

GUÍA TÉCNICA SOBRE TRAZABILIDAD E INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA DE SÓLIDOS EN LABORATORIOS DE ENSAYO

México, Mayo de 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.

AUTORES¹

Martínez Fuentes, Víctor, CENAM

Pacheco Mota, Tomás, Llantas Tornel

Pérez Arenas, Blanca Estela, Wal-Mart

¹ El nombre de los autores aparece en estricto orden alfabético.

ÍNDICE

	página
PRESENTACIÓN.....	2
AUTORES.....	4
ÍNDICE.....	5
1. PROPÓSITO DE LA GUÍA	6
2. ALCANCE	6
3. MENSURANDO	7
4. MÉTODO Y SISTEMA DE MEDICIÓN	7
5. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA Y CALIFICACIÓN DE EQUIPOS	10
6. TRAZABILIDAD	11
7. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN	13
8. VALIDACIÓN DE MÉTODOS.....	15
9. BUENAS PRÁCTICAS DE MEDICIÓN.....	16
10. REFERENCIAS	20
11. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA.....	21
12. ANEXOS	22

1. PROPÓSITO DE LA GUÍA

El propósito de esta guía es establecer los criterios y requisitos para evaluar la trazabilidad e incertidumbre en la medición de temperatura en sólidos utilizando sensores de temperatura de contacto. Su objetivo es servir como referencia para asegurar la uniformidad y consistencia de los criterios técnicos en la evaluación de la trazabilidad y la estimación de incertidumbre en las mediciones de temperatura en sólidos. Esta guía es un documento que sirve tanto a evaluadores como a los laboratorios de ensayo en una evaluación. Estos criterios se *deben* observar durante la evaluación de un laboratorio de ensayo para su acreditación, renovación o seguimiento.

Esta guía provee información útil sobre la forma de cumplir los requisitos de trazabilidad e incertidumbre de las mediciones establecidos en la NMX-EC-17025-IMNC-2000 [1] cuando se aplican a la medición de temperatura en sólidos. En ningún caso debe interpretarse el contenido de esta Guía Técnica como sustituto de los requisitos mencionados.

Nota:

Para facilitar la identificación de los criterios y requisitos que se tienen que cumplir para el objetivo de esta guía, se marcaron los *debe* o *deben* con letras cursivas y se agregaron notas para el evaluador del laboratorio.

2. ALCANCE

El alcance de esta guía es la evaluación de la trazabilidad y de la incertidumbre de la medición de temperatura en medios sólidos por métodos de contacto. Los métodos de contacto son aquellos métodos de medición de temperatura en que se utilizan sensores de temperatura que están en contacto térmico con el medio a medir. En particular, los sensores de temperatura considerados son de resistencia, termopares, termómetros de líquido en vidrio y medidores con indicadores de carátula.

La medición de temperatura en un sólido que cambia su temperatura con el tiempo está limitada por el tiempo de respuesta del sensor en ese medio. Ver sección 9 para las buenas prácticas de medición y referencias.

El intervalo de medición de temperatura en que aplica esta guía es de -30 a 1200 °C con incertidumbres que van de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ hasta $\pm 5^{\circ}\text{C}$

Esta guía aplica a todos los métodos de prueba en los cuales se mide temperatura en sólidos en los Laboratorios de Ensayo pertenecientes a los Subcomités de Ensayo de la ema, quienes *deben* hacer referencia a las normas que apliquen para su sector.

3. MENSURANDO

El mensurando es la temperatura de un sólido. De acuerdo al alcance de esta guía, en las mediciones practicadas por los laboratorios de ensayo, el mensurando debe definirse con mayor precisión que la expresión anterior, tomando en consideración los detalles de medición que puede especificar una norma. La medición se realiza poniendo en contacto térmico un termómetro con el medio a medir, permitiendo que se establezca térmicamente para obtener una mejor indicación de temperatura². El contacto térmico del termómetro con el sólido ocurre de muchas maneras en la práctica. Sin embargo, se *debe* considerar el estudio de la mejor instalación posible del sensor o los sensores para indicar la correcta temperatura del sólido.

Notas:

1. El mensurando, temperatura del sólido, *debe* definirse claramente, sin ambigüedades y de forma completa para ayudar a definir la correcta localización del sensor o sensores de temperatura. Se pueden usar varios sitios de medición para determinar la temperatura más representativa de un medio sólido cuya temperatura se quiere determinar. Para ello, es importante la información sobre las condiciones y características físicas del sólido cuya temperatura está sujeta de medición.
2. Para la medición de temperatura en medios líquidos o gaseosos usando un termómetro con un sensor que se coloca en la superficie exterior del contenedor o tubo donde se encuentra el fluido se *debe* usar esta guía para tomar en consideración las buenas prácticas de medición y los requerimientos de trazabilidad e incertidumbre.
3. Esta guía es de propósito general y no sustituye la información relativa a las buenas prácticas de medición, cuando está disponible, en las normas en las que se aplica la medición de temperatura en sólidos usando sensores de temperatura de contacto.

4. MÉTODO Y SISTEMA DE MEDICIÓN

El laboratorio *debe* asegurar que cumple correctamente los criterios que presenta esta guía respecto del método de medición de temperatura en sólidos, asegurando, adicionalmente, que utilizará el sistema de medición adecuado para asegurar la trazabilidad y la confiabilidad de estas mediciones.

² Los periodos de estabilización se determinan según la sección de buenas prácticas de medición

4.1 Método de medición

El método de medición de temperatura en sólidos es el llamado método de contacto en el cual el sensor del termómetro se coloca en contacto íntimo con el medio para tener un buen contacto térmico con el sólido cuya temperatura se quiere medir.

4.2 Documentos de consulta

Los documentos de consulta en primer término *deben* ser las normas de las pruebas en las que se aplica la medición de temperatura en sólidos. Documentos adicionales de consulta son los manuales de los instrumentos de medición de temperatura y la bibliografía recomendada en la sección 11 de esta guía.

4.3 Procedimiento de medición

El procedimiento de medición de temperatura en gases *debe* seguir lo recomendado en las normas de la prueba que requieren de esa medición.

Se *debe* tener bien definido y sin ambigüedades el mensurando (temperatura del sólido). La completa definición de la temperatura a medir *debe* indicar la porción de espacio físico sujeto a la medición y la localización del sensor o sensores de temperatura.

Los resultados de la medición de temperatura en sólidos *deben* de informarse en unidades del Sistema Internacional (SI) [3]. Para el caso de temperatura la unidad base del SI es el kelvin [K] y la unidad derivada, de uso más común, el grado Celsius [°C]. La relación entre estas dos escalas es la siguiente:

$$T[K] = t[°C] + 273,15$$

En caso de usar otras unidades, se *deben* convertir a las unidades del sistema internacional. Para convertir temperatura en °F a °C se usa la siguiente relación:

$$t[°C] = \frac{5}{9} (t[°F] - 32)$$

Cuando no se proporcione ningún método para la medición de temperatura en la norma o normas de la prueba, se *deben* seguir las buenas prácticas de la medición presentadas en la sección 9 de esta guía.

El procedimiento de medición *debe* contemplar aquellos aspectos relevantes para lograr la trazabilidad de la medición y minimizar los errores que la afecten, por ejemplo, la radiación, la fuga de calor por la columna emergente (aquella porción del termómetro que no es la parte sensora), el uso correcto de los sensores, etc.

4.4 Equipos e instrumentos, instalaciones

Los instrumentos que se usan en la medición de temperatura en sólidos son algunos de los siguientes:

Termómetro de líquido en vidrio (temperaturas menores a 550 °C)

Termómetro con sensor de resistencia de platino e indicador/registrador de temperatura.

Termómetro con sensor tipo termistor e indicador/registrador de temperatura (para temperaturas menores a 150 °C)

Termopar con indicador/registrador de temperatura

Termómetro con sensor bimetalico y con indicador analógico (temperaturas menores a 500 °C).

Existen además sensores especialmente diseñados para la medición de temperatura en la superficie de sólidos. Algunos de estos sensores no requieren de un montaje fijo.

Nota: Se debe tomar en cuenta que no siempre se dispone de la información sobre el tipo del sensor que se usa en un medidor de temperatura, pero siempre se considera al termómetro como un sistema compuesto por un sensor y un indicador de temperatura.

En secciones 9 y 11 de esta guía se da más información sobre el uso y cuidados de cada tipo de estos termómetros.

4.5 Competencia del personal

El personal del laboratorio de ensayos *debe* tener conocimientos de termometría (efectos de instalación en termómetros y factores que afectan la medición de temperatura en sólidos, requisitos de trazabilidad en temperatura) y metrología general (conceptos de calibración, estimación de incertidumbres, trazabilidad, etc.) para la realización de las actividades de medición de temperatura en sólidos.

El personal del laboratorio de ensayos *debe* conocer los factores que afectan a la medición de temperatura en sólidos. Entre estos se encuentran los siguientes [2]:

1. Pérdidas por columna emergente y anclaje térmico
2. Intercambios radiantes
3. Calentamiento interno
4. Transferencia de calor en sensores montados en superficies.
5. Tiempo de respuesta.

Es necesario entender estos efectos para especificar instalaciones y condiciones de medición que minimicen o permitan la corrección de errores.

El personal responsable de la medición *debe* tener conocimiento de cómo verificar el estado de calibración de los termómetros.

Nota para el evaluador: *Debe* verificar que existan registros de capacitación y competencia del personal en la medición de temperatura.

En general, la competencia del personal para efectos de esta guía se considera que *debe* cumplir con los requisitos de la NMX-EC-17025-IMNC-2000 en el inciso 5.2 (Competencia del Personal).

5. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA Y CALIFICACIÓN DE EQUIPOS

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

Notas

1. La confirmación metrológica generalmente incluye la calibración y verificación, cualquier ajuste o reparación necesario y la subsiguiente recalibración, la comparación con los requisitos metrológicos para el uso previsto del equipo, así como cualquier sellado y etiquetado requerido.
2. La confirmación metrológica se obtiene cuando se ha demostrado y documentado la adecuación del equipo de medición para el uso previsto.
3. Los requisitos para el uso previsto del equipo de medición, incluyen consideraciones tales como alcance, resolución y error máximo permitido [4].

Los instrumentos de medición de temperatura en sólidos *deben* seleccionarse de acuerdo a este uso y *deben* estar calibrados y etiquetados para demostrar su confirmación metrológica.

Adicionalmente a la confirmación metrológica de termómetros, se recomienda ampliamente la verificación de los termómetros patrón de referencia o de termómetros cuya exactitud sea crítica en las mediciones aplicadas para la realización de alguna prueba o ensayo, en particular. Es necesario que el laboratorio documente el seguimiento de patrones con alguna técnica estadística de control de mediciones que considere apropiada. Por ejemplo, puede verificar la indicación de estos termómetros en un baño de hielo y el registro de su valor en ese punto en cartas de control. En el Anexo A se presenta una breve guía para la preparación del baño de hielo.

Para la información sobre la confirmación metrológica de termómetros el laboratorio se *debe* hacer referencia a la norma NMX-CC-10012-IMNC:2003 [4]

6. TRAZABILIDAD

Definiciones

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 [5].

NOTAS

- i. El resultado de una medición o el valor de un patrón están relacionados a referencias determinadas.
- ii. Este concepto se expresa frecuentemente por el adjetivo trazable.
- iii. 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 [5].

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 [5].

Verificación: Confirmación y provisión de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos especificados [6].

Criterios para evaluar la trazabilidad en la medición de temperatura.

El laboratorio *debe* seguir los siguientes criterios críticos para proveer trazabilidad a la medición de temperatura en sólidos.

- a) Los termómetros para la medición de temperatura *deben* calibrarse por un laboratorio externo acreditado o por el CENAM. En caso de calibrarse internamente, el laboratorio *debe* estar acreditado para ello.

Nota para el evaluador: *Debe* tener información de los laboratorios de calibración acreditados en la magnitud de temperatura (puede ver la lista de laboratorios de calibración acreditados por **ema** en la pagina web: <http://www.ema.org.mx>).

- b) La incertidumbre de la calibración *debe* corresponder y ser menor que la incertidumbre de medición de temperatura requerida en la prueba que realiza un laboratorio de ensayo.

- c) La calibración de termómetros *debe* realizarse de tal manera que esté basada en la Escala Internacional de Temperatura de 1990 [7]. Las tablas de calibración o funciones de referencia basadas en escalas anteriores no son válidas para acreditar la trazabilidad en las mediciones de temperatura.
- d) Los termómetros nuevos *deben* calibrarse antes de su uso.
- e) Los resultados de las calibraciones de los termómetros y su incertidumbre *deben* documentarse.
- f) Los termómetros *deben* de etiquetarse, identificarse y marcar su estado de calibración.
- g) Los resultados de la calibración junto con sus condiciones ambientales durante la calibración *deben* estar disponibles al usuario del termómetro.

Nota: La referencia a las condiciones de calibración es necesaria cuando se usan termómetros de líquido en vidrio.

Nota para el evaluador: *Debe* revisar los informes o certificados de calibración de los termómetros y comprobar que cumplen con lo dispuesto en la norma la NMX-EC-17025-IMNC-2000 inciso 5.10.4

- h) Los controles de ajuste y calibración (cuando existan) *deben* estar sellados para evitar desajuste por los usuarios.
- i) El termómetro como sistema (lector y sensor) *debe* calibrarse en conjunto Si no es posible la calibración conjunta del sensor y del indicador de temperatura, entonces por separado realizando las correcciones y la estimación de incertidumbre de tal efecto.

Nota para el evaluador: *Debe* solicitar del laboratorio un documento técnico en el que se describa la forma de estimar la incertidumbre en la medición de temperatura al utilizar la calibración del sensor y la calibración del indicador de temperatura. El mismo documento *debe* describir la forma de corrección de errores sistemáticos debidos al elemento sensor y al elemento indicador de temperatura

- j) El laboratorio *debe* designar los periodos de re-calibración de sus termómetros de acuerdo a su frecuencia de uso, incertidumbre requerida, forma de uso, estabilidad del termómetro y sus políticas internas. Se puede ayudar del resultado de las verificaciones de los termómetros para establecer estos periodos.
- k) Para facilitar el seguimiento de la cadena de trazabilidad, el laboratorio *debe* proporcionar una carta de trazabilidad que identifique los certificados e informes de calibración en cada paso de la cadena de trazabilidad. En el anexo B de esta guía se presenta un ejemplo de carta de trazabilidad de las mediciones.

Nota para el evaluador: *Debe* verificar que se especifique claramente la cadena de trazabilidad

En general, la trazabilidad de las mediciones de temperatura que realiza un laboratorio de ensayo, *debe* realizarse de acuerdo a lo establecido en la NMX-EC-17025-IMNC-2000 inciso 5.6.2.2, así como observar lo indicado en la Política de ema referente a la trazabilidad e incertidumbre de las mediciones mostrada en el capítulo 3 parte I inciso 3.2.2 [10]

7. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

Los resultados de medición de la temperatura en sólidos que se practican en pruebas o ensayos, *deben* acompañarse de una estimación de su incertidumbre conforme a la norma NMX-CH-140-IMNC-2002 [8]. La incertidumbre expandida *debe* calcularse conforme a los niveles de confianza (95 % aprox.) que establezcan las *Políticas referentes a la trazabilidad e incertidumbre de mediciones* de ema [10].

"En aquellos casos en que un método de ensayo bien reconocido especifique límites a los valores de las principales fuentes de incertidumbre de medición y especifique la forma de presentación de los resultados calculados, se considera que el laboratorio satisface esta cláusula siguiendo los métodos de ensayo e instrucciones de informe". Ver sección 5.4.6.2. de las *Políticas referentes a la trazabilidad e incertidumbre de mediciones* de ema.[10]

Nivel de confianza: Fracción de la distribución de probabilidad caracterizada por el resultado de medición y su incertidumbre. Adaptada del inciso 6.2.2 de [8].

Factor de cobertura: Factor que multiplica a la incertidumbre estándar combinada para calcular la incertidumbre expandida de una medición. Adaptada del inciso 6.2.2 de [8].

Elementos de la incertidumbre

Para estimar la incertidumbre de medición de la temperatura en sólidos cuando se utiliza un sensor con indicador de temperatura o un termómetro de líquido en vidrio y cuando se realizan buenas prácticas de medición (ver sección 9), el laboratorio puede usar, en la mayoría de los casos, el siguiente modelo general:

$$T = T_I + C \quad (1)$$

donde:

- T Es la temperatura del sólido ya corregida
- T_I Es la lectura de la temperatura que proporciona el termómetro.
- C Es la corrección (o correcciones) que se realizan en la medición.

Componentes de incertidumbre de T_I

Los componentes de la incertidumbre de T_I son principalmente la repetibilidad y la reproducibilidad de las mediciones y la resolución del indicador o del termómetro analógico.

N es el número de mediciones y S la desviación estándar en condiciones de reproducibilidad, n es el número de mediciones y s la desviación estándar en condiciones de repetibilidad.

La incertidumbre estándar y los grados de libertad de los componentes de repetibilidad y reproducibilidad se pueden obtener también de un análisis de varianza.

La mejor resolución de instrumentos analógicos se establece como la división mínima de la escala dividida entre cuatro [9]

Las componentes de incertidumbre de T_I se pueden obtener igualmente de las especificaciones técnicas del termómetro considerando al sensor y al lector juntos.

En el caso de usar más de un termómetro en la medición de temperatura, el mejor estimado es, en la mayoría de los casos, el promedio de temperaturas de cada uno. La incertidumbre individual de cada termómetro *debe* utilizarse para encontrar la incertidumbre del promedio de los termómetros.

Nota para el evaluador: *Debe* verificar que en el análisis de incertidumbre del laboratorio en la medición de temperatura se consideren estos componentes y en caso de no considerar algunos, se presente una justificación válida.

Componentes de incertidumbre: de C

Los componentes de la incertidumbre del factor C , son debidos principalmente a la incertidumbre en la corrección o correcciones que se realizan por calibración, inmersión, efectos de instalación, etc.

En la calibración, normalmente, se puede observar que las lecturas del termómetro bajo calibración difieren de las que se observan el termómetro patrón. Estas desviaciones se tienen que tomar en cuenta cuando se utiliza el termómetro ya calibrado en la medición. Cuando se realizan correcciones a las lecturas del termómetro se tiene que utilizar la incertidumbre expandida U del informe de calibración y k su factor de cobertura.

Se *debe* agregar la incertidumbre adicional debida a la corrección de columna emergente en termómetros de líquido en vidrio cuando las condiciones de inmersión sean diferentes a las

de calibración. Ver [1, 3, 7 y 8] en la bibliografía recomendada y la referencia [2]. El valor de la corrección tiene un límite superior a_+ y un límite inferior a_- .

Se *debe* evitar la realización de correcciones por efectos de pérdidas por columna emergente y anclaje térmico, transferencia de calor de sensores montados en superficies, intercambios radiantes, calentamiento interno y tiempo de respuesta, porque son difíciles de evaluar. Se recomienda, entonces, minimizar esos efectos hasta donde sea posible, para ello, el laboratorio *debe* seguir los criterios presentados en la sección de buenas prácticas de medición presentadas en esta guía.

Nota para el evaluador: *Debe* verificar que en el análisis de incertidumbre del laboratorio en la medición de temperatura se consideren estos componentes y en caso de no considerar algunos de ellos, se presente una justificación válida.

En resumen, se tienen los componentes de incertidumbre mostrados en la tabla 1.

TABLA 1. Contribuciones de incertidumbre en la medición de temperatura en sólidos.

	fuente	distribución	incertidumbre estándar	Grados de libertad	coeficiente de sensibilidad
T_l	Repetibilidad	normal	$\frac{s}{\sqrt{n}}$	n-1	1
	Reproducibilidad	normal	$\frac{S}{\sqrt{N}}$	N-1	1
	Resolución	uniforme	0,29*Resolución	50 aprox.	1
C	Corrección por la calibración	normal	$\frac{U}{k}$	100 aprox.	1
	Corrección por efectos de instalación y/o de inmersión	uniforme	$\frac{a_+ - a_-}{\sqrt{12}}$	50	1

Nota para el evaluador: *Debe* observarse que la estimación y expresión de la incertidumbre en la medición de temperatura este de acuerdo a la norma NMX-CH-140-IMNC-2002 y que las contribuciones a la incertidumbre estén relacionadas con las descritas en esta guía

8. VALIDACIÓN DE MÉTODOS

Cuando se realicen mediciones de temperatura que se desvíen de los requisitos de la norma aplicable o en su caso, de esta guía el laboratorio *debe* validar el método de medición de temperatura en gases en los aspectos que puedan influir sobre la trazabilidad y la incertidumbre de las mediciones.

La validación de métodos *debe* realizarse de acuerdo a lo establecido en la NMX-EC-17025-IMNC-2000 inciso 5.4.5

9. BUENAS PRÁCTICAS DE MEDICIÓN

El laboratorio *debe* considerar las buenas prácticas de medición que considere necesarias dependiendo del cada método de ensayo.

La información aquí descrita es de carácter general y no sustituye un estudio profundo de los factores que intervienen en la medición de temperatura en sólidos en una aplicación en particular.

Existen efectos que en estado estacionario pueden causar errores de medición en la temperatura en sólidos [2]:

1. Pérdidas por columna emergente y anclaje térmico
2. Transferencia de calor en sensores montados en superficies.
3. Intercambios radiantes
4. Calentamiento interno
5. Tiempo de respuesta

Es necesario entender estos efectos para especificar instalaciones y condiciones de proceso que minimicen errores o los corrijan cuando sea conveniente.

9.1. Pérdidas por columna emergente del sensor.

En una medición ideal se supone que el termómetro esta en contacto térmico únicamente con un material: el sólido cuya temperatura se va a medir. En algunas aplicaciones esta suposición no es válida.

Para minimizar las pérdidas de calor por columna emergente (aquella porción del termómetro que no es la parte sensora) es necesario incrementar el área que hace contacto entre el sensor y el sólido cuya temperatura está sujeta a medición. También se recomienda evitar la formación de depósitos en la superficie sobre el sensor porque esto puede aumentar su resistencia térmica y ocasionar un incremento en el error de medición

9.2 Anclaje térmico

El anclaje térmico se refiere a situaciones en las cuales la geometría no es tan sencilla como en el caso de pérdidas por columna emergente. Por ejemplo, en el caso de un termopar los cables pueden proporcionar una trayectoria de conducción de calor desde la junta de medición, situación que puede ocasionar errores en la medición. Una buena práctica de medición consiste en asegurar que los cables del termopar que están cercanos a la junta de medición, permanezcan en contacto térmico con el sólido sujeto a medición.

9.3 Transferencia de calor en sensores montados en superficies

En muchas aplicaciones, la temperatura de un sólido se mide midiendo la temperatura superficial del mismo. La principal dificultad en medir temperatura superficial en sólidos, concierne al método de montaje (instalación) del sensor sobre la superficie. En la referencia [11] se describen métodos de montaje de termopares a superficies sólidas. En la figura 1 se muestran algunos de los métodos más comunes de montaje de termopares a superficie. La unión del termopar se puede sostener a la superficie por soldadura con aporte de material, soldadura de punto, cementándola, pegándola o simplemente presionándola.

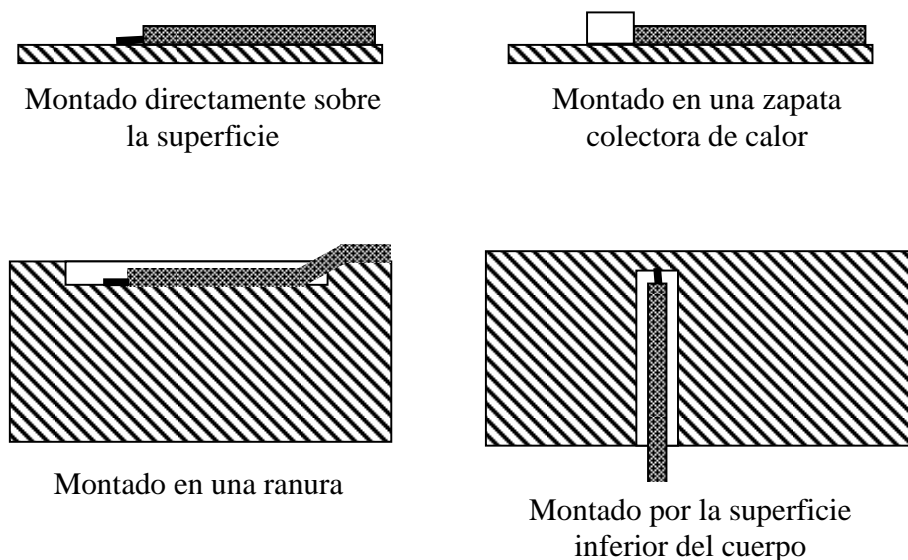


Figura 1. Métodos de montaje de termopares a superficie.

En general, para minimizar los errores en la medición de temperatura en superficies se tienen las siguientes recomendaciones [2, 12]:

- i) Mantenga el tamaño de la instalación tan pequeño como sea posible
- ii) Mantenga los alambres del sensor en una región isotérmica por al menos 20 veces el diámetro.
- iii) Localice el sensor lo más cerca posible de la superficie.
- iv) La instalación del sensor deberá perturbar las condiciones ambientales en la superficie lo menos posible.
- v) Reduzca la resistencia térmica entre el sensor y la superficie al mínimo.

En algunas ocasiones, la temperatura de una superficie sólida de un contenedor o tubo es requerida para la medición de un fluido (gas o líquido) en su interior. En este caso se deberán seguir las recomendaciones descritas arriba con excepción de (iv) ya que es recomendable que el sensor colocado sobre la superficie se aisle de los alrededores.

9.4 Intercambios radiantes

La energía se puede transmitir por radiación a través de materiales transparentes. Esto puede causar errores en la medición de temperatura en sólidos, principalmente en alta temperatura donde tiene mayor influencia [2,12].

Para reducir estos efectos *debe* de minimizarse estos intercambios, por ejemplo, un sensor *debe* instalarse en donde no exista una línea directa de vista hacia regiones que sean significativamente más calientes o frías que el medio cuya temperatura se va a medir.

9.5 Calentamiento interno del termómetro

El calentamiento interno es un problema en sensores de resistencia eléctrica (por ejemplo Pt100 y termistores) que sucede por efecto Joule. Estos errores se pueden estimar usando índices que se suministran por los fabricantes de sensores de temperatura de este tipo. El índice más común es la llamada constante de disipación (DC por sus siglas en inglés), que se define como la relación entre la potencia generada por el sensor y el incremento de temperatura. Se recomienda el conocer estos índices para establecer niveles de corriente eléctrica que se puedan usar sin causar errores significativos

9.6 Tiempo de respuesta

Una de las funciones más importantes del termómetro es seguir los cambios de temperatura del proceso en una prueba, pero el valor medido por los sensores tiene un retraso en el tiempo con respecto al cambio de temperatura en el medio bajo medición. Este retraso es dependiente de las propiedades termofísicas del sensor, del medio (sólido) y de factores dinámicos del sensor y el medio.

Los fabricantes de sensores de temperatura proporcionan información de una variable llamada *constante de tiempo*, que es el tiempo necesario para que el valor de temperatura indicada por el termómetro alcance el 63,2 % de la variación total de temperatura que experimenta. Ver [2,12 y 13] para mayor información.

La constante de tiempo de un termómetro de líquido en vidrio depende de la longitud y del diámetro interno del tubo capilar y del volumen del bulbo. Los termómetros de mercurio en vidrio tienen una respuesta rápida por la incompresibilidad del mercurio comparados con los termómetros de gas. En cambio los sensores de resistencia y los termopares la constante de tiempo depende únicamente del intercambio térmico entre el sólido y el sensor.

Se recomienda, que en la selección de un sensor de temperatura con tiempo de respuesta corto, se tome cuenta que su respuesta es más rápida si la masa del sensor es pequeña, si la capacidad de calor específica es pequeña y si la resistencia a la transferencia de calor es pequeña.

9.7 Criterios en el uso de termómetros de líquido en vidrio.

Enseguida se presentan criterios que *deben* seguirse cuando se utilizan termómetros de líquido en vidrio.

- Se *debe* colocar el termómetro en posición vertical para minimizar el efecto de separación de la columna de líquido dentro del termómetro por vibraciones o sacudidas.
- *Debe* evitarse exponer el termómetro a vibraciones o golpes.
- Para la lectura de la temperatura en el termómetro, *debe* evitarse en lo posible los errores de paralaje del menisco del líquido interno en el termómetro.
- La resolución, para propósitos prácticos, no *debe* ser menor que la cuarta parte de la división mínima del termómetro cuando las lecturas se toman a simple vista sin ayuda de ningún aditamento (lupas, telescopios, etc.)
- La temperatura máxima en que se pueden usar estos tipos de termómetros en la medición de temperatura en sólidos es de 550 °C.
- *Debe* usarse el termómetro con el tipo de inmersión requerida y cuando esto no sea posible, se *deben* realizar las correcciones correspondientes:

9.8 Criterios en el uso de termómetros con sensores de resistencia de platino

Cuando se utilizan termómetros de resistencia de platino, se *deben* seguir los siguientes criterios.

- *Debe* evitarse exponer el termómetro a vibraciones o golpes.
- La resolución del termómetro *debe* ser la de la del dígito menos significativo del lector de temperatura cuando el valor de este dígito sea estable.
- Para indicadores analógicos, la resolución, en forma práctica, no *debe* ser menor que la cuarta parte de la división mínima indicador cuando las lecturas se toman a simple vista sin ayuda de ningún aditamento (lupas, telescopios, etc.). Para estos indicadores, *deben* minimizarse los errores de paralaje.
- *Debe* procurarse que el resistor, que es el elemento activo del sensor, esté herméticamente sellado para evitar que entre en contacto con agua o con la humedad del medio ambiente.
- Para temperaturas mayores a 420 °C se *deben* tener precauciones en el manejo del termómetro para evitar introducir esfuerzos termomecánicos por cambios bruscos de temperatura y cambios metalúrgicos en la estructura de platino. Se *debe* verificar periódicamente un termómetro de resistencia de platino que se use arriba de esta temperatura según la sección 5 de esta guía y usando un baño de referencia a 0 °C.

9.7 Criterios cuando se utilizan termopares

Se presentan los criterios que *deben* seguirse cuando se utilizan termopares.

- *Debe* evitarse hacer dobleces fuertes (torcer los alambres) y con radios pequeños al termopar. Así como evitar machucarlos, por ejemplo con puertas y dispositivos de cierre.
- *Deben* seleccionarse alambres de termopar que resistan la oxidación y corrosión del ambiente que rodea al sólido.
- *Debe* evitarse que los cables del termopar o los cables de extensión y compensación, atraviesen campos magnéticos o eléctricos intensos. Cuando esto no se pueda evitar, deberá proporcionarse aislamiento o blindaje electromagnético.
- La resolución del termómetro *debe* ser la de la del dígito menos significativo del lector de temperatura cuando el valor de este dígito sea estable.
- Para indicadores analógicos, la resolución, en forma práctica, *no debe* ser menor que la cuarta parte de la división mínima indicador cuando las lecturas se toman a simple vista sin ayuda de ningún aditamento (lupas, telescopios, etc.). Para estos indicadores, *deben* minimizarse los errores de paralaje.
- Para mediciones en muchos puntos, es aconsejable y económico contar con un rollo (lote) de alambre calibrado y cortar los tramos necesarios para la medición.
- Cuando se utilicen tablas de termopares o funciones de referencia, éstas deberán basarse en la Escala Internacional de Temperatura de 1990.
- Para uso de termopares arriba de 550 °C se *debe* verificar que la deriva de estos es menor que la incertidumbre de la medición.

Nota: Es responsabilidad del laboratorio el garantizar las condiciones de seguridad e higiene en la medición de temperatura en ambientes peligrosos.

10. REFERENCIAS

1. NMX-EC-17025-IMNC-2000 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración
2. Robert P. Benedict. Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurements. Interscience. July, 1984. ISBN:0471893838
3. *El sistema Internacional de Unidades (SI)*. Publicación Técnica del CENAM CNM-MMM-PT-003. 2001. En la web: <http://www.cenam.mx/publicaciones/gratuitas/>
4. NMX-CC-10012-IMNC:2003 Sistemas de gestión de las mediciones —Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición

5. 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. NOM-008-SCFI *Sistema General de Unidades de Medida*
7. *Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90)* . Publicación Técnica del CENAM. CNM-MED-PT-004
8. NMX-CH-140-IMNC-2002 Guía para la expresión de incertidumbre en las mediciones.
9. Resolución de grupo de trabajo de las guías técnicas de incertidumbre y trazabilidad de medición de temperatura
10. *Políticas referentes a la trazabilidad e incertidumbre de mediciones* Documento de la Entidad Mexicana de Acreditación. A. C.
11. Baker, H.D, Ryder, E. A. y Baker, N.H. *Temperature Measurement in Engineering* Volumen 2. Wiley, New York. 1961.
12. Bentley, R. E. *Thermocouples in Temperature Measurement*. Monografía 5 del National Measurement Laboratorio (CSIRO) de Australia. 2003.
13. Holman, J. P. *Métodos experimentales para ingenieros*. McGraw-Hill. México. 1986.
14. Creus, A. *Instrumentación Industrial*. 4ª edición. Alfaomega-Marcombo. España. 1992

11. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- 1 Notas del Taller para las Guías Técnicas de trazabilidad e incertidumbre para Temperatura. Por Víctor Martínez Fuentes. Febrero de 2004. EMA/CENAM.
- 2 *Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90)* Publicación Técnica del CENAM. CNM-MED-PT-004.
- 3 *Termometría de Líquido en Capilares de Vidrio*, 2a. Edición. Publicación Técnica del CENAM. CNM-MET-PT-008.
- 4 *Termometría de Resistencia*. Publicación Técnica del CENAM. CNM-MET-PT-009.
- 5 *Termopares*. Publicación Técnica del CENAM. CNM-MET-PT-007
- 6 *Guía BIPM / ISO para la expresión de la Incertidumbre en las Mediciones*. Publicación técnica del CENAM. CNM-MED-PT-002.
- 7 Kerlin, T. W. y Shepard, R. L. *Industrial Temperature Measurement* ISA. 1982. E.U. A.
- 8 *Instrument Engineers' Handbook: Process Measurement and Analysis*. 3ª Edición. Editor Béla G. Lipták. Chilton Book Company. Estados Unidos. 1995.
- 9 Baker, H.D, Ryder, E. A. y Baker, N.H. *Temperature Measurement in Engineering* Volumen 2. Wiley, New York. 1961.
- 10 *Manual on the Use of Thermocouples in Temperature Measurement*. Manual 12. ISBN:0-8031-1466-4; 1993.

12. ANEXOS

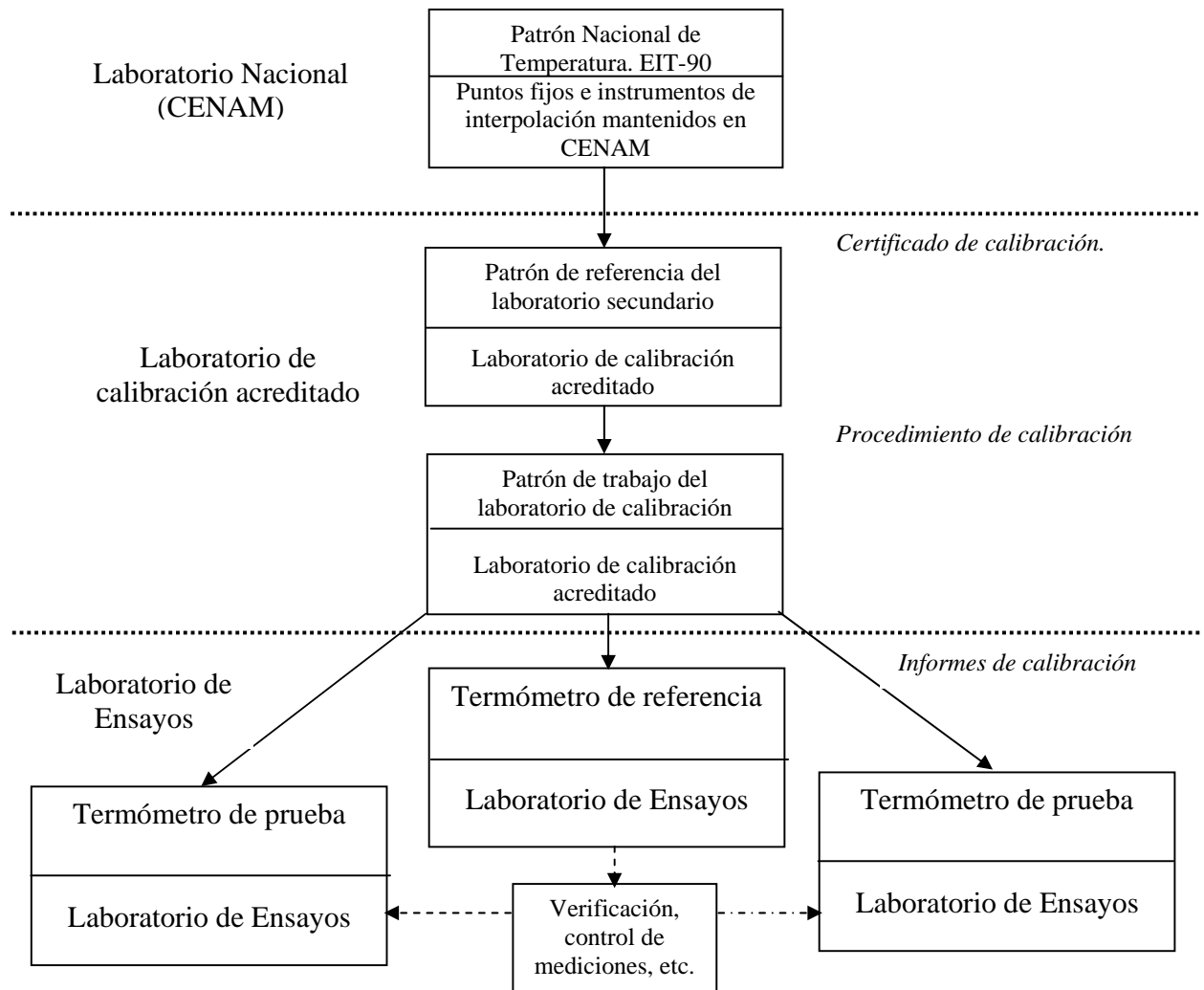
ANEXO A. Guía para la preparación de un baño de hielo:

La preparación del baño de hielo involucra el tener un termo de boca ancha de alrededor de 70 u 80 mm de diámetro interior y bastante largo para sostener el termómetro, agua pura ya sea destilada o deionizada, una fuente limpia de hielo raspado hecho con agua pura; un contenedor limpio para mantener el hielo, y un agitador de aluminio o acero inoxidable.

Todos los utensilios *deben* estar limpios, lavados con un detergente suave y enjuagado dos o tres veces con agua ordinaria y finalmente enjuagados con agua destilada. El termo se llena con 2/3 de agua destilada, y se adiciona hielo picado con una agitación fuerte hasta que la consistencia sea lo suficiente para permitir pasar el termómetro y que se sostenga.

Una referencia recomendada para la realización del baño de hielo es la norma ASTM E 563-97 *Standard Practice for Preparation and Use of an Ice-Point Bath as Reference Temperature*.

ANEXO B. Carta de trazabilidad.



Nota: Se deben indicar las incertidumbres obtenidas en cada eslabón de la cadena de trazabilidad.