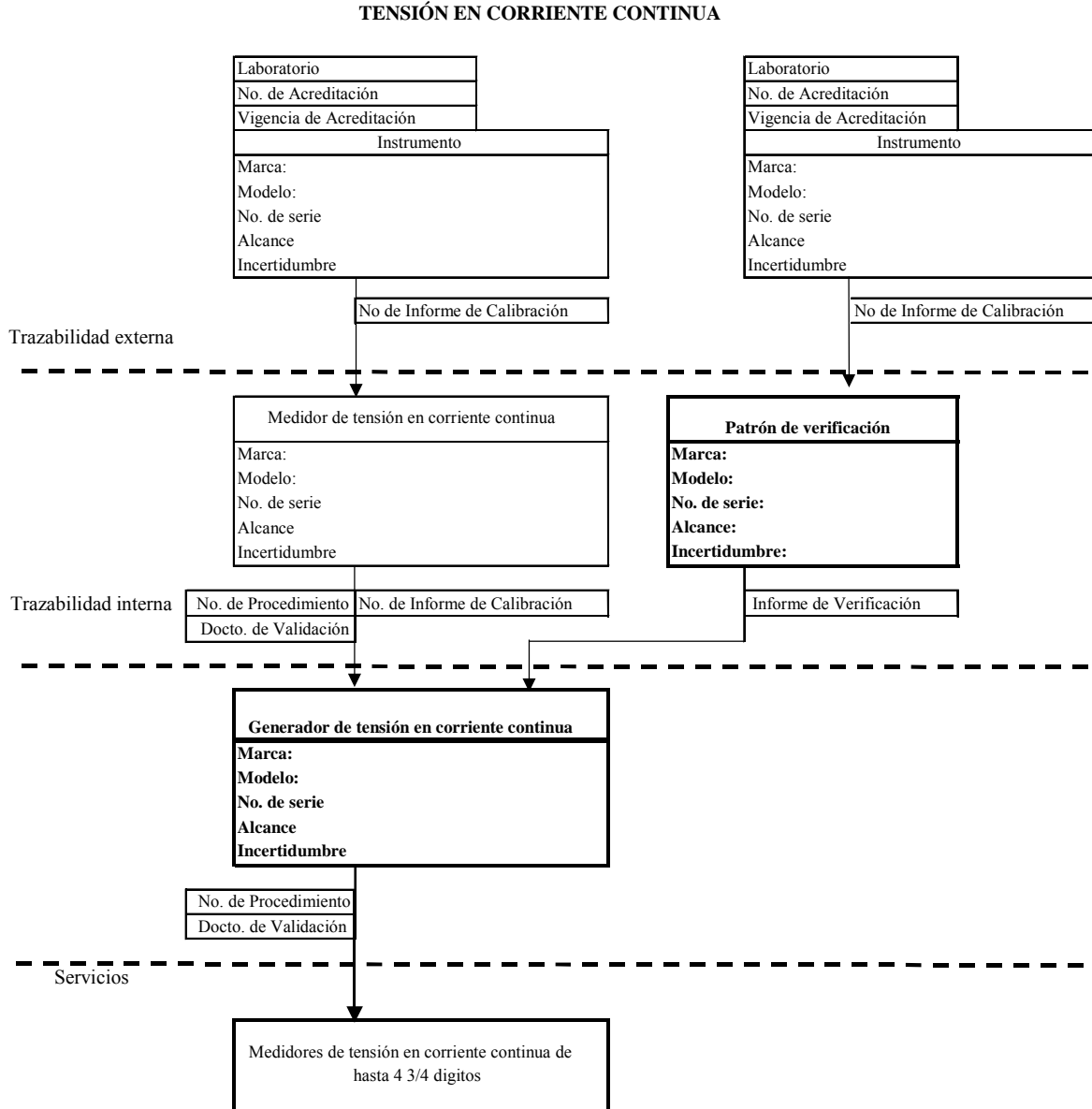
#### **6.4. Cartas de Trazabilidad**

El laboratorio debe contar con cartas de trazabilidad de sus patrones de referencia, las cuales deben contener al menos la siguiente información:

- Elaboradas por magnitud.
- Diferenciar la trazabilidad externa del laboratorio de la interna.
- Identificar patrones de referencia y de verificación.
- Cuando la trazabilidad sea externa incluir el número de acreditación y vigencia del laboratorio que realice la calibración.
- Cuando la trazabilidad sea interna indicar la nomenclatura o identificación del procedimiento con el que se realizó la calibración, así como de la validación del método.



### 6.4.1. Ejemplo de carta de trazabilidad



## 7. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

Para los diferentes servicios de calibración objeto de esta guía, el laboratorio debe reportar el error de calibración y su incertidumbre expandida con un nivel de confianza ( $\rho$ ) de aproximadamente el 95 %. La incertidumbre asociada al error de calibración debe ser evaluada de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-CH-140-IMNC-2002 (Guía para la expresión de incertidumbre en las mediciones).

### 7.1. Modelo matemático

El laboratorio debe ser capaz de determinar el modelo matemático para estimar la incertidumbre asociada al error de calibración. En la tabla IV se indican ejemplos representativos:

**TABLA IV**

Servicio de Calibración	Modelo matemático
Medidores de tensión en corriente continua	$E_{MBC} = V_{MBC} - (V_{GR} - E_{GR} - E_{CT})$ <p>donde:</p> <p><math>E_{MBC}</math>: Error de calibración del instrumento bajo calibración.</p> <p><math>V_{MBC}</math>: Valor medido por el instrumento bajo calibración.</p> <p><math>V_{GR}</math>: Valor indicado por el generador de referencia.</p> <p><math>E_{GR}</math>: Error de calibración del generador de referencia.</p> <p><math>E_{CT}</math>: Error por efecto de utilizar el Generador de referencia en un intervalo de temperatura en el que no se conocen sus valores (cuando aplique).</p>
Medidores de tensión en corriente alterna	
Medidores de intensidad de corriente continua	
Medidores de intensidad de corriente alterna	
Medidores de resistencia eléctrica (simulación electrónica)	
Medidores de capacitancia (simulación electrónica)	
Medidores de potencia en corriente continua	
Medidores de potencia en corriente alterna	
Medidores de factor de potencia	
Medidores de ángulo de fase	
Indicadores de temperatura que operen con RTDs	

**TABLA IV (CONTINUACIÓN)**

Servicio de Calibración	Modelo matemático
Indicadores de temperatura que operen con termopares	$E_{MBC} = V_{MBC} - (V_{GR} - E_{GR} - E_C - E_{UR} - E_{CT})$ donde: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>E_{MBC}</math>: Error de calibración del instrumento bajo calibración.</li> <li><math>V_{MBC}</math>: Valor medido con el instrumento bajo calibración.</li> <li><math>V_{GR}</math>: Valor indicado por el generador de referencia.</li> <li><math>E_{GR}</math>: Error de calibración del generador de referencia.</li> <li><math>E_C</math>: Error de calibración de los cables de termopar, cuando se utilice unión de referencia externa.</li> <li><math>E_{UR}</math>: Error del valor de temperatura de la unión de referencia, cuando se utilice unión de referencia externa.</li> <li><math>E_{CT}</math>: Error por efecto de utilizar el Generador de referencia en un intervalo de temperatura en el que no se conocen sus valores (cuando aplique).</li> </ul>

## 7.2. Principales fuentes de incertidumbre

El laboratorio debe ser capaz de identificar las principales fuentes de incertidumbre que impactan en la trazabilidad e incertidumbre del resultado de los servicios de calibración. La tabla V indica las principales fuentes de incertidumbre para los servicios de calibración que son objeto de esta guía:

**TABLA V**

Servicio de Calibración	Principales fuentes de incertidumbre
Medidores de tensión en corriente continua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La componente tipo A de la incertidumbre, al realizar el servicio de calibración.</li> <li>• La incertidumbre por resolución del MBC</li> <li>• La incertidumbre de calibración asociada al error del generador de referencia.</li> <li>• La incertidumbre por estabilidad del generador de referencia, esta debe considerar su linealidad y en el caso que corresponda su planicidad frecuencia.</li> <li>• La incertidumbre asociada al coeficiente de temperatura, cuando se utilice el generador de referencia en un intervalo diferente al de su temperatura de calibración.</li> </ul>
Medidores de tensión en corriente alterna	
Medidores de intensidad de corriente continua	
Medidores de intensidad de corriente alterna	
Medidores de resistencia eléctrica (simulación electrónica)	
Medidores de capacitancia (simulación electrónica)	
Medidores de potencia en corriente continua	
Medidores de potencia en corriente alterna	
Medidores de factor de potencia	
Medidores de ángulo de fase	
Indicadores de temperatura que operen con RTDs	
Indicadores de temperatura que operen con termopares	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La componente tipo A de la incertidumbre, al realizar el servicio de calibración.</li> <li>• La incertidumbre por resolución del MBC.</li> <li>• La incertidumbre de calibración asociada al error del generador de referencia.</li> <li>• La incertidumbre por estabilidad del generador de referencia.</li> <li>• La incertidumbre asociada al error de calibración de los cables de termopar, cuando la unión de referencia sea externa.</li> <li>• La incertidumbre asociada al error de la temperatura de la unión de referencia, cuando sea externa.</li> <li>• La incertidumbre asociada al coeficiente de temperatura, cuando se utilice el generador de referencia en un intervalo diferente al de su temperatura de calibración.</li> </ul>

### 7.2.1. Tablas de presupuesto de incertidumbre

El laboratorio debe indicar en tablas las principales fuentes de incertidumbre, sus funciones de distribución, los coeficientes de sensibilidad determinados a partir del modelo matemático de la medición, la incertidumbre estándar combinada, los grados efectivos de libertad y la incertidumbre expandida.

Cuando del análisis de incertidumbre, la convolución de las diferentes funciones de distribución de las componentes de incertidumbre, resulte en una función de distribución gaussiana, los grados efectivos de libertad deberán evaluarse de acuerdo a la fórmula de Welch-Satterthwaite [3], indicada en la ecuación 3, los que son fácilmente evaluados a partir de la tabla de presupuesto de incertidumbre.

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c(y)^4}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i(y)^4}{v_i}} \quad \text{Ec.3}$$

Cuando del análisis de incertidumbre, la convolución de las diferentes funciones de distribución de las componentes de incertidumbre, resulte en una función de distribución rectangular, es decir cuando no se cumpla el teorema del límite central, entonces no aplica la ecuación 3 y la incertidumbre expandida podrá estimarse para un nivel de confianza del 95 % con un factor de cobertura  $k = 1,71$ . El laboratorio deberá apoyarse en sus tablas de presupuesto de incertidumbre para demostrar el nivel de confianza y factor de cobertura de la incertidumbre expandida asociada al error de calibración de los servicios que ofrece.

A continuación se muestran ejemplos didácticos de las tablas de presupuesto de la incertidumbre asociada al error de calibración de un medidor de potencia en corriente alterna y de un indicador de temperatura; las cuales tienen únicamente un propósito ilustrativo. El laboratorio debe elaborar sus propias tablas de presupuesto de incertidumbre, para lo cual debe identificar las fuentes de incertidumbre de su sistema de medición en los diferentes servicios de calibración que realice. Para propósitos de claridad, el laboratorio puede incluir otra información adicional que juzgue conveniente en las tablas de presupuesto.

### 7.2.1.1.1. Ejemplo de la tabla de presupuesto de la incertidumbre asociada al error de calibración de un medidor de potencia en corriente alterna.

Modelo matemático:  $E_{MBC} = V_{MBC} - (V_{GR} - E_{GR} - E_{CT})$  (Ver nomenclatura en la tabla IV)

Condiciones de calibración:

Se calibra el punto de 600 W a 120V, 5 A, 60 Hz y F.P. = 1, en condiciones ambientales de  $23^{\circ} C \pm 2^{\circ} C$ . Se realizan 3 mediciones; la desviación estándar asociada al promedio de las lecturas del medidor de potencia a 600 W es igual a  $\pm 0,1 W$ . La resolución del medidor de potencia es de  $\pm 0,1 W$ . El generador de referencia tiene en ese punto, un error de calibración de  $0,18 W \pm 0,16 W$  para  $k = 2,0$  y  $\rho \cong 95 \%$ . La incertidumbre por estabilidad a un año del generador de referencia, evaluada en 120V, 5 A, 60 Hz, F.P. =1, es igual a  $\pm 0,7 W$  para  $k = 2,0$  y  $\rho \cong 95 \%$ .

El presupuesto de incertidumbre de medición es el siguiente:

Fuente de incertidumbre	Valor estimado	Función de distribución de probabilidad (FDP)	Incertidumbre estándar $u(x)$	Coefficiente de sensibilidad c.s.	Contribución $u(y)$	Grados de libertad
Indicación del MBC	600,5 W	Gaussiana	$0,1 W / \sqrt{3}$	1	0,06 W	2
Resolución del MBC	-----	Rectangular	$0,1 W / \sqrt{12}$	1	0,03 W	$\infty$
Error de calibración del generador de referencia	0,18 W	Gaussiana	$0,16 W / 2$	1	0,08 W	50
Estabilidad del generador de referencia	-----	Gaussiana	$0,7 W / 2$	1	0,35 W	50
Temperatura de calibración	23° C	Rectangular	0	-----	-----	-----
Incertidumbre estándar combinada $u_c(y)$					<b><math>\pm 0,4 W</math></b>	
Grados efectivos de libertad $\nu_{eff}$					<b>58</b>	
Factor de cobertura ( $\rho \cong 95 \%$ )					<b>2,0</b>	
Incertidumbre expandida $U_{exp}(y)$					<b><math>\pm 0,8 W (\pm 0,12 \%)</math></b>	

En este ejemplo se nota la presencia de una fuente de incertidumbre con una distribución de probabilidad tipo rectangular; sin embargo, su contribución a la incertidumbre combinada es menor del 10%. Por esta razón no se tiene problema en considerar que la distribución de probabilidad de la incertidumbre de medición sea gaussiana o normal, y se pueden aplicar las expresiones matemáticas recomendadas anteriormente.

### 7.2.1.1.2. Ejemplo de la tabla de presupuesto de la incertidumbre asociada al error de calibración de un indicador de temperatura que opera con termopares, utilizando un generador de referencia y una unión de referencia externa.

Modelo matemático:  $E_{MBC} = V_{MBC} - (V_{GR} - E_{GR} - E_C - E_{UR} - E_{CT})$

(Ver nomenclatura en la tabla IV)

Condiciones de calibración:

Se calibra un indicador de temperatura cuyo sensor es un termopar tipo K, en el punto de 100 °C. Se selecciona en el generador de referencia una tensión de 4,096 mV que de acuerdo a las tablas de termopares (ASTM E230-03) es la fem proporcional a 100 °C para un termopar tipo K.

Se compensa la temperatura de los bornes del generador de referencia, de 23 °C, con una unión de referencia externa por medio del punto fusión del hielo. Se realizan 3 mediciones, la desviación estándar asociada al promedio de las lecturas del MBC (100,06°C) es igual  $\pm 0,021$  °C. La resolución del indicador de temperatura es de  $\pm 0,01$  °C. El generador de referencia tiene un error de calibración de  $0 \text{ V} \pm 0,3 \mu\text{V}$  equivalente a  $0^\circ\text{C} \pm 0,007$  °C;  $k = 2,0$   $\rho \cong 95$  %. La incertidumbre por estabilidad a un año del generador de referencia evaluada para una tensión de 4 mV es igual a  $\pm 3 \mu\text{V}$  equivalente a  $\pm 0,075$  °C;  $k = 2,0$   $\rho \cong 95$  %. El cable de termopar tipo K para un gradiente de 23 °C tiene un error de calibración de  $0,070$  °C  $\pm 0,030$  °C;  $k = 2,0$   $\rho \cong 95$  %. La temperatura de la unión de referencia se conoce con una incertidumbre de  $\pm 0,015$  °C;  $k=2,0$   $\rho \cong 95$  %.

Fuente de incertidumbre	Valor estimado	Función de distribución de probabilidad (FDP)	incertidumbre estándar $u(x)$	coeficiente de sensibilidad c.s.	Contribución $u(y)$	Grados de libertad
Indicación del MBC	100,06 °C	Gaussiana	$0,021 \text{ °C} / \sqrt{3}$	1	0,012 °C	2
Resolución del MBC	-----	Rectangular	$0,01^\circ\text{C} / \sqrt{12}$	1	0,003 °C	$\infty$
Error de calibración del generador de referencia	0 °C	Gaussiana	$0,007 \text{ °C} / 2$	1	0,004 °C	50
Estabilidad del generador de referencia	-----	Gaussiana	$0,075 \text{ °C} / 2$	1	0,038 °C	50
Error de calibración de los cables de termopar	0,070 °C	Gaussiana	$0,030 \text{ °C} / 2$	1	0,015 °C	50
Temperatura en la unión de referencia	0 °C	Gaussiana	$0,015 \text{ °C} / 2$	1	0,008 °C	50
Temperatura de calibración	23° C	Rectangular	0	-----	-----	-----
Incertidumbre estándar combinada $uc(y)$					$\pm 0,04^\circ\text{C}$	
Grados efectivos de libertad $\nu_{eff}$					<b>68</b>	
Factor de cobertura ( $\rho \cong 95$ %)					<b>2,0</b>	
Incertidumbre expandida $U_{exp}(y)$					$\pm 0,08^\circ\text{C}$	

### 7.2.1.1.3. Ejemplo de la tabla de presupuesto de la incertidumbre asociada al error de calibración de un indicador de temperatura que opera con termopares, utilizando un generador de referencia con unión de referencia interna.

Modelo matemático:  $E_{MBC} = V_{MBC} - (V_{GR} - E_{GR} - E_C - E_{UR} - E_{CT})$

(Ver nomenclatura en la tabla IV)

Condiciones de calibración:

Se calibra un indicador de temperatura cuyo transductor es un termopar tipo K en el punto de 100 °C. Se selecciona en el generador de referencia una temperatura de 100 °C para un termopar tipo K. Se compensa la temperatura de los bornes del generador de referencia, de 23 °C, utilizando la unión de referencia del generador de referencia. Se realizan 3 mediciones, la desviación estándar asociada al promedio de las lecturas del MBC (100,03°C) es igual 0,015 °C. La resolución del indicador de temperatura es de 0,01 °C. El generador de referencia tiene un error de calibración de 0,070 °C ± 0,030 °C; k = 2,0 ρ ≅ 95 %. La incertidumbre por estabilidad a una año del generador de referencia evaluada para un termopar tipo K a 100 °C es igual a ± 0,060 °C; k = 2,0 ρ ≅ 95 %. El generador de referencia y el MBC se encuentran en las mismas condiciones de temperatura y se conectan utilizando cables de cobre para no adicionar fems en las conexiones, por lo que el cable de interconexión no contribuye a la incertidumbre, como se indica en la tabla.

Fuente de incertidumbre	Valor estimado	Función de distribución de probabilidad (FDP)	incertidumbre estándar u (x)	coeficiente de sensibilidad c.s.	Contribución u(y)	Grados de libertad
Indicación del MBC	100,03 °C	Gaussiana	0,015 °C / $\sqrt{3}$	1	0,009 °C	2
Resolución del MBC	-----	Rectangular	0,01°C / $\sqrt{12}$	1	0,003 °C	∞
Error de calibración del generador de referencia	0,07 °C	Gaussiana	0,030 °C / 2	1	0,015 °C	50
Estabilidad del generador de referencia	0 °C	Gaussiana	0,12 °C / 2	1	0,06°C	50
Error de los cables de extensión del termopar	-----	-----	0	-----	-----	-----
Temperatura de Calibración	23° C	-----	0	-----	-----	-----
Incertidumbre estándar combinada uc(y)					<b>± 0,06°C</b>	
Grados efectivos de libertad v <sub>eff</sub>					<b>58</b>	
Factor de cobertura ( ρ ≅ 95 %)					<b>2,0</b>	
Incertidumbre expandida U <sub>exp</sub> (y)					<b>± 0,12°C</b>	



## 8. VALIDACIÓN DE MÉTODOS

El laboratorio debe validar los métodos de medición utilizados en los servicios de calibración objeto de esta guía, para lo cual puede apoyarse en las propuestas de validación de métodos que propone la NMX-EC-17025-IMNC-2006.

Cuando como requisito para obtener o mantener su acreditamiento, la entidad mexicana de acreditación solicite al laboratorio su participación en pruebas de aptitud, el laboratorio podrá optar por esta opción para validar sus métodos.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NMX-Z-055: IMNC-1997, Metrología – Vocabulario de términos fundamentales y generales.
- [2] NMX-EC-17025: IMNC-2006 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.
- [3] NMX-CH-140: IMNC-2002 Guía para la expresión de la incertidumbre de las mediciones.
- [4] EA-10/11 - Guidelines on the Calibration of Temperature Indicators and Simulators by Electrical Simulation and Measurements
- [5] Política referente a la trazabilidad de las mediciones, emca,

### IDENTIFICACIÓN DE CAMBIOS

INCISO	PÁGINA	CAMBIO(S)
PRESENTACIÓN	3	Se actualizó la fecha de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2000 por NMX-EC-17025-IMNC-2006
2	6	Se actualizó la fecha de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2000 por NMX-EC-17025-IMNC-2006
4.2	8	Se actualizó la fecha de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2000 por NMX-EC-17025-IMNC-2006
5.5	12	Se actualizó la fecha de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2000 por NMX-EC-17025-IMNC-2006
8,9	25	Se actualizó la fecha de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2000 por NMX-EC-17025-IMNC-2006
Observaciones:		