

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

México, Marzo 2018

Derechos reservados ©

PRESENTACIÓN

Elaborada en 2004, en colaboración ema-CENAM

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 ema. Las Guías aportan criterios técnicos que servirán de apoyo a la aplicación de la norma NMX-EC-17025-IMNC-vigente. 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
Centro Nacional de Metrología
Director General

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

GRUPO DE TRABAJO

Grupo de Trabajo que participó en la elaboración de esta Guía, en su primera versión, en 2004:

- Alcántara González Javier, Industrias IEM, S.A. DE C.V.
- Campos Hernández Sara, 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, CANHEFERN S.A. DE C.V.
- Gutiérrez Guzmán Fernando Antonio, CANHEFERN, S.A. DE C.V.
- Velasco Blanco Norma Rocío, METAS, S.A. DE C.V.

Grupo de Trabajo que participó en la revisión, en 2008:

- Miembros del subcomité de acreditación del área eléctrica
- Entidad mexicana de acreditación.

Grupo de Trabajo que participó en la revisión, en 2017:

- Miembros del subcomité de acreditación del área eléctrica
- Personal de la dirección de mediciones electromagnéticas del CENAM.
- Entidad mexicana de acreditación.

INDICE

PRESENTACIÓN	2
GRUPO DE TRABAJO	4
1. NOTACIONES	6
2. PROPÓSITO DE LA GUÍA	6
3. ALCANCE DE LA GUÍA	6
4. MENSURANDO.....	7
5. MÉTODO Y SISTEMA DE MEDICIÓN	9
6. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES	13
7. INCERTIDUMBRE DE MEDIDA.....	17
8. VALIDACIÓN DE MÉTODOS	23
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

1. NOTACIONES

MBC	Medidor bajo calibración
Generador de referencia	Generador de una función o multifunciones (dispositivos activos)

2. PROPÓSITO DE LA GUÍA

Esta guía tiene la finalidad de establecer los criterios y requisitos que deben cumplir los laboratorios de calibración, satisfaciendo los lineamientos marcados por la NMX-EC-17025-IMNC-vigente, para demostrar la trazabilidad y la incertidumbre asociadas a los resultados de la calibración realizada a instrumentos de medición de hasta 6 ½ dígitos, en magnitudes eléctricas, cuando para realizar el servicio de calibración se utilice un generador de referencia.

3. ALCANCE DE LA GUÍA

Los criterios y requisitos establecidos en esta guía aplican para servicios de calibración realizados por el método directo. Aplica para los instrumentos de medición de magnitudes eléctricas [1] que se indican en la tabla I. Si el laboratorio desea ofrecer servicios fuera del alcance de esta guía deberá aportar elementos adicionales para demostrar la trazabilidad, tales como validación de métodos de medición, calibraciones en puntos específicos, etc.

TABLA I.

Servicio de Calibración
Medidores de tensión eléctrica continua
Medidores de tensión eléctrica alterna
Medidores de corriente eléctrica continua
Medidores de corriente eléctrica alterna
Medidores de resistencia eléctrica
Medidores de capacitancia
Medidores de potencia eléctrica continua
Medidores de potencia eléctrica alterna
Medidores de factor de potencia
Medidores de ángulo de fase
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 la mayoría de los casos el generador de referencia no contiene elementos pasivos, sino 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.

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, 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 medida

La tabla II indica los intervalos de medida de un generador de referencia utilizados para calibrar medidores de 3 ½ hasta 6 ½ dígitos en diferentes magnitudes, siempre y cuando exista una relación de calibración adecuada. Cuando se realicen servicios de calibración fuera de estos intervalos de medida, deberán considerarse requerimientos adicionales a los señalados en esta guía, tanto de métodos de medición, como de puntos de calibración.

TABLA II.

Servicio de Calibración	Intervalo de medida utilizado del generador de referencia
Medidores de tensión eléctrica continua	30 mV a 1 kV
Medidores de tensión eléctrica alterna	10 mV a 1 kV; 10 Hz a 100 kHz
Medidores de corriente eléctrica continua	100 μ A a 20 A
Medidores de corriente eléctrica alterna	100 μ A a 20 A; 20 Hz a 10 kHz
Medidores de resistencia eléctrica	(simulación electrónica) 10 Ω a 1 G Ω
Medidores de capacitancia	(simulación electrónica) 1 nF a 100 mF
Medidores de potencia eléctrica continua	120 V a 1 kV; 0.3 A a 10 A; (10 mW a 10 kW)
Medidores de potencia eléctrica alterna	120 V a 1 kV; 0.3 A a 10 A; 45 Hz a 60 Hz 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 1 kV; 0.3 A a 10 A, 45 Hz a 60 Hz
Medidores de ángulo de fase	0 ° a \pm 180 °; 120 V a 1 kV; 0.3 A a 10 A, 45 Hz a 60 Hz
Indicadores de temperatura que operen con termopares	Tipos de termopares: B,C,E, J, K, L, N, R, S, T, U
Indicadores de temperatura que operen con RTDs	pt385, 100 Ω ; pt3926, 100 Ω ; pt3916, 100 Ω ; pt385, 200 Ω ; pt385, 500 Ω ; pt385, 1000 Ω ; pt385, 120 Ω .

4.2 Incertidumbre de medida esperada

Dependiendo de la magnitud, del intervalo de medida y del generador de referencia, se espera una diferente incertidumbre de medida, por lo que en esta guía no se define un valor específico de incertidumbre esperada. 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 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 eléctrica 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 eléctrica alterna	
Medidores de corriente eléctrica continua	
Medidores de corriente eléctrica alterna	
Medidores de potencia eléctrica continua	
Medidores de potencia eléctrica alterna	
Medidores de factor de potencia	
Medidores de ángulo de fase	
Medidores de resistencia eléctrica	
Medidores de capacitancia	
Indicadores de temperatura que operen con RTDs	

TABLA III. (CONTINUACIÓN)

Servicio de Calibración	Requerimientos para aplicar el método de medición
Indicadores de temperatura que operen con termopares	<p><u>Si el laboratorio utiliza la compensación interna del MBC y del patrón, debe demostrar que utiliza cables adecuados.</u></p> <p><u>Si utiliza una unión de referencia externa debe demostrar que utiliza técnicas adecuadas para obtener una temperatura de referencia estable con incertidumbre conocida.</u></p>

5.2 Documentos de consulta

El laboratorio debe consultar en los manuales de operación de su generador de referencia y del MBC 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 auto calibración, 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. Ver sección 8 de este documento.

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 las diferentes magnitudes eléctricas en las que se ofrezcan servicios, dentro del alcance de esta guía
- Cables tipo termopar para la calibración de indicadores de temperatura que operen con termopares, cuando el indicador y el generador utilicen unión de referencia interna, con incertidumbre conocida para gradientes de temperaturas cercanas.
- 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 de 0 °C.
- 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. O un bloque isotérmico con incertidumbre conocida.

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.
- Entender¹ la norma NMX-EC-17025-IMNC-vigente, de acuerdo a las funciones y responsabilidades. [2]

El laboratorio debe tener documentados las funciones y perfiles del personal que participa en el proceso de calibración. Debe proporcionar formación al personal, de acuerdo a sus funciones en el laboratorio.

¹ Entender.-Asimilar las ideas; tenerlas precisas y claras. Extraer consecuencias

6. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES

6.1 Definición

Trazabilidad metrológica.

Propiedad de un resultado de medida por el cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida [3].

6.2 Elementos de trazabilidad metrológica

El laboratorio debe contar con registros del seguimiento metrológico de su generador de referencia y del instrumento para realizar verificaciones intermedias. Sus periodos de calibración pueden basarse en las especificaciones técnicas del generador de referencia y del instrumento para realizar verificaciones, que generalmente se establecen a 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.

Con las verificaciones intermedias y con los resultados de su calibración se pueden detectar cambios en la estabilidad del generador de referencia. Si entre periodos de calibración o durante las verificaciones intermedias del generador de referencia se detectan cambios mayores a la especificación de estabilidad a un año del fabricante, el generador de referencia deberá ser revisado para su ajuste o reparación, lo que aplique.

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 [4], 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 seleccionar los puntos de calibración de su generación de referencia, de acuerdo con su Capacidad de Medición y Calibración (CMC) acreditada o que desee acreditar, de tal forma que con esa selección y a partir de esos puntos sea capaz de realizar mediciones en puntos intermedios, considerando la contribución de incertidumbre correspondiente. El laboratorio debe conocer la linealidad y respuesta en frecuencia de su generador de referencia, tomando en cuenta este criterio el laboratorio debe calibrar su generador de referencia en los puntos descritos en la tabla IV.

TABLA IV.

Magnitud	Requerimientos de calibración del generador de referencia															
Tensión eléctrica continua	En al menos dos puntos entre el 10 % y el 100 % en cada intervalo de medida acreditado.															
Corriente eléctrica continua, capacitancia y resistencia eléctrica	En al menos un punto entre el 10 % y el 100 % en cada intervalo de medida acreditado.															
Tensión eléctrica alterna	En al menos un punto en cada intervalo de tensión / frecuencia acreditado y para los correspondientes a los intervalos de 45 Hz a 10 kHz, en al menos tres frecuencias por intervalo de tensión acreditado.															
Corriente eléctrica alterna	En al menos un punto en cada intervalo de corriente/ frecuencia acreditado y en al menos dos frecuencias para el intervalo de frecuencia de 45 Hz a 1 kHz.															
Ángulo fase	En al menos 3 puntos entre 0 ° y ± 180 °															
Potencia eléctrica alterna	En el vector potencia a 60 Hz, a los niveles de tensión y corriente que se tengan acreditados, a factores de potencia de al menos $1; \pm 0.7$ y ± 0.5 . Por Ejemplo: <table border="1" data-bbox="613 1612 1352 1736"> <thead> <tr> <th>Tensión</th> <th>Corriente</th> <th>Frecuencia</th> <th>Factor de potencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">120 V</td> <td>1 A</td> <td rowspan="4">60 Hz</td> <td>$1, \pm 0.7$ y ± 0.5</td> </tr> <tr> <td>5 A</td> <td>$1, \pm 0.7$ y ± 0.5</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">240 V</td> <td>1 A</td> <td>$1, \pm 0.7$ y ± 0.5</td> </tr> <tr> <td>5 A</td> <td>$1, \pm 0.7$ y ± 0.5</td> </tr> </tbody> </table>	Tensión	Corriente	Frecuencia	Factor de potencia	120 V	1 A	60 Hz	$1, \pm 0.7$ y ± 0.5	5 A	$1, \pm 0.7$ y ± 0.5	240 V	1 A	$1, \pm 0.7$ y ± 0.5	5 A	$1, \pm 0.7$ y ± 0.5
Tensión	Corriente	Frecuencia	Factor de potencia													
120 V	1 A	60 Hz	$1, \pm 0.7$ y ± 0.5													
	5 A		$1, \pm 0.7$ y ± 0.5													
240 V	1 A		$1, \pm 0.7$ y ± 0.5													
	5 A		$1, \pm 0.7$ y ± 0.5													

TABLA IV. CONTINUACIÓN

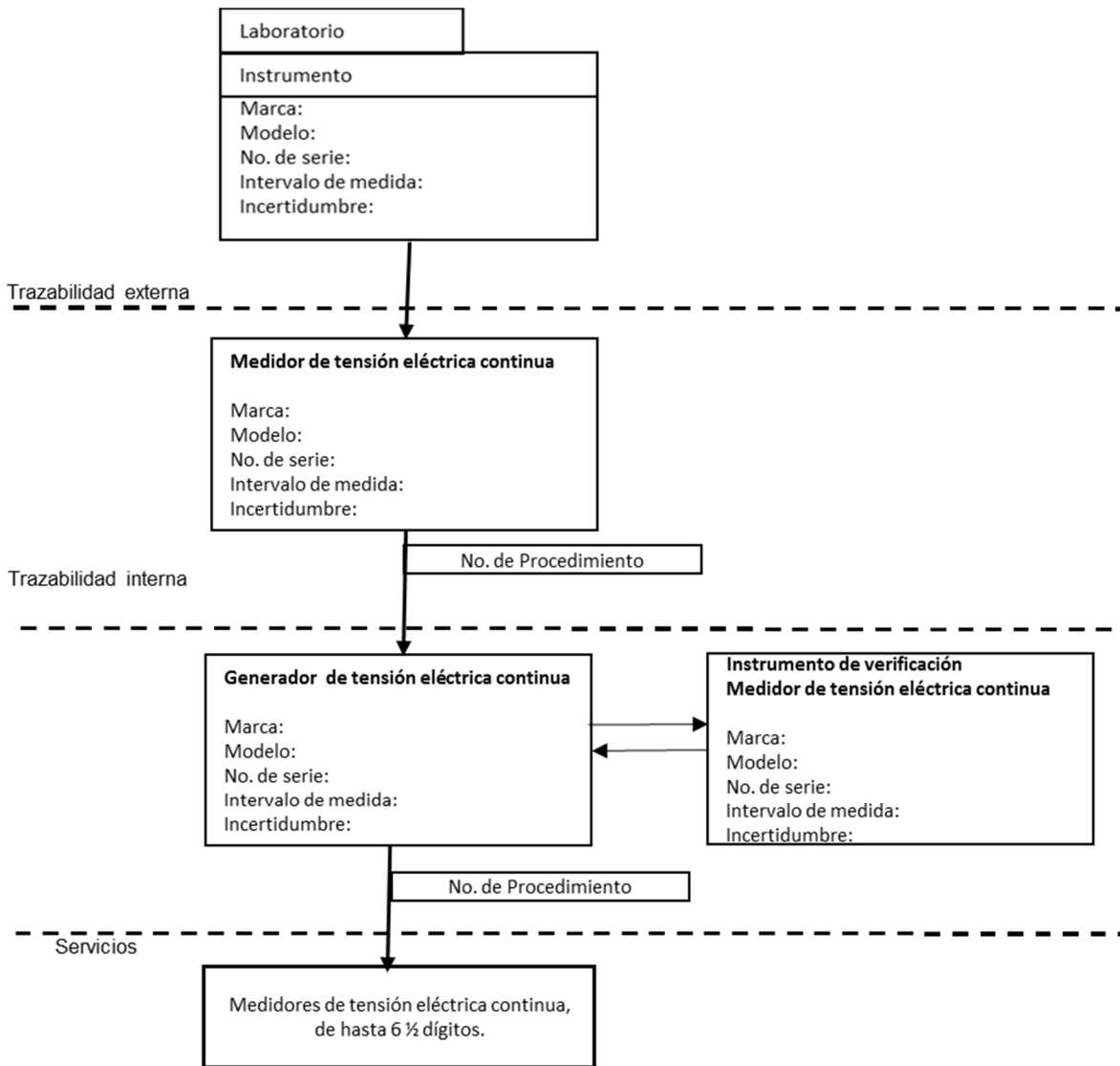
Magnitud	Requerimientos de calibración del generador de referencia
Indicadores de temperatura que operen con termopares	Calibrar el generador de referencia en los diferentes tipos de termopar que el laboratorio tenga acreditados. De no realizarse la calibración del generador de referencia de esta manera, debe estar calibrado de acuerdo con las referencias [5] [6].
Indicadores de temperatura que operen con RTDs	Calibrar el generador de referencia en dos puntos de temperatura entre el 0 % y 100 % del tipo de RTD que tenga acreditado.

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 o por varias magnitudes, siempre y cuando se incluyan todos los señalamientos de este apartado.
- Diferenciar la trazabilidad externa del laboratorio de la interna.
- Identificar patrones de referencia e instrumentos de verificación.
- Cuando la trazabilidad sea externa incluir el número de acreditación 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.

Ejemplo de carta de trazabilidad



7. INCERTIDUMBRE DE MEDIDA

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 (ρ) de aproximadamente el 95 %. La incertidumbre asociada al error de calibración debe ser evaluada de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-CH-140-IMNC-vigente [7] (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 V se indican ejemplos representativos:

TABLA V

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

TABLA V (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"> E_{MBC}: Error de calibración del instrumento bajo calibración. V_{MBC}: Valor medido con el instrumento bajo calibración. V_{GR}: Valor indicado por el generador de referencia. E_{GR}: Error de calibración del generador de referencia. E_C: Error de calibración de los cables de termopar, cuando se utilice unión de referencia externa. E_{UR}: Error del valor de temperatura de la unión de referencia, cuando se utilice unión de referencia externa. E_{CT}: Error por efecto de utilizar el Generador de referencia en un intervalo de temperatura en el que no se conocen sus valores (cuando aplique).

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 VI indica las principales fuentes de incertidumbre para los servicios de calibración que son objeto de esta guía:

TABLA VI

Servicio de Calibración	Principales fuentes de incertidumbre
Medidores de tensión eléctrica continua	<ul style="list-style-type: none"> • La componente tipo A de la incertidumbre, al realizar el servicio de calibración. • La incertidumbre por resolución del MBC • La incertidumbre de calibración asociada al error del generador de referencia. • La incertidumbre por estabilidad del generador de referencia, esta debe considerar su linealidad y en el caso que corresponda su respuesta en frecuencia. • La incertidumbre asociada al coeficiente de temperatura, cuando se utilice el generador de referencia en un intervalo diferente al de su temperatura de calibración.
Medidores de tensión eléctrica alterna	
Medidores de corriente eléctrica continua	
Medidores de corriente eléctrica alterna	
Medidores de resistencia eléctrica	
Medidores de capacitancia	
Medidores de potencia eléctrica continua	
Medidores de potencia eléctrica 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"> • La componente tipo A de la incertidumbre, al realizar el servicio de calibración. • La incertidumbre por resolución del IBC. • La incertidumbre de calibración asociada al error de generación del generador de referencia. • La incertidumbre por estabilidad del generador de referencia. • La incertidumbre asociada al error de calibración de los cables tipo termopar, cuando el gradiente de temperatura sea considerable. • La incertidumbre asociada al error de la temperatura de la unión de referencia, sea bloque isotérmico o punto de hielo. • La incertidumbre asociada al coeficiente de temperatura, cuando se utilice el generador de referencia en un intervalo diferente al de su temperatura de calibración.

7.3 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 combinación de las diferentes funciones de distribución de las componentes de incertidumbre, resulte en una función de distribución normal, los grados efectivos de libertad deberán evaluarse de acuerdo a la fórmula de Welch-Satterthwaite [7], indicada en la ecuación 3.

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

Cuando del análisis de incertidumbre, la combinación 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 $k = 1,65$. 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 eléctrica 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.

Ejemplo de la tabla de presupuesto de la incertidumbre asociada al error de calibración de un medidor de potencia eléctrica 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	Normal	$0.1 W / \sqrt{3}$	1	0.06 W	2
Resolución del MBC	-----	Rectangular	$0.1 W / \sqrt{12}$	1	0.03 W	∞
Error de calibración del generador de referencia	0.18 W	Normal	$0.16 W / 2$	1	0.08 W	50
Estabilidad del generador de referencia	-----	Normal	$0.7 W / 2$	1	0.35 W	50
Temperatura de calibración	23° C	Rectangular	0	-----	-----	-----
Incertidumbre estándar combinada $u_c(y)$					$\pm 0.4 W$	
Grados efectivos de libertad ν_{eff}					58	
Factor de cobertura ($\rho \cong 95 \%$)					2.0	
Incertidumbre expandida $U_{exp}(y)$					$\pm 0.8 W (\pm 0.12 \%)$	

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 normal, y se pueden aplicar las expresiones matemáticas recomendadas anteriormente.

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 ± 0.021 °C. La resolución del indicador de temperatura es de ± 0.01 °C. El generador de referencia tiene un error de calibración de $0 \text{ V} \pm 0.30 \mu\text{V}$ 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 ± 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 0.07 °C ± 0.03 °C; $k = 2,0 \rho \cong 95 \%$. La temperatura de la unión de referencia se conoce con una incertidumbre de ± 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	Normal	$0.021 \text{ °C} / \sqrt{3}$	1	0.012 °C	2
Resolución del MBC	-----	Rectangular	$0.01^\circ\text{C} / \sqrt{12}$	1	0.003 °C	∞
Error de calibración del generador de referencia	0 °C	Normal	$0.007 \text{ °C} / 2$	1	0.004 °C	50
Estabilidad del generador de referencia	-----	Normal	$0.075 \text{ °C} / 2$	1	0.038 °C	50
Error de calibración de los cables de termopar	0.07 °C	Normal	$0.030 \text{ °C} / 2$	1	0.015 °C	50
Temperatura en la unión de referencia	0 °C	Normal	$0.015 \text{ °C} / 2$	1	0.008 °C	50
Temperatura de calibración	23° C	Rectangular	0	-----	-----	-----
Incertidumbre estándar combinada uc(y)					± 0.04 °C	
Grados efectivos de libertad v _{eff}					68	
Factor de cobertura ($\rho \cong 95 \%$)					2.0	
Incertidumbre expandida U _{exp} (y)					± 0.08 °C	

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-vigente.

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

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida
- [2] NMX-EC-17025: IMNC-2006 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.
- [3] JCGM 200:2008 Vocabulario Internacional de Metrología- Conceptos fundamentos y generales, y términos asociados (VIM). <http://www.cenam.mx/paginas/vim.aspx>
- [4] Reglamento de la ley federal sobre metrología y normalización
- [5] EA-10/11 - Guidelines on the Calibration of Temperature Indicators and Simulators by Electrical Simulation and Measurements.
- [6] Buenas prácticas de medición utilizando un calibrador multifunciones como simulador de termopares http://www.cenam.mx/dme/pdf/PRE_E-Mie-4.pdf
- [7] NMX-CH-140-IMNC-2002 Guía para la expresión de la incertidumbre de las mediciones.
- [8] NMX-Z-055-IMNC-2009. Vocabulario Internacional de Metrología- Conceptos fundamentos y generales, y términos asociados (VIM)
- [9] Política referente a la trazabilidad de las mediciones, ema,

IDENTIFICACIÓN DE CAMBIOS

INCISO	PÁGINA	CAMBIO(S)
Presentación	2	Se precisa que la presentación se elaboró en el año 2004.
Grupo de trabajo	4	Se precisa quien elaboró la guía en el 2004 y quienes han participado en las revisiones.
1	6	Se quita nomenclatura de unión de referencia.
2 y en todo el documento	---	Se cambia el texto “bases, criterios y requisitos” por “criterios y requisitos”.
2 y en todo el documento	---	Se cambia “NMX-EC-17025-IMNC-2000” por “NMX-EC-17025-IMNC-vigente”.
2 y en todo el documento	---	Se modifica el alcance de medición hasta 6 ½ dígitos.
3 y en todo el documento	6 y 7	Se simplifica el primer párrafo para mejor claridad. Se modifica la redacción del segundo párrafo para dar claridad. Se omite párrafo correspondiente a trazabilidad de temperatura, lo correspondiente se indica en la sección 6 de la guía.
Tabla I y todo el documento	---	Se cambió el nombre de las magnitudes eléctricas, de acuerdo con la NOM-008-SCFI-2002.
4.1 y todo el documento	---	Se cambia “medición” por “medida” de acuerdo con el VIM.
Tabla II	8	Se modifica el intervalo de medida utilizado del generador de referencia.
4.2	9	Se modifica párrafo para dar mayor claridad.
Tabla III	10	En la sección de requerimientos para indicadores de temperatura que operen con termopar se modifica párrafo para dar mayor claridad.
5.3	10	Se incluye el enunciado “Ver sección 8”, para dar claridad.
5.4.2	11	Se modifica redacción referente a cables, se hace la distinción entre cables tipo termopar y cables de termopar. Se agrega que se puede utilizar un bloque isotérmico con incertidumbre conocida.
5.5	12	Se resume el último párrafo para evitar requerimientos innecesarios.
6.1	13	Se actualiza definición de trazabilidad de acuerdo con VIM y NMX-Z-055-IMNC-2009
6.2	13	Se cambia “patrón de verificación” por “instrumento para realizar verificaciones intermedias”.

IDENTIFICACIÓN DE CAMBIOS (CONTINUACIÓN)

INCISO	PÁGINA	CAMBIO(S)
6.3	14 y 15	Se modifica redacción del 2 y 3 párrafo para dar mayor claridad. Se cambia “planicidad” por “respuesta en frecuencia”. Se quita la nomenclatura a los párrafos del 6.3.1 al 6.3.8 y se ponen en una tabla. Consecuentemente se actualiza la nomenclatura de las demás tablas.
6.4	15 y 16	Se modifican requerimientos de cartas de trazabilidad y su ejemplo.
7	17	Se cambia “NMX-CH-140-IMNC-2002” por “NMX-CH-140-IMNC-vigente”.
Tabla VI	19	Se precisa información sobre contribuciones de incertidumbre para indicadores de temperatura.
7.3	20	Se cambia “convolución” por “combinación” y “gaussiana” por “normal”. Se corrige “k=1.71” por “k=1.65”. Se quita el tercer ejemplo.
8	23	Se cambia “pruebas” por “ensayos”.
9	23	Se actualizan referencias
En todo el documento	-----	Se hace referencia a las referencias bibliográficas.
Observaciones		