

**GUÍA TÉCNICA SOBRE
TRAZABILIDAD E INCERTIDUMBRE
EN LOS SERVICIOS DE
CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS,
TRANSDUCTORES Y TRANSMISORES
DE PRESIÓN DE ELEMENTO
ELÁSTICO**

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 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 emca. 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:

CORRO FUENTES, Omar, CIDESI

MENDIOLA ORTIZ, Francisco, Metrotecnica

MUÑOZ ROLDÁN, Fabiola, Calpro, S.A. de C.V.

OBREGÓN, David Jacobo, LAPEM

SANTANDER ROMERO, Luis Antonio, CENAM

TORRES GUZMÁN, Jorge C., CENAM

ÍNDICE

	Página
PRESENTACIÓN	2
GRUPO DE TRABAJO QUE PARTICIPÓ EN LA ELABORACIÓN	4
ÍNDICE	5
1. PRESENTACIÓN Y PROPÓSITO DE LA GUÍA TÉCNICA	6
2. ALCANCE DE LA GUÍA TÉCNICA	6
3. MENSURANDO	6
4. MÉTODO Y SISTEMA DE MEDICIÓN	7
5. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA Y CALIFICACIÓN DE EQUIPOS	12
6. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES	12
7. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN	16
8. VALIDACIÓN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN	19
9. BUENAS PRÁCTICAS DE MEDICIÓN	21
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

1. PRESENTACIÓN Y PROPÓSITO DE LA GUÍA TÉCNICA

Establecer criterios y requisitos en la calibración de manómetros, transductores y transmisores de presión, de elemento elástico a fin de lograr calibraciones con trazabilidad e incertidumbre confiables.

Esta guía es una recomendación del subcomité de presión, temperatura y humedad de la **ema** (sin ser un documento normativo) y cualquier modificación deberá analizarse por el cuerpo colegiado correspondiente.

Esta guía establece los requisitos mínimos que debe de cumplir el laboratorio que pretenda realizar el servicio aquí indicado.

El proceso de evaluación del laboratorio no es una asesoría y por lo tanto el evaluado es responsable de demostrar que satisface sistemáticamente los requisitos para ofrecer servicios de calibración técnicamente válidos y trazables.

Esta guía técnica de trazabilidad e incertidumbre no sustituye ni modifica sino pretende facilitar la aplicación de las normas NMX-EC-17025-IMNC-2006, NMX-CH-140-IMNC-2002.

2. ALCANCE DE LA GUÍA TÉCNICA

Esta guía establece los requisitos mínimos para la calibración de manómetros, transductores y transmisores de presión de elemento elástico, respecto de una columna de líquido, balanza de presión o un manómetro de alta exactitud. En la calibración se emplea el método de comparación directa que garantiza la trazabilidad y uniformidad en la estimación de la incertidumbre de calibración.

Nota:

Se excluyen en esta guía todos aquellos manómetros utilizados para medición de medio y alto vacío (CDG's), sin embargo incluye a los manovacuómetros y vacuómetros de elemento elástico.

3. MENSURANDO

Presión obtenida directamente o en su caso, mediante tablas o ecuaciones que relacionen una señal de salida con la presión.

3.1 Intervalo típico de medición

El límite superior de medición quedará acotado por capacidad de los equipos, sin embargo el límite inferior típicamente se establece al 10 % del alcance de medición. Pudiendo reducirse realizando una degradación de la exactitud del equipo patrón.

El alcance máximo para los vacuómetros es de -100 kPa y el alcance mínimo será del 10 % del alcance máximo. Pudiendo reducirse realizando una degradación de la exactitud del equipo patrón.

3.2 Incertidumbre de medición esperada

La incertidumbre resultante no podrá ser menor que la incertidumbre de los patrones de referencia utilizados en la calibración.

Por lo general no se evalúa la conformidad debido a que es solo un inciso de la norma NOM-013-SCFI, por lo que para realizar el servicio de calibración se debe mantener una relación mínima de incertidumbre entre el patrón y el equipo calibrado de 4:1, para que el impacto del patrón utilizado en la incertidumbre para la calibración del instrumento no sea mayor al 5 % de acuerdo a la ley de propagación de distribuciones.

4. MÉTODO Y SISTEMA DE MEDICIÓN

A continuación se especifican los lineamientos mínimos que deben ser considerados para realizar el método de comparación directa en la calibración de manómetros, transductores y transmisores de presión, incluyendo el sistema de medición.

4.1 Método de medición

Comparación directa: Comparación de las lecturas del instrumento bajo calibración contra las lecturas del patrón utilizado conectados a la misma fuente de generación de presión, garantizando la hermeticidad del sistema.

4.2 Documento de consulta

- ◆ NMX-CH-064 Terminología de metrología de presión.
- ◆ Curso de Metrología de Presión, Centro Nacional de Metrología, mayo de 2004.
- ◆ EA/10-17 Guidelines on the calibration of electromechanical manometers, julio de 2002
- ◆ DKD-R 6-1 Calibración de medidores de presión, diciembre de 1998.
- ◆ NT-MECH-022 Pressure Gauges: Calibration, noviembre de 1989.

4.3 Procedimiento de medición

Debido a la diferencia en la toma de lectura entre los instrumentos que comprende esta guía se presentan dos procedimientos, descritos a continuación.

4.3.1 Procedimiento para manómetros

1. Verificar si el manómetro está dentro del alcance de acreditación.
2. Revisión de condiciones físicas del manómetro a calibrar (escala, impurezas, hermeticidad, índice, integridad física, etc.).
3. La calibración se desarrollará después de establecido el equilibrio térmico entre el manómetro a calibrar, sistema de calibración y el medio ambiente.
4. Conectar el manómetro en su posición de trabajo en el sistema de calibración.
5. Verificar la hermeticidad del sistema de calibración incluyendo el manómetro a calibrar al 100 % del alcance de calibración.
6. Determinar los niveles de referencia para los equipos.
7. Seleccionar los puntos mínimos de medición de acuerdo a la siguiente tabla.

Clase de exactitud	No. De puntos mínimos a calibrar
$CE \leq 0,5 \%$	8
$0,5 \% < CE \leq 2 \%$	5
$CE > 2 \%$	3

Los puntos deberán incluir un punto al 10 %, otro al 50 % y otro entre el 90 % y 100 % del alcance de medición del manómetro. Los restantes deberán ser distribuidos uniformemente a lo largo del alcance de medición.

El cero no se considera un punto de calibración.

8. Aplique presión hasta el 100 % del alcance de medición del manómetro bajo calibración por lo menos 2 veces, manteniéndola 1 minuto cuando menos en cada aplicación.
9. Antes de iniciar cada ciclo de calibración se deberá establecer el cero del manómetro bajo calibración.
10. Tomar como mínimo 3 repeticiones en cada punto de medición, realizadas en 2 ascensos y 1 descenso.
11. Las lecturas deberán estar de acuerdo a la resolución del manómetro.
12. Se deberán realizar las correcciones necesarias para las magnitudes de influencia del sistema de calibración y manómetro bajo calibración en cada punto de medición.

13. Determinar el error de medición del manómetro bajo calibración de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$E_i = L_{M_i} - L_{P_i}$$

Donde:

E_i es el error promedio del manómetro en el i -ésimo punto de medición.

L_{M_i} es la lectura promedio corregida del manómetro en el i -ésimo punto de medición.

L_{P_i} es la lectura promedio corregida del patrón en el i -ésimo punto de medición.

14. Los resultados deberán ser expresados en una tabla que contengan como mínimo los valores del patrón, manómetro, error e incertidumbre de medición y acorde a la resolución del manómetro.
15. Al menos los resultados del patrón deberán ser expresados en múltiplos o submúltiplos de Pa y en la unidad del manómetro bajo calibración, expresando el factor de equivalencia.

4.3.2 Procedimiento para transductores y/o transmisores de presión

1. Verificar si el transductor o transmisor está dentro del alcance de acreditación.
2. Revisión de condiciones físicas del transductor o transmisor a calibrar (impurezas, hermeticidad, integridad física, etc.).
3. Conecte eléctricamente el transductor o transmisor de acuerdo a las especificaciones del fabricante, permitiendo el calentamiento del transductor o transmisor ocasionado por el funcionamiento de la electrónica del mismo.
4. La calibración se desarrollará después de establecido el equilibrio térmico entre el transductor o transmisor a calibrar, sistema de calibración y el medio ambiente.
5. Conectar el transductor o transmisor en su posición de trabajo en el sistema de calibración.
6. Verificar la hermeticidad del sistema de calibración incluyendo el transductor o transmisor a calibrar al 100 % del alcance de calibración.
7. Determinar los niveles de referencia para los equipos.
8. Seleccionar los puntos mínimos de medición de acuerdo a la siguiente tabla.

Clase de exactitud	No. de puntos mínimos a calibrar
$CE \leq 0,5 \%$	8
$0,5 \% < CE \leq 2 \%$	5
$CE > 2 \%$	3

Los puntos deberán incluir un punto al 10 %, otro al 50 % y otro al 100 % del alcance de medición del manómetro. Los puntos restantes deberán ser distribuidos uniformemente a lo largo del alcance de medición.

El cero no se considera un punto de calibración.

9. Aplique presión hasta el 100 % del alcance de medición del transductor o transmisor bajo calibración por lo menos 2 veces, manteniéndola 1 minuto cuando menos en cada aplicación.
10. Antes de iniciar cada ciclo de calibración se deberá de establecer el cero del transductor o transmisor bajo calibración.
11. Asegurar que el cero del indicador utilizado para medir la señal de salida se corrige (p. e. si se tiene un corrimiento de 3 mA deberá ser corregido para todas las lecturas).
12. Tomar como mínimo 3 repeticiones en cada punto de medición, realizadas en 2 ascensos y 1 descenso.
13. Las lecturas deberán estar de acuerdo a la exactitud del transductor o transmisor.
14. Se deberán realizar las correcciones necesarias para las magnitudes de influencia del sistema de calibración y transductor y/o transmisor bajo calibración en cada punto de medición.
15. Determine la curva de ajuste del transductor o transmisor.
La curva puede ser de la siguiente forma:

$$y = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$$

Donde:

y es el valor correspondiente en unidades de presión a la lectura del transductor o transmisor.

x es el la lectura del transductor o transmisor en unidades de la señal de salida (mA, mV, V, Hz, etc.)

A, B, C, D son los coeficientes de la curva de ajuste de transductor o transmisor generados por el método numérico utilizado para el ajuste.

16. Determine el error residual del transductor o transmisor utilizando la curva de ajuste del transductor o transmisor.

$$E_{i\text{res}} = y_i - L_{P_i}$$

Donde:

$E_{i\text{res}}$ es el error residual promedio del transductor o transmisor en el i -ésimo punto de medición.

y_i es valor promedio correspondiente en unidades de presión en el i -ésimo punto de medición.

L_{P_i} es la lectura promedio corregida del patrón en el i -ésimo punto de medición.

17. Los resultados deberán ser expresados en una tabla que contenga como mínimo, los valores del patrón, transductor o transmisor en las unidades eléctricas y los valores

en presión calculados con la curva de ajuste, error residual e incertidumbre de medición.

18. Al menos los resultados del patrón deberán ser expresados en múltiplos o submúltiplos de Pa y en la unidad del manómetro bajo calibración, expresando el factor de equivalencia.

4.4 Equipos e instrumentos, instalaciones

El laboratorio debe contar con un sistema para controlar la temperatura ambiente con una estabilidad de ± 1 °C. La temperatura puede estar entre 18 °C y 28 °C. En el caso de utilizar balanzas de presión como patrón, el laboratorio debe monitorear y controlar la humedad relativa. La humedad relativa puede estar entre el 20 % y el 80 %.

Los siguientes instrumentos son los necesarios para poder llevar a cabo la calibración:

Instrumento patrón (columna de líquido, balanza de presión o manómetro de alta exactitud)

Fuente de generación de presión

Dispositivo para medir diferencias de alturas

Nivel

Barómetro

Termómetro

Higrómetro

Gas seco o inerte

Base rígida y adecuada para los instrumentos

Todos los instrumentos necesarios para incluir las correcciones en el patrón utilizado

4.5 Competencia técnica del personal

El técnico de calibración debe cumplir con los siguientes requisitos:

Demostrar la competencia en términos de su educación formal como mínimo de bachillerato o equivalente, experiencia mínima de 20 calibraciones bajo supervisión y en el manejo del equipo, patrones y elementos auxiliares para la calibración de manómetros. Así como, conocimientos y habilidades específicas básicas en la magnitud de presión comprobable, en calibración de manómetros, mediante una evaluación teórica y práctica, requeridas para alcanzar la incertidumbre de las mediciones pretendidas. Para demostrar lo anterior se deberá contar con evidencia documentada. Las actividades y responsabilidades que pueden ser encomendadas a este técnico en calibración son como máximo: preparación de la calibración (limpieza, instalación), toma de lecturas de acuerdo a procedimientos establecidos, captura de datos y desmontaje de instrumentos.

El personal signatario debe de cumplir con los siguientes requisitos:

Deberá cumplir con los requisitos del técnico de calibración, adicionalmente deberá contar mínimo con carrera técnica (CONALEP, UT's, CBTIS, CETIS, etc.), experiencia mínima de un año.

El responsable técnico debe de cumplir con los siguientes requisitos:

Deberá cumplir con los requisitos del signatario, además de contar con una licenciatura en ingeniería o rama afín, tener la capacidad de supervisar los trabajos realizados del laboratorio, así como desarrollar y revisar los procedimientos y cálculos de las calibraciones.

Nota:

Las responsabilidades y actividades mínimas del personal serán de acuerdo a los lineamientos de la ema.

5. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA Y CALIFICACIÓN DE EQUIPOS

Este apartado es especialmente importante para las mediciones realizadas en un laboratorio de ensayo.

5.1 Confirmación metrológica

El laboratorio deberá contar con elementos suficientes para demostrar la confirmación metrológicas de su sistema de medición acorde al tipo de patrón utilizado y su clase de exactitud. [ISO 10012-2].

Los periodos entre calibraciones no deberán exceder de 1 año.

5.2 Calificación de equipos

No aplica.

6. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES

La trazabilidad de las mediciones de manómetros de elemento elástico, transductores y transmisores de presión, calibrados debe ser a patrones nacionales de presión.

La trazabilidad de las mediciones para la calibración de manómetros de elemento elástico, transductores y transmisores de presión deberá ser evidenciada con los respectivos certificados o informes de calibración.

6.1 Trazabilidad, calibración y patrón

Trazabilidad: Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, tal que éstos 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.

Patrón: Medida materializada, aparato de medición o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad, o uno o varios valores conocidos de una magnitud, para servir de referencia [1].

Un material de referencia certificado también es un patrón de medición.

Calibración: Conjunto de operaciones que establecen bajo condiciones especificadas, la relación entre los valores indicados por un aparato o sistema de medición o los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes de la magnitud realizada por los patrones [1].

Verificación: Confirmación y provisión de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos especificados [4].

Debe notarse que la calibración NO incluye operaciones de ajuste, y tampoco implica la comparación con requisito alguno, por lo que debe entenderse que la verificación es una actividad no incluida en la calibración, aunque sean necesarios los resultados de una calibración para soportarla.

6.2 Utilidad de la trazabilidad

La trazabilidad es la propiedad de las mediciones que permite hacer comparaciones entre ellas, por lo que es indispensable para construir la confianza en las mismas. Cabe subrayar que sólo tienen sentido las comparaciones entre medidas asociadas a una misma magnitud.

La trazabilidad de una medición está relacionada con la disseminación de la unidad correspondiente a esa medición. La expresión del valor de una magnitud incluye la referencia a una unidad de medida, la cual ha sido elegida por acuerdo, y por tanto, las medidas de la misma magnitud deben estar referidas a la misma unidad. Aún cuando la definición de trazabilidad no impone limitaciones sobre la naturaleza de las *referencias determinadas*, es conveniente lograr la uniformidad universal de las mismas mediante el uso de las unidades del Sistema Internacional de Unidades, SI, las cuales ya han sido convenidas en el marco de la Convención del Metro. En México, es obligatorio el uso del Sistema General de Unidades de Medida [3], el cual contiene a las unidades del SI.

La definición de las unidades del SI puede llevarse a la práctica mediante el uso de algún instrumento, artefacto o sistema de medición, lo cual de hecho, es la realización de la unidad de medida. Un patrón nacional de medida se establece mediante la realización física de una unidad de medición, con la característica de que mantiene, tanto la menor incertidumbre de medición en una nación, cuanto la equivalencia con patrones nacionales de otros países. El patrón nacional constituye el primer eslabón de la cadena de trazabilidad en una nación. Estas realizaciones están usualmente bajo la responsabilidad de los institutos nacionales de metrología, quienes diseminan las unidades de medición al siguiente eslabón en la cadena de trazabilidad. Las calibraciones de instrumentos o patrones de medición constituyen los eslabones de la cadena de trazabilidad.

Los materiales de referencia certificados constituyen un patrón de referencia para la medición de propiedades de los materiales. Por ejemplo, la cantidad certificada de un líquido en una muestra de sal, es un material de referencia certificado para la medición de humedad.

Existen mensurandos que son definidos por un método de medición, y en tales casos, la aplicación estricta de los métodos constituye el eslabón de la cadena de trazabilidad.

Las magnitudes derivadas tienen trazabilidad originada en más de una referencia determinada, en cuyo caso aparecen varias cadenas de trazabilidad que parten de las unidades base que componen la unidad derivada, y se encuentran en un punto de concurrencia que eventualmente conecta a las medidas bajo examen. En este caso, las cadenas pueden estar constituidas por calibraciones o por la aplicación apropiada de los métodos correspondientes.

6.3 Elementos de la trazabilidad

El laboratorio debe contar con una política de trazabilidad establecida y documentada, esta política podrá adherirse a la política de trazabilidad de la emc o excederla.

El laboratorio debe mantener un programa de calibración de sus patrones de referencia y de todos sus patrones de trabajo y equipo auxiliar que participe en calibración.

El periodo de calibración de los patrones de referencia del laboratorio puede ser de cuatro años como máximo, siempre y cuando el laboratorio sea capaz de demostrar el mantenimiento de la trazabilidad durante ese tiempo. En caso contrario, el laboratorio deberá calibrar su patrón en periodos menores.

El laboratorio debe mantener la trazabilidad de sus patrones de trabajo mediante calibración anual como máximo, pudiendo ser menor el periodo de calibración.

El laboratorio debe ser capaz de demostrar el pleno cumplimiento de la trazabilidad, a sus clientes y a los auditores de la **ema** u otra entidad en el momento que sea requerido.

El laboratorio debe proveer la documentación de la trazabilidad de sus patrones que permita a cualquier auditor constatar la trazabilidad de las mediciones, desde el servicio pagado por el cliente hasta el patrón nacional.

Los procedimientos de calibración del laboratorio deben considerar el mantenimiento de la trazabilidad asociado al cumplimiento de una relación mínima 1:4 en alcances correspondientes.

Los procedimientos de calibración del laboratorio deben considerar el mantenimiento de la trazabilidad asociado al cumplimiento de empleo del patrón entre el 10 % y el 100 % de su alcance, en consecuencia de su calibración. El uso del patrón abajo del 10 % de su alcance debe ser ponderado, justificado, comprobado y documentado como una desviación.

La calibración de transductores y transmisores de presión debe observar igual cantidad de puntos de calibración que los establecidos para los manómetros.

La calibración de transductores y transmisores de presión debe realizarse mediante la aplicación de presión y no mediante simulación eléctrica de una señal de presión. La trazabilidad de las calibraciones en presión se obtiene aplicando una presión con una incertidumbre determinada, aún cuando la indicación del medidor sea una magnitud eléctrica.

Para el mantenimiento de la trazabilidad en la calibración de los transductores y transmisores de presión cuya indicación es una magnitud eléctrica, los resultados deben expresarse tanto en la unidad eléctrica, como su equivalencia en unidades de presión. Los datos de calibración del multiméetro y fuente de alimentación empleados forman parte de la declaración de trazabilidad y de la incertidumbre de la calibración.

Carta de trazabilidad

El laboratorio debe establecer y mantener la carta de trazabilidad, construyendo la cadena entre los patrones nacionales de presión del CENAM hasta los instrumentos de sus clientes. Ver muestra anexa.

Cada eslabón de la cadena de trazabilidad debe contar con la siguiente información:

PATRÓN

Alcance: kPa

Límites de uso: (desde /hasta)

Incertidumbre ($k = 2$): kPa

Certificado No:

Certificado por:

Procedimiento:

% lectura

de fecha:

Periodo de calibración:
Nombre o designación del patrón:
No de Serie:
Identificación:
Marca / modelo:
Fecha:

Los laboratorios que cuentan con varios instrumentos patrón deben disponer de patrones de control o mecanismos similares para asegurar el mantenimiento de la trazabilidad durante periodos de calibración con el patrón nacional, para conocer mejor la incertidumbre por deriva en el tiempo y optimizar los periodos de calibración.

El mantenimiento de la trazabilidad es un compromiso del laboratorio de calibración, sin embargo puede ocurrir que la trazabilidad se vea interrumpida cuando un patrón de referencia deja de operar, en tal caso, el laboratorio debe dar aviso dentro de un mes sobre lo ocurrido a la Entidad de Acreditación anunciando la suspensión temporal del servicio, estimando el plazo para la reanudación o el retiro total de dicho servicio y las medidas que serán tomadas.

Puede ocurrir que el laboratorio de calibración rompa la cadena de trazabilidad de manera inadvertida o dolosa, en cualquier caso, la acreditación emca será suspendida disponiendo el laboratorio de diez días hábiles para aclarar satisfactoriamente lo sucedido. En caso contrario, de inmediato será retirada la acreditación de forma definitiva.

7. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

Incertidumbre de medición: Parámetro asociado al resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando [1].

Incertidumbre: Parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente, ser atribuidos al mesurando.

La incertidumbre de la medición para cada paso en la cadena de trazabilidad debe ser calculada de acuerdo a los métodos definidos en la norma NMX-CH-140-IMNC-2002, debe ser declarada a cada paso de la cadena de tal manera que la incertidumbre para la cadena completa pueda ser calculada. Estas incertidumbres deben estar soportadas matemáticamente y estarán representadas como incertidumbres expandidas usando un nivel de confianza de aproximadamente el 95% y su factor de cobertura correspondiente, a menos que el laboratorio pueda demostrar otro nivel de confianza.

Todo resultado de medición debe ser acompañado de una estimación de su incertidumbre.

TABLA 1. CONTRIBUCIONES A LA INCERTIDUMBRE

	fuelle	variabilidad	distribución	incertidumbre estándar	coeficiente de sensibilidad	contribución
1						
2						
3						
					incertidumbre estándar combinada	
					incertidumbre expandida	

La mayoría de los organismos de metrología, incluyendo a los laboratorios nacionales de cada país, han adoptado el método recomendado por el BIPM, el cual se explica en la *Guide to the expression of uncertainty in measurement (La GUM)*, que detalla los principios bajo los cuales se basan los criterios para la estimación de la Incertidumbre. En México, siguiendo el mismo método, se utiliza la norma mexicana NMX-CH-140-IMNC-2002.

Por lo tanto, para determinar la incertidumbre con la que realizamos una medición, aplicamos la ley de propagación de incertidumbres de acuerdo a la ecuación:

$$U^2(E_C) = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f}{\partial X_i} \right]^2 U^2(X_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1+1}^n \frac{\partial f}{\partial X_i} \frac{\partial f}{\partial X_j} U(X_i, X_j)$$

En esta ecuación, el segundo término se emplea solo en los casos de que exista una correlación al realizar la calibración, en calibraciones directas este término es cero.

Como al realizar una calibración, determinamos el error del calibrando, nuestro mesurando es el Error, por lo que el modelo matemático que define al error del instrumento bajo prueba es:

$$C_{CAL} = V_{Patrón} - V_{med} + \varepsilon_{EstabilidadPatrón} + \varepsilon_{Resolución} \quad \text{---(1)}$$

En donde:

C_{med}	Valor de indicación del instrumento bajo prueba
C_{CAL}	Corrección del instrumento bajo prueba
$V_{Patrón}$	Valor del Patrón (a la temperatura y presión de la medición)
$\varepsilon_{EstabilidadPatrón}$	Error por estabilidad del patrón
$\varepsilon_{Resolución}$	Error por estabilidad del patrón

7.1 Evaluación tipo A de la incertidumbre

Son las que se determinan por medios estadísticos.

- Variabilidad en las mediciones

7.2 Evaluación tipo B de la incertidumbre

Son las que se determinan por otros medios:

- Incertidumbre por Resolución del instrumento bajo prueba
- Incertidumbre de Calibración del Patrón.
- Incertidumbre por *estabilidad* del Patrón.
- Incertidumbre por *deriva* del Patrón.
- Incertidumbre derivada de la ecuación para la determinación de la densidad del agua
 - Incetidumbre por corrección de temperatura
 - Incetidumbre por corrección de presión atmosférica
 - Incetidumbre debida al ajuste de coeficientes de la ecuación adoptada para la determinación de la densidad del Agua Tipo I.
- Incertidumbre del laboratorio. (Ésta puede ser determinada mediante ensayos de aptitud, pruebas R y r, análisis de varianzas o cualquier otro método que asegure la confiabilidad en las mediciones derivadas de factores humanos).
- Incertidumbre por el factor de conversión utilizado cuando los resultados son expresados en unidades que no pertenecen al SI.

Existen otras fuentes de incertidumbre como los errores numéricos de cálculo, la propia incertidumbre del termómetro, y algunas otras, sin embargo, se considera que estas no contribuyen de manera significativa a la incertidumbre total, pero pueden ser significativas bajo condiciones que pudieran ocurrir en el transcurso de la medición.

7.3 Incertidumbre combinada

La incertidumbre combinada es la suma cuadrática de las incertidumbres involucradas en el modelo matemático.

$$U_C^2(E_{CAL}) = U^2V_{med} - U^2V_{Patrón} + U^2E_{Patrón}$$

7.4 Coeficientes de sensibilidad

Los coeficientes de sensibilidad se obtienen derivando en forma parcial la incertidumbre combinada.

$$U^2E_{CAL} = \left(\frac{\partial E_{CAL}}{\partial V_{med}}\right)^2 U^2V_{med} + \left(\frac{\partial E_{CAL}}{\partial V_{Patrón}}\right)^2 U^2V_{Patrón} + \left(\frac{\partial E_{CAL}}{\partial E_{Patrón}}\right)^2 U^2E_{Patrón}$$

En la ecuación anterior se tienen tres coeficientes de sensibilidad, los cuales son:

$$\frac{(\partial E_{CAL})}{(\partial V_{med})} = \frac{\partial V_{med}}{\partial V_{med}} - \frac{\partial V_{Patrón}}{\partial V_{med}} + \frac{\partial E_{Patrón}}{\partial V_{med}} = 1$$

$$\frac{(\partial E_{CAL})}{(\partial V_{Patrón})} = \frac{\partial V_{med}}{\partial V_{Patrón}} - \frac{\partial V_{Patrón}}{\partial V_{Patrón}} + \frac{\partial E_{Patrón}}{\partial V_{Patrón}} = -1$$

$$\frac{(\partial E_{CAL})}{(\partial E_{Patrón})} = \frac{\partial V_{med}}{\partial E_{Patrón}} - \frac{\partial V_{Patrón}}{\partial E_{Patrón}} + \frac{\partial E_{Patrón}}{\partial E_{Patrón}} = 1$$

7.5 Grados efectivos de libertad

Si la relación de incertidumbres de calibración (RIC) es menor a 10 $RIC < 10$, se deben calcular los grados de libertad con la fórmula de Welch-Satterthwaite y con el valor obtenido seleccionar el valor de k para un nivel de confianza aproximado del 95%:

$$v_{ef} = \frac{U^4 c(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{U^4 i(y)}{v_i}} \quad \text{donde: } v_i = n - 1$$

En el caso de que la relación sea mayor o igual a 10 $RIC \geq 10$, utilizar $k = 2$.

7.6 Incertidumbre expandida

La incertidumbre expandida se obtiene al multiplicar la incertidumbre combinada por el factor de cobertura k :

$$U_e E_{CAL} = k U_c E_{CAL}$$

7.7 Expresión de incertidumbre

La incertidumbre expandida U_e se debe de indicar como un intervalo centrado en el mejor estimado del error y con un nivel de confianza del 95%.

$$E_{cal} \pm U_e$$

8. VALIDACIÓN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN

Validación del método: Demostrar que las características de desempeño de un método de medición son adecuadas para la exactitud requerida.

Para asegurar que la trazabilidad de las mediciones se mantiene y que el valor de la incertidumbre de la medición es válido, el laboratorio evaluado puede demostrarlo mediante lo siguiente:

- a) Comparación de resultados alcanzados con otros métodos.
El nuevo método se puede validar si al comparar los resultados obtenidos entre éste y otro diferente validado los resultados son iguales o mejores.
- b) Comparaciones entre laboratorios.
Cuando se comparan los resultados obtenidos por uno o más laboratorios externos (preferentemente acreditados y/o que pertenezcan al SNC) utilizando un método. Se analizan por medio de normas y/o documentos técnicamente válidos, p. e. ISO-5725 o documento NORAMET 8.
- c) Evaluación sistemática de los factores que tienen influencia en los resultados.
Consta de cuantificar la variabilidad de cada factor que afecta los resultados de la medición, dicha cuantificación se realiza de manera individual, suele aplicarse cuando no se cuenta con un modelo matemático que incluya todas las variables de influencia. A esto se le llama también caracterización.

Esto también puede hacerse para mejora de incertidumbre sobre un modelo matemático ya conocido.

- d) Evaluación de la incertidumbre de los resultados con base en el conocimiento científico de los principios teóricos del método y de la experiencia práctica.

Esta evaluación aplica principalmente cuando el laboratorio desea mejorar su incertidumbre o no tiene bien caracterizadas las variables de influencia que afectan las mediciones durante la calibración de balanzas de presión.

Nota: Cuando se hacen algunos cambios en los métodos no normalizados validados, la influencia de tales cambios debe ser documentada.

- e) Evaluación de la incertidumbre del laboratorio.
Ésta puede ser determinada mediante ensayos de aptitud, pruebas R y r, análisis de varianzas o cualquier otro método que asegure la confiabilidad en las mediciones derivadas de factores humanos.

La validación del método debe incluir las especificaciones de los requisitos, determinación de las características del método, una verificación de que se pueden cumplir los requisitos usando dicho método y una declaración en la validez.

Se pueden aplicar uno o varios de los incisos anteriores, tomando en cuenta que el fin es demostrar que el método se encuentra validado y que se identificaron y validaron los aspectos que puedan influir sobre la trazabilidad y la incertidumbre de las mediciones.

9. BUENAS PRÁCTICAS DE MEDICIÓN

Para las buenas prácticas de calibración de manómetros, transductores y/o transmisores de presión es requisito indispensable cumplir con lo siguiente:

El patrón de trabajo debe:

- Tener el alcance de medición, exactitud e incertidumbre suficientes para calibrar el instrumento bajo prueba de acuerdo al punto 3.2 de esta guía.
- Estar vigente en su calibración y dentro del control "estadístico" (cartas de control), que mantenga el laboratorio para el patrón.
- Utilizar el mismo fluido manométrico que el instrumento bajo prueba que no dañe al elemento sensor.
- Estar en óptimas condiciones de funcionamiento, cumpliendo con sus programas de mantenimiento preventivo como: *fluido utilizado* limpio y dentro de especificaciones, *elemento sensor* (pistón-cilindro, Bourdon, diafragma etc.) limpio evitando su contaminación, *cables, conectores y empaques* limpios y en buen estado de funcionamiento.
- Aplicar las correcciones necesarias de acuerdo al patrón utilizado, sea una Balanza de Pesos Muertos o un Manómetro, utilizando el modelo matemático necesario de acuerdo al nivel de incertidumbre requerido y/o solicitado.
- Asegurar la trazabilidad al patrón nacional de presión, cumpliendo con el punto 6.1 de esta guía.

Las instalaciones deben:

- Registrar continuamente las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa y presión barométrica) del laboratorio.
- Mantener una temperatura ambiente estable de acuerdo al nivel de incertidumbre requerido y/o solicitado en la medición.
- Mantener una humedad adecuada (que no exceda el 80%) de acuerdo al nivel de incertidumbre requerido y/o solicitado en la medición.
- Mantener las instalaciones limpias y ordenadas.
- Evitar el introducir alimentos y/o bebidas al área de calibración.
- Evitar el acceso a personas no autorizadas.
- Supervisar el mantenimiento del área de calibración evitando cualquier daño a los patrones de trabajo y/o referencia.
- Cumplir con los requisitos establecidos en el punto 4.4 de esta guía.

El equipo auxiliar (termómetro, barómetro, higrómetro, medidor de alturas, etc.) debe:

- ❑ Estar vigente en su calibración dentro del control "estadístico" (cartas de control), que mantiene el laboratorio para el equipo auxiliar, cuando sea necesario.
- ❑ Tener el alcance de medición, exactitud e incertidumbre suficiente para calibrar el instrumento bajo prueba de acuerdo al punto 3.2 de esta guía, y considerando el nivel de incertidumbre requerido y/o solicitado.
- ❑ Estar en óptimas condiciones de funcionamiento, cumpliendo con sus programas de mantenimiento preventivo cables, conectores y empaques limpios y en buen estado de funcionamiento).
- ❑ Cumplir con los requisitos establecidos en el punto 4.4 de esta guía.

Método y/o procedimiento de medición debe:

- ❑ Asegurar su trazabilidad al patrón nacional de presión aplicando el punto 6 de esta guía.
- ❑ Cumplir con los requisitos mínimos de esta guía mencionados en el punto 4.
- ❑ Estar documentado con suficiente detalle de acuerdo a los patrones, condiciones ambientales con que cuenta el laboratorio y al nivel de incertidumbre solicitado.
- ❑ Ser revisado periódicamente.

Instrumento bajo prueba debe:

- ❑ Estar en condiciones de funcionamiento, limpio y no contaminado.
- ❑ Leer el manual del fabricante antes de su calibración, para revisar su funcionamiento, especificaciones y el fluido manométrico que puede utilizar para no dañarlo.
- ❑ Cumplir con la relación de exactitudes para su calibración, propuesta en esta guía en el punto 3.2 o en caso contrario documentarlo.
- ❑ Evitar el no aplicar sobre presiones de acuerdo a su alcance de medición.
- ❑ Cumplir con los pasos establecidos en el punto 4 de esta guía.

El personal debe:

- ❑ Tener los conocimientos necesarios para cumplir con su actividad desempeñada dentro del laboratorio (técnico, signatario, responsable técnico, etc.).
- ❑ Cumplir con los requisitos propuestos en el punto 4.5 de esta guía.
- ❑ Participar en un esquema de evaluación periódica que asegure la repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones.
- ❑ Estar dentro de un programa de capacitación.

Los informes de calibración deben:

- ❑ Contener la información necesaria para reproducir las mediciones.
- ❑ Ser claros y sin ambigüedad para el cliente.
- ❑ Contener gráficos cuando sea necesario.
- ❑ Mostrar la trazabilidad de las mediciones y/o resultados del informe, al patrón nacional de presión cumpliendo con lo estipulado en el punto 6 de esta guía.
- ❑ Presentar la estimación de la incertidumbre del resultado de la medición cumpliendo con lo estipulado en el punto 7 de esta guía.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NMX-Z-055-1997-IMNC IMNC Metrología – Vocabulario de términos fundamentales y generales; equivalente al documento International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1993.
- [2] NMX-EC-17025-IMNC-2006 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.
- [3] NOM- 008-SCFI Sistema General de Unidades de Medida.
- [4] NMX-CC-9000-IMNC-2000 Sistemas de gestión de la calidad – Fundamentos y vocabulario.
- [5] NMX-CC-10012-IMNC-2003 Sistema de gestión de las mediciones – Requisitos para procesos de medición y equipos de medición.
- [8] Políticas referentes a la trazabilidad e incertidumbre de mediciones, Serie documentos, **ema**,
<http://www.ema.org.mx/ema/pdf/PROCEDIMIENTOS/TRAZABILIDAD%20E%20INCERTIDUMBRE%20SC-2002-12-12.pdf>, 2002.
- [7] The mutual recognition arrangement, BIPM, (1999). También en <http://www.bipm.fr/en/convention/mra>
- [9] NMX-CH-140-IMNC-2002 Guía para la expresión de la incertidumbre de las mediciones; equivalente al documento Guide to the \square ulio \square ión of Uncertainty in Measurement, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1995.
- [10] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Supplement 1. Numerical Methods for the Propagation of Distributions. Preparado por miembros de JCGM/WG1/SC1, diciembre 2002.
- [11] NMX-CH-064 Terminología de metrología de presión.
- [12] Curso de Metrología de Presión, Centro Nacional de Metrología, mayo de 2004.
- [13] EA/10-17 Guidelines on the calibration of electromechanical manometers, \square ulio de 2002.
- [14] DKD-R 6-1 Calibración de medidores de presión, diciembre de 1998.
- [15] NT-MECH-022 Pressure Gauges : Calibration, noviembre de 1989.

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
1	6	Se actualizó la fecha de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2000 por NMX-EC-17025-IMNC-2006
7	16	Se agregó IMNC-2002 a NMX-CH-140
10	23	Se cambió NMX-Z-055:1996 por NMX-Z-055-1997-IMNC
10	23	Se actualizó la fecha de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2000 por NMX-EC-17025-IMNC-2006
10	23	Se rectificó la codificación de la norma NMX-EC-9000-IMNC-2000 por NMX-CC-9000-IMNC-2000
Observaciones:		