

**GUÍA TÉCNICA SOBRE
TRAZABILIDAD E INCERTIDUMBRE
EN LOS SERVICIOS DE
CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS DE
COMPRESIÓN Y/O TRACCIÓN**

México, Revisión 1, Abril de 2008

Derechos reservados ©

PRESENTACIÓN

Para asegurar la uniformidad y validez técnica de la expresión de la trazabilidad de las mediciones y de la estimación de la incertidumbre de las mismas, la entidad mexicana de acreditación, a. c., solicitó al Centro Nacional de Metrología la revisión y elaboración de Guías Técnicas sobre Trazabilidad e Incertidumbre de las Mediciones.

Los Subcomités de evaluación de Laboratorios Acreditados de Calibración y de Ensayo de la entidad mexicana de acreditación se incorporaron a este proyecto transmitiendo sus conocimientos y experiencias relacionados con la trazabilidad e incertidumbre de sus mediciones.

El Centro Nacional de Metrología coordinó la elaboración de las Guías, proponiendo criterios técnicamente sustentados, procurando que las opiniones de los Subcomités fueran apropiadamente consideradas y asegurando la coherencia de las mismas con otros documentos técnicos de referencia.

Las Guías Técnicas de Trazabilidad e Incertidumbre de las Mediciones observan lo establecido en documentos de referencia conocidos ampliamente en la comunidad internacional, en los cuales se fundamentan las políticas de Trazabilidad e Incertidumbre de la entidad mexicana de acreditación.

Las Guías aportan criterios técnicos que sirven de apoyo a la aplicación de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006. La coherencia de las Guías con esta norma y con otros documentos de referencia, contribuye a asegurar la confiabilidad y uniformidad de las mediciones que realizan los laboratorios acreditados.

Abril de 2008.

Dr. Héctor O. Nava Jaimes

María Isabel López Martínez

Director General
Centro Nacional de Metrología

Directora Ejecutiva
entidad mexicana de acreditación, a. c.

AGRADECIMIENTOS

La entidad mexicana de acreditación expresa su reconocimiento al Fondo de Apoyo para la Micro, Pequeña y Mediana Empresa (FONDO PYME), auspiciado por la Secretaría de Economía, por haber proporcionado los recursos financieros para la elaboración de este documento, mediante el proyecto aprobado con folio FP2007-1605 de nombre “Elaboración de guías técnicas sobre trazabilidad e incertidumbre para la medición que permitan el fortalecimiento del Sistema Nacional de Acreditación de Laboratorios de Ensayo y Calibración” y por este medio hace patente su sincero reconocimiento y agradecimiento a la Secretaría de Economía, a la Subsecretaría para la Pequeña y Mediana Empresa, a la Dirección General de Desarrollo Empresarial y Oportunidades de Negocio, y a los profesionales que aportaron su tiempo y conocimiento en su desarrollo, destacando a los responsables de la elaboración:

GRUPO DE TRABAJO

Alberto Guízar López Hermosa,	Representaciones y Distribuciones FAL, S. A. de C. V.
Rodolfo Navarrete,	Corporativo Industrial Davi S. A. de C. V.
Walter Louis,	Caltechnix de México, S. A. de C. V.
Jorge C. Torres Guzmán,	CENAM
Alejandro Cárdenas M.,	CENAM
Daniel A. Ramírez Ahedo,	CENAM
David Jacobo,	LAPEM
Mario Camacho,	ema
Felipe Gómez,	AMICPAC
Octavio López,	ACC Consultores
Santiago Ochoa Ochoa,	SOO SOM
Luis Manuel Mercado,	IMNC
David Correa Jara,	ema

ÍNDICE

PRESENTACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS	3
GRUPO DE TRABAJO	3
ÍNDICE	4
1. PROPÓSITO DE LA GUÍA TÉCNICA	5
2. ALCANCE DE LA GUÍA TÉCNICA	5
3. MENSURANDO.....	5
4. MÉTODO Y SISTEMA DE MEDICIÓN.....	6
5. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA Y CALIFICACIÓN DE EQUIPOS.....	8
6. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES.....	9
7. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN.....	11
8. VALIDACIÓN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN	18
9. BUENAS PRÁCTICAS DE MEDICIÓN.....	18
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

1. PROPÓSITO DE LA GUÍA TÉCNICA

Establecer criterios con el objetivo de tener mecanismos que coadyuven en lograr mediciones con trazabilidad e incertidumbre confiables en la calibración de máquinas de compresión y/o tracción.

Esta guía es una recomendación del Subcomité de Fuerza y Par Torsional de la EMA y CENAM (sin ser un documento normativo) y cualquier modificación deberá analizarse por el cuerpo colegiado (constituido por los autores de esta Guía) correspondiente. También esta guía establece criterios técnicos mínimos para verificar el cumplimiento de los requisitos de la norma IMNC-NMX-17025:2006 del servicio de calibración aquí indicado.

Por lo general, en el proceso de acreditación de un laboratorio de calibración de máquinas de ensayo a tracción o compresión, no se evalúa la conformidad debido a que no existe norma obligatoria aplicable, sin embargo para efectos de esta guía, se utiliza como referencia de calibración la norma NMX-CH-7500-1-IMNC.

Esta guía técnica de trazabilidad e incertidumbre pretende facilitar la aplicación de las normas NMX-EC-17025-IMNC, NMX-CH-140-IMNC, NMX-CH-7500-1-IMNC sin sustituirlas ni modificarlas.

2. ALCANCE DE LA GUÍA TÉCNICA

Esta guía establece criterios e incluye observaciones para la calibración de máquinas de compresión y/o tracción por el método de comparación directa.

3. MENSURANDO

Fuerza, medida en la máquina de compresión y/o tracción, a través de la lectura en el dispositivo indicador de mejor resolución, en ocasiones, ingresados en tablas o ecuaciones que permitan obtener unidades de fuerza del SI.

3.1 Intervalo de calibración

El límite superior de medición quedará acotado por la solicitud de calibración de los equipos, sin embargo el límite inferior típicamente se establece al 10 % del alcance de medición de la máquina. Lo anterior aplica para cada intervalo de medición a ser calibrado de la máquina.

Nota 1: El uso fuera de los límites de calibración es una actividad del usuario e incluye la justificación de la incertidumbre asociada de los equipos involucrados en la calibración.

3.2 Incertidumbre de medición esperada

La incertidumbre resultante de la calibración no podrá ser menor que la incertidumbre de la capacidad de medición y calibración del laboratorio (CMC). Para realizar el servicio es conveniente mantener una relación de incertidumbres tal que el valor de la CMC del laboratorio sea menor que el valor requerido de la máquina.

Nota 2: El enfoque adecuado para asegurar la calidad de las mediciones incluye un acuerdo entre el usuario de la máquina y el laboratorio respecto a la relación de incertidumbre (CMC) ofrecida por el laboratorio de calibración y las tolerancias de error ya sea del proceso de medición, del ensayo o de la verificación por parte del usuario de la máquina.

4. MÉTODO Y SISTEMA DE MEDICIÓN

A continuación se especifican los conocimientos, habilidades y aptitudes necesarios mínimos que deben ser considerados para realizar la calibración de máquinas de compresión y/o tracción.

4.1 Método de medición

Método de comparación directa: Comparación de las lecturas observadas del dispositivo indicador de la máquina contra las lecturas del patrón utilizado, aplicando la fuerza directamente de la máquina al instrumento patrón (o viceversa), garantizando una aplicación coaxial de la fuerza.

4.2 Documentos de consulta

- ◆ NMX-CH-7500-1-IMNC. Verificación de máquinas uniaxiales para ensayo - máquinas para ensayo a tracción o compresión - Verificación y calibración del sistema de medición de fuerza.
- ◆ ISO 7500-1 Metallic materials — Verification of static uniaxial testing machines - Tension/compression testing machines - Verification and calibration of the force-measuring system.
- ◆ PROY-NMX-CH-376-IMNC Instrumentos de medición – Calibración de instrumentos de medición de fuerza empleados para la verificación de máquinas de ensayo uniaxiales
- ◆ NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida
- ◆ NMX-Z-055-1997-IMNC, Metrología - Vocabulario de términos fundamentales y generales.
- ◆ 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.
- ◆ ISO 10012-2003 Sistemas de gestión de las mediciones — Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición.
- ◆ Daniel A. Ramírez Ahedo, Jorge C. Torres Guzmán, Propuesta para la Determinación de la Mejor Capacidad de Medición de Máquinas y Sistemas de Calibración de Fuerza y su

Clasificación para Laboratorios Acreditados. Memorias del **IV Congreso Internacional y XVI Nacional de Metrología y Normalización**. Guadalajara, México. Octubre 2000.

- ◆ Daniel A. Ramírez Ahedo, Jorge C. Torres Guzmán, Amritlal Sawla, Propuesta Para La Determinación de la Incertidumbre en la Calibración de Máquinas de Ensayo de Tensión y/o Compresión en México. **Memorias del XV Seminario Nacional de Metrología**, ISN-0188-4328. Querétaro, México. Octubre 1999.
- ◆ Walter Louis, documento de propuesta “¿Existe una posibilidad de homogenizar la forma de presentación de la tabla de MCM acreditada para todos los laboratorios?”. Presentado en reuniones de Subcomité de Fuerza y Par Torsional de la ema 2007.

4.3 Procedimiento general de medición

Es deseable que el procedimiento de calibración se realice de acuerdo con los requisitos descritos en la norma mexicana NMX-CH-7500-1-IMNC. Algunos aspectos importantes a revisar en la norma son los requisitos del punto 6.4 de la norma en cuestión, además de:

- Verificar que el alcance de medición y especificaciones de error o incertidumbre de la máquina esté dentro del alcance de acreditación del laboratorio. Ver nota 2 página 6.

4.4 Equipos, instrumentos e instalaciones

Los equipos, e instrumentos mínimos con los que cuenta un laboratorio para calibración de máquinas de ensayo de tracción y/o compresión incluyen:

- Instrumento patrón (cápsulas de mercurio, anillos de carga, transductores de fuerza, celdas de carga, masas);
- Placas soporte y dispositivos de carga;
- Dispositivo para verificar el centrado del patrón respecto al cabezal de carga;
- Termómetro;
- Instalaciones no específicas (las propias del cliente, calibración en sitio).

4.5 Competencia técnica del personal (evaluaciones de la ema)

Es conveniente verificar que el personal que realiza las calibraciones (personal operativo, técnico de calibración o como se llame) cumple en los términos en los que el laboratorio define y en los criterios de aplicación de la norma NMX-EC-17025-IMNC, con las siguientes habilidades, aptitudes y conocimientos mínimos:

- ✓ Que es competente en términos de su experiencia en calibración de máquinas de tracción o compresión (se considera adecuado por ejemplo una experiencia mínima de 1 año en calibración de máquinas), que tiene adecuada interpretación de la norma NMX-CH-7500-1-IMNC en el manejo y operación de patrones mediante la testificación de esta actividad por el evaluador.

Ejemplos de actividades para demostrar la competencia del personal:

1. Verificar la habilidad de centrado del patrón en la máquina.
2. Verificar que la toma de lecturas se realiza de acuerdo a los procedimientos del laboratorio.
3. Que conoce los procedimientos operativos dentro de su competencia.

Es conveniente verificar que el signatario (responsable técnico o como se llame) cumple en los términos en los que el laboratorio define y en los criterios de aplicación de la norma NMX-EC-17025-IMNC, con las siguientes habilidades, aptitudes y conocimientos mínimos:

- ✓ Que cumple con los requisitos del punto anterior y adicionalmente es competente en términos que el laboratorio define, en evaluación de incertidumbres y determinación de la CMC del laboratorio, clasificación de máquinas, conocimiento de las normas aplicables, tener conocimientos de regulaciones y normatividad en metrología, además de tener la capacidad de supervisar los trabajos realizados en el laboratorio y desarrollar y revisar los procedimientos y análisis de las calibraciones.

Nota 3: Es recomendable que el signatario tuviese grado escolar mínimo de educación medio superior.

5. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA Y CALIFICACIÓN DE EQUIPOS

5.1 Confirmación metrológica

El laboratorio deberá contar con elementos suficientes para demostrar la confirmación metrológica de su sistema de medición acorde al tipo de patrón utilizado y su clase de exactitud, por ejemplo mediante cartas de control, programa de calibración, verificaciones intermedias, etcétera.

El periodo de calibración del (o los) patrón (es) es una actividad y función del laboratorio de calibración, sin embargo una práctica usual es que éste no debería exceder de 1 año. En lapsos mayores de calibración (sin exceder 24 meses) es conveniente demostrar por confirmación metrológica adecuada (por ejemplo mediante cartas de control de al menos los últimos 3 años y el aseguramiento de la calidad de las mediciones) que la calibración es vigente.

5.2 Calificación de equipos

En caso de que el laboratorio desee realizar la clasificación de las máquinas de ensayo a tracción / compresión con la norma de referencia NMX-CH-7500-1-IMNC, se usarán para tal efecto los requisitos que se observan en la tabla 1 de esta guía.

6. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES

La trazabilidad de las mediciones de los patrones de calibración del laboratorio debe ser a los patrones nacionales de fuerza, evidenciada con los respectivos certificados o informes de calibración.

6.1 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.

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 [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.

6.3 Elementos de la trazabilidad

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

- a. El resultado de medición cuya trazabilidad se desea mostrar;
- b. Las referencias determinadas, en este caso los patrones nacionales de fuerza;
- c. Cadena de comparaciones, es decir conjunto de calibraciones que conecta el resultado de la medición con las referencias determinadas;
- 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 máquinas de compresión y tracción.

- Instrumento patrón (cápsulas de mercurio, anillos de carga, transductores de fuerza, celdas de carga, masas).
- Termómetro.

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

Entre los mecanismos para mantener la trazabilidad de las mediciones se contemplan los siguientes:

- Programa adecuado de calibración, en los términos que se comentan en el apartado V.1).
- Contar con cartas de control de calibración del (los) patrón (es).
- Contar con un programa de verificación del (los) patrón (es) entre cada calibración.
- Participar en comparaciones entre laboratorios acreditados y ensayos de aptitud.

7. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

De acuerdo a la norma mexicana NMX-CH-7500-1-IMNC, en la tabla 1 se muestran las tolerancias de los errores de “exactitud”, repetibilidad, reproducibilidad, de reversibilidad (histéresis) y de cero. La última columna no forma parte de la norma, pero incluye el valor recomendado de la incertidumbre de la capacidad de medición y calibración del laboratorio (CMC) para calibrar cierta clase de máquina. En esta columna se indica la incertidumbre relativa (U_{CMC}) la cual se recomienda sea menor o igual a $\frac{1}{4}$ del máximo error permisible de los parámetros de influencia de la máquina.

Clase	Errores relativos de la Máquina de Ensayos en % L para				Resolución en %L de la máquina a	Incertidumbre Recomendada u_{CMC} del laboratorio en % L
	“Exactitud” q	Repetibilidad b	Cero f_o	Reversibilidad ν		
0,5	0,5	0,5	0,05	0,75	0,25	0,12
1	1,0	1,0	0,10	1,50	0,5	0,25
2	2,0	2,0	0,20	3,00	1,0	0,50
3	3,0	3,0	0,30	4,50	1,5	0,75

Tabla 1. Valores máximos permisibles para los errores relativos en las máquinas de ensayos de conformidad a la norma NMX-CH-7500-1-IMNC-2007. “%L significa por ciento de la lectura”. En el sentido de la norma el término “Exactitud” se refiere al error relativo de la máquina.

La presente guía fue redactada siguiendo las recomendaciones de la Guía ISO-BIPM para la “Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones” y se asume que el criterio de clasificación de la norma mexicana NMX-CH-7500-1-IMNC-2007 ha sido empleado. Todas las contribuciones de incertidumbre son consideradas como incertidumbres relativas.

Para estimar la incertidumbre en la calibración de una máquina de ensayo tracción/compresión, es necesario que, el laboratorio determine la contribución del sistema de medición y la propia del laboratorio. Para la cual podría incluir además de otras consideradas por el laboratorio, las siguientes contribuciones a la calibración de manera ordenada:

- Contribución del sistema de medición en las que se encuentra la calibración propia del patrón o patrones, la contribución del laboratorio y la contribución de las condiciones de uso;
- Resolución y repetibilidad de una máquina sujeta a calibración bajo condiciones perfectas de operación para determinar la Capacidad de Medición y Calibración del Laboratorio (CMC) así como la Capacidad de Calibración Expresada como una Incertidumbre (CMCEI) y;

- Las incertidumbres en el momento de la medición asociadas a la toma de lecturas de la máquina de ensayo.

Nota 4: En la tabla de alcance de acreditación que, ante la entidad de mexicana de acreditación (ema) el laboratorio propone, éste pretende reflejar de manera objetiva las capacidades de medición con las que cuenta y en las que:

- ✓ La CMC desea reflejar el valor de la incertidumbre alcanzable por el laboratorio. La incertidumbre alcanzable depende en gran medida del patrón (o patrones). En las diferentes áreas metrológicas existen diferentes tipos de patrones con los cuales se pueden lograr los mismos niveles de incertidumbre, y por lo tanto se pudiera concluir que la incertidumbre alcanzable sólo tuviese como criterio la incertidumbre de los patrones para la descripción de las capacidades del laboratorio. Sin embargo esto no es así, el grado de complejidad para operar diferentes instrumentos influye de manera importante en la calibración y por lo tanto se considera un segundo criterio.
- ✓ La habilidad de operar instrumentos complejos se considera como punto adicional de descripción de las capacidades técnicas de medición del laboratorio.

7.1 Determinación de contribución del sistema de medición patrón

La tabla 2 muestra las contribuciones asociadas al sistema de medición e incluyen el patrón de medición y la deriva en las diferentes calibraciones del equipo patrón.

- ✓ Patrón de calibración:

El resultado de la calibración de los patrones de calibración del laboratorio debe ser trazable a patrones nacionales mantenidos en el CENAM (política de trazabilidad e incertidumbres de ema). Son considerados como resultados de la calibración los siguientes puntos:

- Los valores de referencia con los que se generó la magnitud (patrón del CENAM o del laboratorio acreditado jerárquicamente con menor incertidumbre) y el valor promedio de lectura del equipo bajo calibración.
- La ecuación de corrección o el error promedio del equipo bajo calibración;
- La incertidumbre asociada a la calibración del patrón del laboratorio.

- ✓ Deriva en la calibración del equipo

Es conveniente considerar la deriva en la calibración del patrón de medición bajo los siguientes criterios:

- i. Si es la primera calibración del patrón de medición, se sugiere considerar como contribución por deriva un valor igual $\frac{1}{4}$ del valor de la incertidumbre estándar del patrón
- ii. Si es la segunda calibración, se puede considerar una contribución igual a la desviación entre las calibraciones asignando una distribución de probabilidad rectangular como se observa en la tabla 2 en ¹.

- iii. Si son 3 o más calibraciones se sugiere asignar una distribución de probabilidad basada en la desviación estándar de las diferentes calibraciones como se observa en la tabla 2 en ².

Ejemplo:

La Fuerza F del sistema es determinada mediante la siguiente relación funcional:

$$F_{\text{Sistema Patrón}} = f(\bar{F}_{\text{patrón}}, d)$$

Es decir, la fuerza $F_{\text{sistema patrón}}$ se determina mediante la siguiente expresión:

$$F_{\text{Sistema Patrón}} = \bar{F}_{\text{patrón}} + d$$

Aquí:

$\bar{F}_{\text{patrón}}$ es la fuerza obtenida del certificado de calibración del sistema de medición de fuerza (instrumento patrón);

d es la corrección por deriva del patrón de medición de fuerza

Aplicando la ley de propagación de incertidumbre a la expresión anterior y dado que los argumentos $\bar{F}_{\text{patrón}}$, d , son independientes, la expresión anterior para la incertidumbre queda de la siguiente manera:

$$u_{F-\text{sistema patrón}} = \sqrt{u_{\text{Patrón}}^2 + u_d^2}$$

Fuente X_i	Valor de la Incertidumbre estándar u_{X_i}	Tipo	Coficiente de sensibilidad $\partial f/\partial X_i$	$(\partial f/\partial X_i) \cdot u_{X_i}$
Patrón	$U_{\text{Certificado}} / k$	B	1	$u_{\text{Certificado}}$
Deriva	$^1 u = s/\sqrt{n}$	A	1	u_{deriva}
	$^2 u = \frac{(\text{Desviación})}{2 \cdot \sqrt{3}}$	B		
$u_{F-\text{sistema patrón}}$				$\sqrt{\sum u_i^2}$
v_{eff}				$t_{(v_{\text{eff}})}$
$U_{E-\text{Sistema}}$				$t_{(v_{\text{eff}})} \cdot u_c$

Tabla 2. Determinación de la contribución a la incertidumbre por el sistema de medición del laboratorio de calibración.

7.2 Determinar la Capacidad de Medición y Calibración del laboratorio (CMC)

Se propone en esta sección las consideraciones necesarias para determinar la CMC del laboratorio de conformidad con la definición de la misma.

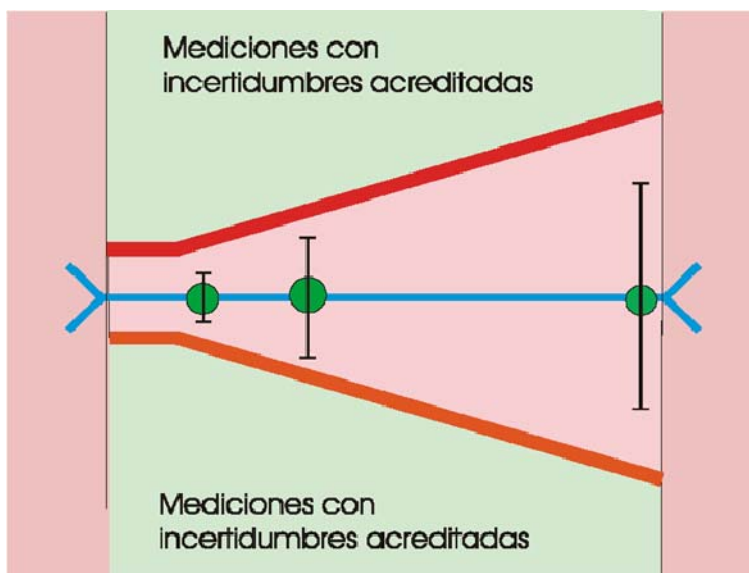
Fuente X_i	Valor de la Incertidumbre estándar u_{X_i}	Tipo	Coficiente de sensibilidad $\partial f/\partial X_i$	$(\partial f/\partial X_i) \cdot u_{X_i}$
Sistema Patrón	$u_{E-sistema}$	B	1	$u_{c-Sistema}$
Resolución (“ideal”)	$u_{Res-ideal} = \frac{r}{2 \cdot \sqrt{3}}$	B	1	$u_{Res-ideal}$
Repetibilidad (“ideal”)	$u_{rep-ideal} = \frac{s}{2 \cdot \sqrt{3}}$	B	1	$u_{Rep-ideal}$
Variabilidad del laboratorio (R&r)	Por ejemplo: ISO: 5725	A	1	$u_{R\&r}$
			u_{cmc}	$\sqrt{\sum X_i^2}$
			v_{eff}	$t_{(veff)}$
			U_{E-cmc}	$t_{(veff)} \cdot u_c$

Tabla 3. Determinación de la CMC del laboratorio.

La resolución (“ideal”) es considerada en esta guía como la resolución de la mejor máquina que es posible calibrar sin que esta sea mejor que la resolución del patrón de calibración. La repetibilidad es considerada como la mejor especificación de desviación estándar de la máquina o bien de la incertidumbre de la máquina sin que esta sea menor que la incertidumbre del patrón de calibración. Se sugiere que la incertidumbre debido a la variabilidad del laboratorio sea estimada mediante un experimento (documentado) del laboratorio asociando los efectos de repetibilidad y reproducibilidad del personal del laboratorio. Una propuesta es como lo indica la norma NMX-CH-5725-2-IMNC. Aquí $R\&r$ es la contribución por variabilidad debido a estudios de repetibilidad y reproducibilidad del laboratorio.

La siguiente ilustración gráfica permite realizar una visualización de la CMC. Los puntos calibrados son representados por los puntos verdes. Se indica los límites de incertidumbre de calibración que se obtuvo en la calibración del patrón. El límite de incertidumbre del sistema de medición siempre será menor que el límite de la capacidad de medición y calibración expresada como una incertidumbre (CMCEI) línea roja. La diferencia entre el límite de incertidumbre del sistema de medición patrón y la CMCEI corresponde a las influencias siguientes:

- $u_{Res-ideal}$ Contribución de resolución de un instrumento (“ideal”) que se pretende calibrar;
- $u_{Rep-ideal}$ Contribución de la repetibilidad de un instrumento (“ideal”);
- $u_{Influencias}$ Contribución de otras influencias durante la calibración.



Nota 5: Los puntos verdes representan los puntos calibrados. La línea roja corresponde a la CMCEI. La zona verde representa los valores de incertidumbre que pueden obtenerse bajo la acreditación.

7.3 Incertidumbre de medición de una máquina de ensayo

La incertidumbre de medición estándar relativa combinada de la máquina de ensayo puede ser determinada mediante la siguiente expresión:

$$u_{cal_máq} = \sqrt{u_{cmc}^2 + u_c^2(\bar{F}) + u_{E-Temp}^2}$$

La u_{cmc} es referida como la incertidumbre estándar de la capacidad de medición del laboratorio, la $u_c(F)$ es la incertidumbre relativa a la toma de lecturas de la máquina de Fuerza, mientras que u_{E-temp} es la incertidumbre debido a la influencia de las condiciones ambientales como el efecto de la temperatura en el momento de la medición.

✓ Incetidumbre debido a la toma de lecturas de la máquina:

De acuerdo a los parámetros descritos por la norma NMX-CH-7500-1-IMNC para la calibración de máquinas de ensayo, la incertidumbre del mejor valor de la indicación de la máquina puede ser determinada mediante la siguiente relación funcional:

$$\bar{F} = f(b, v, f_0, r)$$

b es la repetibilidad relativa de la máquina bajo calibración;

v es el valor de reversibilidad (histéresis) relativa;

f_0 es el error relativo de cero después de la descarga;

r es la resolución relativa del sistema de indicación.

La incertidumbre estándar combinada $u_c(\bar{F})$ asociada al valor promedio de medición de la máquina puede entonces obtenerse mediante la ley de propagación de incertidumbres.

Fuente X_i	Valor de la Incertidumbre estándar u_{X_i}	Tipo	Coefficiente de sensibilidad $\partial f/\partial X_i$	$(\partial f/\partial X_i) \cdot u_{X_i}$
Error de cero	$u_{E-cero} = \frac{f_0}{2 \cdot \sqrt{3}}$	B	1	u_{cero}
Resolución de la máquina	$u_{R-máquina} = \frac{r}{2 \cdot \sqrt{3}}$	B	1	$u_{R-máquina}$
Repetibilidad "b" de la máquina	$u_{Re p-máquina} = \frac{b}{2 \cdot \sqrt{3}}$	B	1	$u_{Rep-máquina}$
Histéresis o reversibilidad de la máquina	$u_{Hist-máquina} = \frac{v}{2 \cdot \sqrt{3}}$	B	1	$u_{Hist-máquina}$
			$u_c(F)$	$\sqrt{\sum u_i^2}$
			ν_{eff}	$t_{(veff)}$
			U_E	$t_{(veff)} \cdot u_c(F)$

Tabla 4. Determinación de la incertidumbre de la calibración de la máquina.

Es decir:

$$u_c^2(\bar{F}) = u^2(b) + u_c^2(v) + u^2(f_0) + u^2(r)$$

✓ **Efecto de las condiciones ambientales por efecto de temperatura:**

Los patrones de fuerza son generalmente calibrados a temperaturas controladas (por ejemplo $22 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$). Existen equipos compensados por temperatura, como es el caso de la mayoría de las celdas de carga; sin embargo, la temperatura (t) durante una calibración puede variar, en condiciones operativas de campo, de $10 \text{ }^\circ\text{C}$ a $40 \text{ }^\circ\text{C}$, por lo que su contribución en la incertidumbre podría considerarse como tipo B con una distribución rectangular) podría ser evaluada en variaciones mayores a $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Su consideración se puede llevar a cabo mediante la siguiente relación:

$$u^2(t) = \frac{(\alpha \cdot \Delta_{temp})^2}{12}$$

Donde α es el coeficiente de temperatura para el cambio en la sensibilidad del patrón de fuerza (celda de carga) de acuerdo a las especificaciones del fabricante y al intervalo de variación de temperatura Δt . Un valor típico adimensional para $\alpha = 0,005$.

Sólo en el caso de anillos de carga utilizados como patrones, la incertidumbre debida a la corrección por temperatura es determinada mediante la expresión de corrección siguiente:

$$D_t = D_c [1 + K(t_t - t_c)]$$

D_c es la lectura de la deflexión corregida a la temperatura de calibración t_c (en °C).

D_t es la deflexión a la temperatura de trabajo t_t (en °C).

$K = 0,000\ 27$ es el coeficiente de temperatura, en $1/^\circ\text{C}$.

La incertidumbre por la corrección deberá obtenerse de la aplicación de la ley de propagación de incertidumbres a la expresión anterior.

✓ **Incertidumbre debida a la aplicación de la fuerza en la máquina:**

En caso que sea necesario, una contribución de incertidumbre de la aplicación de la fuerza es conveniente y depende principalmente de los siguientes parámetros:

- Alineación de la máquina de ensayos y de accesorios de montaje.
- Generación de fuerza axial.
- Dureza, rugosidad y rectificado de las placas de carga.
- Deflexión de las placas de carga debido a la fuerza aplicada.

El laboratorio debería realizar una estimación debida a esta contribución.

7.4 Incertidumbre expandida de la máquina de pruebas en una calibración

Para determinar e informar la incertidumbre expandida U_E de la calibración de la máquina de ensayo se tiene:

$$U_E = k_{eff} \cdot \sqrt{u_{cal_máq}^2}$$

Donde t_{eff} son los grados efectivos de libertad asociados.

Nota 6: La distribución del mensurando es siempre normal, salvo cuando se tiene una contribución dominante con distribución no-normal en cuyo caso no aplica la k_{eff} que se menciona y se tendría que determinar mediante otros métodos.

7.5 Informe de los resultados de la calibración

Los resultados, de la calibración de una máquina de ensayo, mínimos que se deben informar, son los que se presentan en la tabla 6. No se encuentra la tabla 6. Es necesario indicar claramente para todos los casos si los resultados están expresados como % de la lectura (%L), como % de escala total (% E. T.) o como una combinación de ambos. Es obligatorio expresar los resultados en unidades del Sistema Internacional de Unidades, SI.

Resultados usuales	De acuerdo con la Guía ISO
Tabla de lecturas del mensurando	Valor medio del mensurando de la máquina
Error de cero	Incertidumbre expandida de la calibración de la máquina.
Histéresis	Nivel de confianza y/o factor de cobertura.
Repetibilidad	Gráfico de la lectura del equipo contra los errores o residuales, según sea el caso.
Resolución	

Tabla 5. Resultados de la calibración de una máquina de ensayo.

8. VALIDACIÓN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN

Con el uso de la norma mexicana no se requiere validación del método.

9. BUENAS PRÁCTICAS DE MEDICIÓN

Para las buenas prácticas de calibración de máquinas de compresión y/o tracción es recomendable que el laboratorio tenga en cuenta las siguientes consideraciones:

El patrón de trabajo debería:

- ❑ Tener el alcance de medición, correcciones adecuadas e incertidumbre suficiente para calibrar la máquina de acuerdo punto IV Método y Sistema de Medición de esta guía.
- ❑ Estar vigente en su calibración y dentro del control “estadístico” (cartas de control), que mantenga el laboratorio para el patrón. Para mayor información ver la norma ISO 10012-2003 Sistemas de gestión de las mediciones — Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición.
- ❑ Estar en óptimas condiciones de funcionamiento, cumpliendo con sus programas de mantenimiento preventivo y en buen estado de funcionamiento.
- ❑ Aplicar las correcciones necesarias de acuerdo al patrón utilizado.
- ❑ Asegurar la trazabilidad al patrón nacional de fuerza, cumpliendo con el punto VI de esta guía.

Las instalaciones deberían:

- ❑ Mantener una temperatura ambiente estable de acuerdo al nivel de incertidumbre requerido y/o solicitado en la medición. La norma NMX-CH-7500-1-IMNC para la calibración proporciona los límites de variación recomendados para la calibración.
- ❑ 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.
- ❑ 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 IV.4 de esta guía.

El termómetro debería:

- ❑ Mantener 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 la máquina de acuerdo al punto III.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 y en buen estado de funcionamiento.

Método y/o procedimiento de medición debería:

- ❑ Asegurar su trazabilidad al patrón nacional de fuerza aplicando el punto VI de esta guía.
- ❑ Cumplir con los requisitos mínimos de esta guía mencionados en el punto IV.
- ❑ 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.

Máquina a ser calibrada debería:

- ❑ Estar en condiciones de funcionamiento y limpia.
- ❑ Leer el manual del fabricante antes de su calibración, para revisar su funcionamiento y especificaciones para evitar dañarla.
- ❑ Cumplir con la relación de exactitudes para su calibración, propuesta en esta guía en el punto III.2 o en caso contrario documentarlo.
- ❑ Evitar la aplicación de cargas que excedan su alcance de medición.
- ❑ Cumplir con los pasos establecidos en el punto IV de esta guía.

El personal debería:

- ❑ 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 IV.5 de esta guía.
- ❑ Estar en un esquema de evaluación periódica que asegure y mejore la repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones.
- ❑ Estar dentro de un programa de capacitación.

Los informes de calibración deberían:

- ❑ Contener la información necesaria para reproducir las mediciones.
- ❑ Ser claros y sin ambigüedad para el cliente.
- ❑ Contener gráficos cuando sea necesario.
- ❑ Contener información que muestre la trazabilidad de las mediciones y/o resultados del informe, al patrón nacional de fuerza cumpliendo con lo estipulado en el punto VI de esta guía.
- ❑ Estimar la incertidumbre del resultado de la medición de acuerdo con la recomendación estipulada en el punto VII de esta guía.

10. 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-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.
- [6] Política referente a la trazabilidad de las mediciones, ema,
<http://www.ema.org.mx/ema/pdf/PROCEDIMIENTOS/TRAZABILIDAD%20E%20IN CERTIDUMBRE%20SC-2002-12-12.pdf>, 2002.
- [7] The mutual recognition arrangement, BIPM, (1999). También en <http://www.bipm.fr/en/convention/mra>
- [8] Política referente a la incertidumbre de mediciones, ema,
<http://www.ema.org.mx/ema/pdf/PROCEDIMIENTOS/TRAZABILIDAD%20E%20IN CERTIDUMBRE%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 NMX-CH-7500-1-IMNC. Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxial – Máquinas de Ensayo a Tracción/Compresión – Verificación y calibración del sistema de medición de Fuerza.
- [12] Norma NMX-CH23-1994-SCFI. Instrumentos de Medición. Calibración de Instrumentos Probadores de Fuerza Para la Verificación de Máquinas de Ensaye Uniaxiales.
- [13] ISO-7500-1 Metallic Material -Verification of Static uniaxial testing machines – Part 1: Tension/compression Testing Machines – Verification and Calibration of the Force-measuring System.
- [14] Norma ISO-376: Metallic Materials – Calibration of Proving Instruments Used for the Verification of Uniaxial Testing Machines.

IDENTIFICACIÓN DE CAMBIOS

INCISO	PÁGINA	CAMBIO(S)
Todos	Todas	So modifíco la guía en su totalidad
Observaciones:		