

GUÍA TÉCNICA SOBRE TRAZABILIDAD E INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN DE PRESIÓN CON MANÓMETROS

México, Junio 2004

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 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-17025-IMNC-2000. 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:

MORENO, Pablo, Compañía Hulera Tornel, S.A. de C.V.

OLVERA ARANA, Pablo, CENAM

TORRES GUZMÁN. Jorge C., CENAM

ÍNDICE

ÍNDICE	Página
I. PROPÓSITO DE LA GUÍA TÉCNICA	6
II. ALCANCE DE LA GUÍA TÉCNICA	6
III. MENSURANDO	6
IV. MÉTODO Y SISTEMA DE MEDICIÓN.....	7
V. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA Y CALIFICACIÓN DE EQUIPOS...	9
VI. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES.....	10
VII. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN.....	12
VIII. VALIDACIÓN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN.....	15
IX. BUENAS PRÁCTICAS DE MEDICIÓN.....	15
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16

I. PROPÓSITO DE LA GUÍA TÉCNICA

Establecer criterios y requisitos para la utilización de la presente guía como apoyo a fin de lograr mediciones con trazabilidad e incertidumbre confiables durante la realización de un ensayo en el que se involucre la medición de presión mediante el uso de manómetros.

Esta guía es una recomendación del grupo de trabajo de pruebas físicas de los diferentes subcomités de pruebas de la ema (sin ser un documento normativo) y cualquier modificación deberá analizarse por el cuerpo colegiado correspondiente (constituido por los autores de esta guía).

Esta guía establece los requisitos mínimos de trazabilidad e incertidumbre en la medición de presión con manómetros. El laboratorio de ensayo puede utilizar la presente guía con el fin de integrar tales requisitos en el ensayo particular a realizar.

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 ensayos que sean técnicamente válidos y trazables.

Esta guía técnica de trazabilidad e incertidumbre pretende facilitar la aplicación de las normas NMX-EC-17025-IMNC-2000, NMX-CH-140-IMNC-2002, sin sustituirlas ni modificarlas.

II. ALCANCE DE LA GUÍA TÉCNICA

Esta guía establece los requisitos mínimos en la medición de Presión mediante la utilización de manómetros por el método de medición directa que garantiza la trazabilidad y uniformidad en la estimación de la incertidumbre de medición en un ensayo particular.

III. MENSURANDO

El mensurando en un ensayo es definido por el laboratorio para la aplicación particular, en donde la técnica de medición de la magnitud de entrada, presión, será determinada en el manómetro, mediante la lectura en el dispositivo indicador de mejor resolución o división mínima del manómetro, en ocasiones, ingresados en tablas o ecuaciones que nos permitan expresar los resultados de medición en unidades de medición de presión en el Sistema Internacional, SI.

Por ejemplo:

Se requiere determinar la fuerza de ruptura de una probeta en una máquina de compresión con un pistón de área conocida. El mensurando es determinado mediante la siguiente relación,

$$F = A \cdot p$$

Donde:

- F , es la fuerza de compresión a la que rompe la probeta, (mensurando);
- A , es el área del pistón de la máquina de compresión (magnitud de entrada 1, o técnica de medición de área);
- p , es la presión medida con el manómetro de la máquina de compresión (magnitud de entrada 2).

III.1 Intervalo típico de medición

El intervalo de medición de un manómetro se define por el módulo de la diferencia entre los dos límites de su alcance nominal. El intervalo típico de medición se recomienda que quede comprendido entre el 25 % y 75 % de su alcance de medición y debe estar incluido entre los puntos de calibración del manómetro establecidos en el informe de calibración.

III.2 Incertidumbre de medición esperada

La incertidumbre resultante cuando se realice un ensayo no podrá ser menor que la incertidumbre de la calibración del manómetro.

Para realizar un ensayo, se recomienda mantener una relación de clases de exactitud entre el manómetro y el ensayo a ser realizado (dependiendo también de las otras magnitudes de entrada) de 4:1. Por ejemplo, si el ensayo requiere en la medición de presión una incertidumbre, (tolerancia), de ± 1 kPa, la clase de exactitud del manómetro utilizado en el ensayo deberá ser de $\pm 0,25$ kPa a la presión medida.

Posibles fuentes de incertidumbre.

- a) Resolución. Para manómetros analógicos se considera a la resolución como la mínima cantidad que puede ser medida de manera repetible, por ejemplo $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ de la mínima división de la escala. Para manómetros digitales la resolución corresponde normalmente al dígito menos significativo.
- b) Incertidumbre de la calibración. En los informes de calibración se consulta la incertidumbre y el error del manómetro, así como el factor de cobertura.
- c) Repetibilidad o reproducibilidad, son fuentes de incertidumbre que se estiman con procedimientos de tipo estadístico, generalmente la desviación estándar de las lecturas.

IV. MÉTODO Y SISTEMA DE MEDICIÓN

A continuación se especifican las recomendaciones generales mínimas que deben ser consideradas para la medición con manómetros.

IV.1 Método de medición

Medición directa: Lectura directa en el dispositivo indicador del manómetro, aplicando la presión directamente del compresor o de la fuente de presión al elemento bajo ensayo, garantizando la axialidad de la fuerza en el método normalizado del ensayo particular.

IV.2 Documentos de consulta

- ◆ Norma NOM-013-SCFI-1993 Instrumentos de Medición – Manómetros con Elemento Elástico – Especificaciones
- ◆ Norma NMX-CH-58-1994-SCFI Instrumentos de Medición – Manómetros con Elemento Elástico – Método de Calibración con Balanza de Pesos Muertos.
- ◆ OIML R 101 Indicating and Recording Pressure Gauges, vacuum gauges and pressure and vacuum gauges with Elastic Sensing Elements. Ordinary Instruments.

IV.3 Recomendaciones para la medición de presión con manómetros

1. Definir el método de ensayo.
2. Verificar que el manómetro esté dentro del alcance de acreditación del laboratorio.
3. Verificar el estado general del manómetro (operación, conservación e instalación).
4. Verificar que la incertidumbre del manómetro sea menor que los requisitos necesarios para el ensayo. (Relación 4:1).
5. Asegurar el acondicionamiento ambiental del manómetro y el elemento a ensayar a las condiciones que permite el método de ensayo.
6. Verificar que el manómetro esté en su posición normal de trabajo.
7. Verificar el error de cero del manómetro.

IV.4 Equipos e instrumentos auxiliares

Instrumentos de medición de las condiciones ambientales para el registro de las mismas, si estas son requeridas por el ensayo.

IV.5 Competencia técnica del personal

Referirse al 5.2 de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2000 para la evaluación de la competencia del personal.

Se recomienda como modelo para evaluar la competencia técnica:

1. Verificar que el técnico de ensayos (responsable de la prueba) cumple con los siguientes requisitos mínimos:
 - Que es competente en términos de su experiencia en el manejo y operación de manómetros mediante la testificación de esta actividad por el evaluador.

- Es ampliamente recomendable que el técnico de ensayos tenga grado escolar mínimo de secundaria.

Ejemplos:

- a) Verificar la habilidad para la estimación de la resolución
 - b) Evitar el error de paralaje.
 - c) Verificar que la toma de lecturas se realiza de acuerdo a los procedimientos del laboratorio de ensayo.
2. Verificar que el signatario cumple con los siguientes requisitos mínimos:
 - Que cumple con los requisitos del técnico en ensayos y adicionalmente es competente en términos de su experiencia en evaluación de incertidumbres y del conocimiento de las normas aplicables.
 - Es ampliamente recomendable que el signatario tenga grado escolar mínimo de bachillerato o equivalente (Conalep, UT's, CBTIS, CETIS, etcétera).
 3. Verificar que el responsable técnico cumple con los siguientes requisitos mínimos:
 - Que cumple con los requisitos del signatario, adicionalmente tener conocimientos de regulaciones y legislaciones en metrología, además de tener la capacidad de supervisar los trabajos realizados en el laboratorio y desarrollar y revisar los procedimientos y cálculos de los ensayos realizados.
 - Es ampliamente recomendable que el Responsable Técnico tenga grado escolar mínimo licenciatura en ingeniería o rama afín.

Nota:

Las responsabilidades y actividades mínimas del personal serán de acuerdo a las establecidas en el sistema de aseguramiento de calidad del laboratorio de ensayos y a los lineamientos de la entidad acreditadora.

V. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA Y CALIFICACIÓN DE EQUIPOS

V.1 Confirmación metrológica: Conjunto de operaciones requeridas para asegurar que el equipo de medición es conforme a los requisitos correspondientes a su uso previsto.

Nota 1. La confirmación metrológica generalmente incluye la calibración y verificación, cualquier ajuste o reparación necesario y la subsiguiente calibración, la comparación con los requisitos metrológicos para el uso previsto del equipo, así como cualquier sellado y etiquetado requerido.

Nota 2. La confirmación metrológica se obtiene cuando se ha demostrado y documentado la adecuación del equipo de medición para el uso previsto.

Nota 3. Los requisitos para el uso previsto del equipo de medición, incluyen consideraciones tales como alcance, resolución y error máximo permitido [5].

El laboratorio deberá contar con elementos suficientes para demostrar la confirmación metrológica de su sistema de medición acorde al tipo de manómetro utilizado y su clase de exactitud [ISO 10012-2000], p. e. cartas de control, programa de calibración, verificaciones intermedias, etcétera.

Es necesario observar que los períodos entre calibraciones de los manómetros no deberán exceder de 1 año, salvo demostración por confirmación metrológica adecuada sin exceder 25 meses.

VI. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES

La trazabilidad de las mediciones de los manómetros debe ser a patrones nacionales, evidenciada con los respectivos certificados o informes de calibración de laboratorios acreditados.

VI.1 Trazabilidad, calibración y patrón

Trazabilidad: Propiedad del resultado de una medición o de un patrón, tal que ésta pueda ser relacionada 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].

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.

VI.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 diseminación 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 cada una 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 física 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 comparabilidad 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.

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. Nuevamente, las cadenas pueden estar constituidas por calibraciones o por la aplicación apropiada de los métodos correspondientes.

VI.3 Elementos de la trazabilidad

Los criterios relativos a la trazabilidad de las medidas deben atender los siguientes elementos:

- a. el resultado de medición cuya trazabilidad se desea mostrar;
- b. las referencias determinadas, preferentemente patrones nacionales mantenidos por el CENAM;

- c. cadena de comparaciones, es decir conjunto de calibraciones o, que conecta el resultado de la medición con las referencias determinadas de laboratorios acreditados, indicando las fechas de las calibraciones;
- d. el valor de la incertidumbre de las mediciones, en cada eslabón preferentemente;
- e. la referencia al procedimiento de calibración, en cada eslabón preferentemente;
- f. la referencia al organismo responsable de la calibración en cada eslabón.

Los siguientes equipos deberán estar calibrados para asegurar la trazabilidad e incertidumbre de la medición para la calibración de manómetros.

Instrumento patrón: Manómetro patrón con error \pm incertidumbre ($k = 2$) menor a la tolerancia del ensayo en una relación de 4:1.

Instrumento para medición de temperatura ambiental (termómetro).

Para asegurar la trazabilidad e incertidumbre de la medición en la calibración de manómetros, el periodo de calibración de los equipos antes mencionados no deberá exceder 1 año (para el patrón ver apartado V.1).

VII. 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].

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, 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 y el nivel de confianza o factor de cobertura.

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:

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

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.

VII.1 Incertidumbre tipo A

Son las que se determinan por medios estadísticos.

- Variabilidad en las mediciones

VII.2 Incertidumbre tipo B

Son las que se determinan por otros medios:

- Incertidumbre por *estabilidad* del instrumento.
- Incertidumbre por *deriva* del instrumento.
- 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 incertidumbre del **termómetro ¿manómetro?**, 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.

Para realizar un ensayo se recomienda mantener una relación de exactitudes entre el manómetro y **el ensayo a ser realizado ¿la tolerancia de medición del mensurando?** (dependiendo también de las otras magnitudes de entrada) de 4:1.

Posibles fuentes de incertidumbre.

- a) Resolución. Para manómetros analógicos se considera a la resolución como la mínima cantidad que puede ser medida de manera repetible, por ejemplo $\frac{1}{2}$; $\frac{1}{4}$ de la mínima división de la escala. Para manómetros digitales la resolución corresponde normalmente al dígito menos significativo.
- b) Incertidumbre de la calibración. En los informes de calibración se consulta la incertidumbre y el error del manómetro, así como el factor de cobertura.
- c) Repetibilidad o reproducibilidad, son fuentes de incertidumbre que se estiman con procedimientos de tipo estadístico.

Cuantificación.

La resolución normalmente se considera con distribución rectangular, por lo tanto la incertidumbre por resolución se estima de acuerdo a la siguiente relación:

$$u_r = \frac{r}{\sqrt{12}}$$

La incertidumbre del manómetro obtenida por medio de un informe o certificado de calibración se tiene que reducir a incertidumbre estándar, generalmente ésta viene expresada con un factor de cobertura k , por lo que la incertidumbre estándar se obtiene de la siguiente manera:

$$u_i = \frac{U}{k}$$

Donde:

u_i es la incertidumbre estándar proveniente de un informe o certificado de calibración.

U es la incertidumbre expandida.

k es el factor de cobertura.

La incertidumbre tipo A se obtiene de la repetición de las mediciones de acuerdo a,

$$u_A = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Donde:

S es la desviación estándar de las repeticiones.

n es el número de repeticiones.

La incertidumbre combinada se obtiene de la siguiente relación,

$$u_c = \sqrt{u_r^2 + u_i^2 + u_A^2}$$

Donde:

u_c es la incertidumbre combinada.

La incertidumbre expandida de la medición expresada con un factor de cobertura, $k = 2$ se determina:

$$U = 2 k$$

Donde:

U es la incertidumbre expandida.
 k es el factor de cobertura.

Ejemplo:

Resolución del manómetro: 0,1 kPa

Incertidumbre del manómetro, (certificado de calibración): $\pm 0,2$ kPa ($k = 2$)

Repetibilidad, (desviación estándar de la media): 0,1 kPa

TABLA 1. CONTRIBUCIONES A LA INCERTIDUMBRE

	fuelle	distribución	incertidumbre estándar	coeficiente de sensibilidad	Contribución %
1	resolución	rectangular	0,1 kPa	1	33
2	calibración	normal	0,1 kPa ($k=1$)	1	33
3	repetibilidad	normal	0,1 kPa	1	33
incertidumbre estándar combinada					$\pm 0,17$ kPa
incertidumbre expandida					$\pm 0,35$ kPa

VIII. VALIDACIÓN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN

No aplica debido a que durante el ensayo se utilizarán métodos normalizados.

IX. BUENAS PRÁCTICAS DE MEDICIÓN

Para las buenas prácticas en la medición de presión con manómetros es requisito indispensable cumplir con lo siguiente:

El manómetro debe:

- Tener el alcance de medición, exactitud e incertidumbre suficiente para el ensayo de acuerdo al punto III.2 de esta guía.
- Estar vigente en su calibración y dentro del control “estadístico” (cartas de control), que mantenga el laboratorio para este instrumento.
- 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 informe o certificado de calibración.
- Asegurar la trazabilidad al patrón nacional de presión, cumpliendo con el punto VI.1 de esta guía.

Las Instalaciones deben:

- Mantener una temperatura ambiente estable de acuerdo al requerido y/o solicitado en el ensayo.
- Evitar el acceso a personas no autorizadas.
- Cumplir con los requisitos establecidos en el punto IV.4 de esta guía.

El personal debe:

- Cumplir con los requisitos propuestos en el punto IV.5 de esta guía.
- Tener los conocimientos necesarios para cumplir con su actividad desempeñada dentro del laboratorio (técnico, signatario, responsable técnico, etc.).
- Estar en un esquema de evaluación periódica que asegure la repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones.
- Estar dentro de un programa de capacitación.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NMX-Z-055:1996 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-2000 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.
- [3] NOM- 008-SCFI:2002 Sistema General de Unidades de Medida.
- [4] NMX-EC-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.
- [6] Política referente a la trazabilidad de las mediciones, ema, <http://www.ema.org.mx/ema/pdf/PROCEDIMIENTOS/TRAZABILIDAD%20E%20INCERTIDUMBRE%20SC-2002-12-12.pdf>, 2002.
- [8] Política referente a la incertidumbre de mediciones, ema, <http://www.ema.org.mx/ema/pdf/PROCEDIMIENTOS/TRAZABILIDAD%20E%20INCERTIDUMBRE%20SC-2002-12-12.pdf>, 2002.
- [9] NMX-CH-140-IMNC-2002 Guía para la expresión de la incertidumbre de las mediciones; equivalente al documento Guide to the Expression 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] Norma NOM-013-SCFI-1993 Instrumentos de Medición – Manómetros con Elemento Elástico – Especificaciones.
- [12] Norma NMX-CH-58-1994-SCFI Instrumentos de Medición – Manómetros con Elemento Elástico – Método de Calibración con Balanza de Pesos Muertos.
- [13] OIML R 101 Indicating and Recording Pressure Gauges, vacuum gauges and pressure and vacuum gauges with Elastic Sensing Elements. Ordinary Instruments.