

GUÍA TÉCNICA SOBRE TRAZABILIDAD E INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN DE CAPACITANCIA POR MÉTODO DIRECTO

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., 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 ema. 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
acreditación, a.c.

María Isabel López Martínez
Directora Ejecutiva
entidad mexicana de

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

CARREÓN HERNÁNDEZ José Juan, ANCE, A.C.

MORENO HERNÁNDEZ José Ángel, CENAM

ORTIZ NICOLÁS Rubén Marcelino, CONDULIMEX, S.A. DE C.V.

ÍNDICE

	página
PRESENTACIÓN	2
AUTORES	4
ÍNDICE	5
1. PROPÓSITO DE LA GUÍA	6
2. ALCANCE DE LA GUÍA	6
3. MENSURANDO	6
4. MÉTODO Y SISTEMA DE MEDICIÓN	7
5. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA	9
6. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES	9
7. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN	10
8. VALIDACIÓN DE MÉTODOS	12
9. BUENAS PRÁCTICAS DE MEDICIÓN	12
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13

1. PROPÓSITO DE LA GUÍA

Esta guía tiene el propósito de establecer los requisitos técnicos a considerar en la aplicación del método directo para la medición de capacitancia para lograr mediciones con incertidumbre y trazabilidad confiables.

2. ALCANCE DE LA GUÍA

Los criterios y requisitos establecidos en esta guía aplican de manera única a aquellas mediciones de capacitancia con valor nominal de 50 pF a 100 nF dentro de un intervalo de frecuencia de 60 Hz a 1 kHz y tensión de prueba de 0,1 V a 1 kV, las cuales se llevan a cabo empleando el método directo de medición, utilizando los siguientes medidores:

- Puentes RLC
- Puentes de Schering

3. MENSURANDO

Al realizar la medición de un elemento capacitivo empleando un medidor de capacitancia, el mensurando es el valor de capacitancia que tiene dicho elemento a una frecuencia y tensión dadas. La unidad de medición es el farad, (F).

3.1. Intervalo típico de medición

Para el caso de puentes RLC y puentes de Schering, el intervalo típico de medición es de 50 pF a 100 nF a frecuencias de 60 Hz a 1 kHz y tensión de prueba de 0,1 V a 2 V para puentes RLC, y de 1 V a 1 kV para puentes de Schering.

3.2. Incertidumbre de medición esperada

La incertidumbre de medición esperada deberá ser igual a la especificación de estabilidad a un año del fabricante del medidor de capacitancia utilizado. La dispersión de las lecturas del medidor y la resolución del mismo pueden tener una contribución significativa a la incertidumbre en la aplicación de este método, por lo cual estas fuentes de incertidumbre deberán ser consideradas siguiendo los criterios de la sección 7 de esta guía.

4. MÉTODO Y SISTEMA DE MEDICIÓN

4.1. Método de medición

El método directo para la medición de capacitancia consiste en conectar directamente un elemento capacitivo a un medidor de capacitancia mediante los cables de conexión correspondientes, ejecutando la medición a una frecuencia y tensión de prueba determinadas, donde el valor de capacitancia C_X del elemento capacitivo se obtiene corrigiendo la lectura del medidor C_I con la capacitancia de los cables C' , previamente medida, y el error de indicación del medidor ε , proveniente del informe de calibración del instrumento de medición:

$$C_X = C_I - C' - \varepsilon \quad (1)$$

4.2. Documentos de consulta

Para llevar a cabo este método de medición se requiere del manual de operación del medidor de capacitancia como apoyo para la configuración y operación del medidor de capacitancia.

4.3. Procedimiento de medición

El procedimiento de medición consiste en la ejecución de las siguientes operaciones:

- a) Se configura el medidor para realizar mediciones a la frecuencia y tensión deseadas.
- b) Se eligen los cables de conexión apropiados para la medición.
- c) Se conectan los cables al medidor.
- d) Sin conectar el elemento capacitivo a las terminales de los cables de conexión (terminales en circuito abierto) se toman varias lecturas de la capacitancia mostrada por el indicador del medidor, con las cuales se determina el valor de la capacitancia de los cables C' y el valor de su dispersión.
- e) Se conecta el elemento capacitivo a las terminales de los cables de conexión.
- f) Se toman varias lecturas de la capacitancia mostrada por el indicador del medidor (se recomiendan 10 lecturas), con las cuales se determina el valor de la capacitancia indicada C_I y el valor de su dispersión.
- g) Se obtiene el valor del error de indicación de medición ε del medidor utilizado y su incertidumbre mediante su informe de calibración más reciente.
- h) Se calcula el valor del elemento capacitivo mediante la ecuación 1.

Notas:

- Existen medidores de capacitancia que requieren de la ejecución de la función de “ajuste a cero” en circuito abierto y en corto circuito de sus cables de conexión previo a la realización de una medición, almacenando en su memoria el valor de resistencia, inductancia y capacitancia de los cables, con lo cual la indicación del medidor se corrige automáticamente con el valor de la capacitancia de los cables. En este caso, la operación

d) se sustituye por este “ajuste a cero”, y para la operación h) considera que $C' = 0$. El “ajuste a cero” deberá realizarse nuevamente cada vez que sea posible o si los cables de conexión cambian o si alguna de las condiciones de frecuencia o tensión de prueba cambian.

- Si el error de medición ε del medidor es diez veces menor a la especificación del fabricante este error puede tomar un valor cero.

4.4. Equipos e instrumentos, instalaciones

El laboratorio deberá contar con:

- Un medidor de capacitancia calibrado.
- Cables de conexión adecuados de acuerdo al manual de operación del medidor de capacitancia para conectar el medidor de capacitancia con el elemento capacitivo a medir.
- Medidores de temperatura y humedad.

El laboratorio deberá contar con condiciones ambientales tales que:

- las condiciones usuales de operación del medidor requeridas por su fabricante, principalmente de temperatura y humedad, sean cumplidas para asegurar su funcionamiento y exactitud.
- las condiciones de temperatura y humedad declaradas en el informe de calibración más reciente del medidor sean cumplidas dentro de ± 10 °C en temperatura y ± 25 % en humedad relativa.

Nota: En el caso de que las mediciones sean realizadas bajo condiciones ambientales distintas a las antes señaladas se deberá estimar por ello una fuente de incertidumbre adicional, que deberá ser incluida en el cálculo de incertidumbre de medición.

4.5. Competencia técnica del personal

El personal que lleve a cabo la medición de capacitancia deberá:

- saber configurar, operar y obtener la lectura de capacitancia del medidor de capacitancia
- saber cómo se realiza la conexión de cables al medidor de capacitancia y al elemento capacitivo a medir.
- saber interpretar las especificaciones del fabricante del medidor de capacitancia.
- saber interpretar y usar los resultados del informe de calibración del medidor de capacitancia.
- conocer la metodología y aplicación del cálculo de incertidumbre de la medición conforme a la norma NMX-CH-140-IMNC-2002 [2].

5. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA Y CALIFICACIÓN DE EQUIPOS

5.1. Confirmación metrológica

El laboratorio deberá confirmar que el medidor de capacitancia tiene la exactitud requerida por la norma que describe el ensayo correspondiente.

Si la norma que describe el ensayo no indicara la exactitud del medidor de capacitancia requerida, el laboratorio deberá documentar la justificación técnica de las razones por las cuales se ha elegido ese medidor en particular para realizar la medición de capacitancia.

6. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES

6.1. Definición

Trazabilidad: Propiedad del resultado de una medición o 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 [3].

NOTAS

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

6.2. Elementos de trazabilidad

Los siguientes requisitos deberán ser cubiertos por el laboratorio para asegurar la trazabilidad de las mediciones de capacitancia.

El laboratorio:

- debe mantener calibrado el medidor de capacitancia en al menos un punto de cada intervalo de medición usado. Se recomienda mantenerlo calibrado en los puntos de frecuencia y tensión de prueba usados normalmente. Se recomienda calibrar el punto de mayor alcance nominal de cada intervalo usado del medidor.
- debe usar invariablemente, la información contenida en el informe de calibración correspondiente al medidor de capacitancia para llevar a cabo la operación g) del apartado 4.3 de esta guía.
- debe calibrar el medidor de capacitancia en un laboratorio con trazabilidad a patrones nacionales, que sea técnicamente competente de acuerdo a la política respectiva de la ema y cuya incertidumbre de calibración no sea mayor a la especificación de exactitud del medidor de capacitancia.

- en el caso de que el laboratorio de ensayo lleve a cabo la calibración del medidor de capacitancia de manera interna, deberá: a) asegurar que la incertidumbre de calibración no sea mayor a la especificación de exactitud del medidor de capacitancia; b) demostrar competencia técnica conforme a la política correspondiente de la ema y, c) disponer de una carta de trazabilidad que facilite la demostración de trazabilidad.

7. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

7.1. Elementos y estimación de la incertidumbre de la medición

Los resultados de medición de capacitancia deben ser acompañados de una estimación de su incertidumbre (incertidumbre expandida U), la cual debe indicar claramente el intervalo de valores atribuibles razonablemente al mensurando y una declaración del nivel de confianza asociado a ese intervalo conforme a la norma NMX-CH-140-IMNC-2002 [2].

Para estimar la incertidumbre de medición de capacitancia, el laboratorio de ensayo deberá considerar los siguientes elementos de incertidumbre:

- El modelo matemático de la medición (mostrado en la ecuación 1).
- Las fuentes de incertidumbre asociadas a este modelo matemático se muestran en la tabla 1:

Tabla 1. Fuentes de incertidumbre asociadas al modelo matemático.

Variable Asociada	Fuente de Incertidumbre
C_1	1) Dispersión de las lecturas de C_1 ($u\sigma_{C_1}$) 2) Resolución de las lecturas de C_1 (uR_{C_1})
C'	3) Dispersión de las lecturas de C' ($u\sigma_{C'}$) 4) Resolución de las lecturas de C' ($uR_{C'}$)
ε	5) Incertidumbre de calibración del valor de ε (uE_ε) 6) Estabilidad del valor de ε (uE_ε)

en donde C_1 es la lectura del medidor C_1 ; C' es la capacitancia de los cables del medidor C_1 y ε es el error de indicación del medidor.

Nota: La variable C' no tiene fuentes de incertidumbre asociadas si se usa la función de “ajuste a cero” del medidor de capacitancia.

- en el caso de medidores digitales de capacitancia sin función de “ajuste a cero”, el laboratorio se podrá apoyar en la tabla 2 para realizar y respaldar el cálculo de incertidumbre estándar de las mediciones de capacitancia:

Tabla 2. Fuentes de incertidumbre.

Fuente de Incert.	Estimado	Incert. Estándar $u(x)$	Dist. de Probabilidad	Coef. de Sens.	Contribución $u(y)$	Grados de Libertad ν
$u\sigma_{C_I}$	C_I	$\sigma_{C_I} / \sqrt{n_1}$	Normal	1	σ_{C_I} / \sqrt{n}	$n_1 - 1$
uR_{C_I}		$Res. / \sqrt{12}$	Uniforme	1	$Res. / \sqrt{12}$	∞
$u\sigma_{C'}$	C'	$\sigma_{C'} / \sqrt{n_2}$	Normal	-1	$\sigma_{C'} / \sqrt{n}$	$n_2 - 1$
$uR_{C'}$		$Res. / \sqrt{12}$	Uniforme	-1	$Res. / \sqrt{12}$	∞
uu_ε	ε	u_ε / k	Normal	-1	u_ε / k	60
uE_ε		$E_\varepsilon / \sqrt{3}$	Uniforme	-1	$E_\varepsilon / \sqrt{3}$	60
C_X	$C_I - C' - \varepsilon$				u_C	ν_{eff}

Notas:

- n_1 es el número de lecturas tomadas de C_I .
 - n_2 es el número de lecturas tomadas de C' .
 - El propósito de esta tabla es ilustrar un cálculo típico de incertidumbre de medición de capacitancia empleando un medidor digital de capacitancia sin función de “ajuste a cero”. El laboratorio deberá adecuar esta tabla en el caso de que use un medidor de capacitancia distinto o deba llevar a cabo mediciones de capacitancia con un método distinto a las recomendaciones de esta guía.
- Dependiendo de las condiciones de medición, es posible despreciar la contribución $u(y)$ de varias de las fuentes de incertidumbre. Esto será posible cuando la contribución a despreciar tenga un valor 10 veces más pequeño que el de la contribución de mayor peso.

Nota: El laboratorio de ensayo deberá realizar sus propias pruebas y consideraciones para despreciar la contribución $u(y)$ de las fuentes de incertidumbre.

- Siguiendo el método directo de medición de capacitancia no existe correlación de fuentes de incertidumbre.

- El número de grados efectivos de libertad ν_{eff} serán aproximados a 60 si la fuente de incertidumbre por estabilidad del valor de ε (uE_{ε}) es 10 veces mayor que el resto de las fuentes de incertidumbre, por lo que el factor de cobertura k tomará un valor de 2,0.
- Si las fuentes de incertidumbre por dispersión de las lecturas de C_I ($u\sigma_{C_I}$) y C' ($u\sigma_{C'}$), son del mismo orden que la fuente de incertidumbre por estabilidad del valor de ε (uE_{ε}), el número de grados efectivos de libertad ν_{eff} deberá ser calculado, y a partir de su valor, se determinará el valor del factor de cobertura para un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.
- La incertidumbre expandida U se calculará multiplicando el valor de incertidumbre combinada u_C por el factor de cobertura k .

8. VALIDACIÓN DE MÉTODOS

Cuando se realicen mediciones de capacitancia desviándose de los requisitos de esta guía, el laboratorio deberá identificarlas y validar los aspectos que puedan influir sobre la trazabilidad y la incertidumbre de las mediciones.

9. BUENAS PRÁCTICAS DE MEDICIÓN

Las siguientes recomendaciones son necesarias para asegurar el logro y mantenimiento de la trazabilidad, así como para asegurar el valor de la incertidumbre de las mediciones de capacitancia:

- El medidor deberá ser energizado con suficiente tiempo antes de realizar la medición de acuerdo con las indicaciones del fabricante para lograr la estabilización, principalmente térmica, del mismo. En el caso de que no exista ninguna indicación del fabricante al respecto, el laboratorio deberá tener un procedimiento interno que indique este tiempo de estabilización.
- Los cables de conexión deberán ser revisados para verificar que no tienen daño eléctrico alguno, tanto en sus partes conductoras como aislantes, y que sus terminales están suficientemente limpias para que no existan falsos contactos entre éstas y el medidor o el elemento capacitivo a medir.
- Cuando se mide la capacitancia de los cables de conexión C' o se realiza el “ajuste a cero”, la posición de éstos debe ser la más aproximada posible a la que tienen cuando se realiza la medición del elemento capacitivo. Alrededor de sus terminales no debe haber

objetos que puedan influir durante la medición. Como recomendación, el técnico deberá alejarse al menos 50 cm alrededor de las terminales de medición.

- En el caso de medidores de capacitancia manuales, la resolución del medidor no se encuentra necesariamente en la última perilla de balance disponible del medidor, sino en la perilla que permite realizar el balance más fino de la medición. En su caso, el operador deberá indicar la resolución de la medición y ésta indicación deberá ser usada para realizar el cálculo de incertidumbre correspondiente.
- Para mediciones con tensión de prueba de hasta 1 kV, se recomienda disponer de elementos de seguridad para el operador para mantener su integridad física ante la posibilidad de una descarga eléctrica durante la medición.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NMX-EC-17025-IMNC-2006 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.
- [2] NMX-CH-140-IMNC-2002 Guía para la expresión de incertidumbre en las mediciones.
- [3] 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.
- [6] Políticas referentes a la trazabilidad e incertidumbre de mediciones, 2002, Serie documentos, ema,
<http://www.ema.org.mx/ema/pdf/PROCEDIMIENTOS/TRAZABILIDAD%20E%20INCERTIDUMBRE%20SC-2002-12-12.pdf>

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
10	13	Se actualizó la fecha de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2000 por NMX-EC-17025-IMNC-2006
Observaciones:		