

Guía Técnica de Trazabilidad Metrológica e Incertidumbre de Medida en la Medición de Temperatura de Gases en Laboratorios de Ensayo

México, Abril de 2013

Derechos reservados ©

PRESENTACIÓN

Durante la evaluación de la competencia técnica de los laboratorios de calibración y de ensayo, la demostración de la trazabilidad metrológica y la estimación de la incertidumbre de medida, 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 metrológica y la incertidumbre de medida, la entidad mexicana de acreditación, a. c., solicitó al Centro Nacional de Metrología que encabezará un programa de elaboración de Guías Técnicas de Trazabilidad Metrológica e Incertidumbre de Medida.

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 metrológica y en la incertidumbre de medida. 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 Metrológica e Incertidumbre de Medida 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.

Abril 2008

Dr. Héctor O. Nava Jaimes

Director General

Centro Nacional de Metrología

María Isabel López Martínez

Directora Ejecutiva

entidad mexicana de acreditación, a.c.

**GRUPO DE TRABAJO
QUE PARTICIPÓ EN LA ELABORACIÓN DE ESTA GUÍA TÉCNICA**

Javier Esquivel Ovando	Independiente
Víctor Martínez Fuentes	CENAM
Edgar De La Rosa Martínez	Independiente

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	2
GRUPO DE TRABAJO	4
1. PROPÓSITO DE LA GUÍA TÉCNICA.....	6
2. ALCANCE DE LA GUÍA TÉCNICA.....	6
3. MENSURANDO	6
4. MÉTODO Y SISTEMA DE MEDIDA.....	7
5. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA Y CALIFICACIÓN DE EQUIPOS	10
6. TRAZABILIDAD METROLÓGICA DE LAS MEDICIONES	11
7. INCERTIDUMBRE DE MEDIDA	13
8. VALIDACIÓN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN	15
9. BUENAS PRÁCTICAS DE MEDICIÓN	15
10. REFERENCIAS.....	21
11. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	21
ANEXO A. GUÍA PARA LA PREPARACIÓN DE UN BAÑO DE HIELO	23
ANEXO B. DOCUMENTACIÓN DE LA TRAZABILIDAD METROLÓGICA.	24

1. PROPÓSITO DE LA GUÍA TÉCNICA

El propósito de esta guía es establecer los criterios y requisitos para evaluar la trazabilidad metrológica y la estimación de la incertidumbre de medida en la medición de temperatura de gases 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 metrológica y la estimación de incertidumbre de medida en las mediciones de temperatura de gases. 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, reevaluación o seguimiento.

Esta guía provee información útil sobre la forma de cumplir los requisitos de trazabilidad metrológica e incertidumbre de medida establecidos en la NMX-EC-17025-IMNC-2006 [1] cuando se aplican a la medición de temperatura de gases. En ningún caso debe interpretarse el contenido de esta Guía Técnica como sustituto de los requisitos mencionados.

2. ALCANCE DE LA GUÍA TÉCNICA

El alcance de esta guía es la evaluación de la trazabilidad metrológica y de la estimación de incertidumbre de medida en la medición de temperatura de gases por métodos de contacto. Los métodos de contacto son aquellos 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.

El intervalo de medición es de -10 °C a 200 °C con incertidumbres de medida de $\pm 0.5\text{ °C}$ a $\pm 5\text{ °C}$.

Esta guía aplica a todos los métodos de prueba en los cuales se mide temperatura de gases 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.

- Los métodos de medición de temperatura de gases por medios infrarrojos o a distancia, quedan fuera del alcance de esta guía.

3. MENSURANDO

El mensurando es la temperatura de un gas. 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 sumergiendo el termómetro dentro del

medio gaseoso a medir, permitiendo que se establezca térmicamente para obtener una mejor indicación de temperatura del medio. El termómetro puede estar protegido por una funda, normalmente metálica, para proporcionar soporte y protección al termómetro.

Notas:

1. El mensurando, la temperatura de gases, 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 del gas cuya temperatura se quiere determinar. Para ello, es importante la información sobre el tipo y condiciones del gas cuya temperatura está sujeta de medición.
2. Para la evaluación de la trazabilidad metrológica e incertidumbre de medida de la temperatura ambiental se debe usar la Guía Técnica sobre Trazabilidad Metrológica e Incertidumbre de Medida en la Medición de Temperatura Ambiental.
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 de gases usando sensores de temperatura de contacto.

Nota para el evaluador: Debe verificar que el mensurando está definido claramente (número de sensores, espacio físico donde colocar el sensor o sensores, condiciones de medición, etc.) en la norma de prueba o en algún otro documento.

4. MÉTODO Y SISTEMA DE MEDIDA

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

4.1. Método de Medida

El método de medida de temperatura de gases es el método de contacto en el cual el sensor del termómetro se coloca en contacto térmico con el gas cuya temperatura se quiere medir.

4.2. Documentos de consulta

Los documentos de consulta, en primer término, son las normas de las pruebas en las que se aplica la medición de temperatura de gases. Documentos adicionales de consulta son los manuales de los instrumentos de medición de temperatura y la bibliografía recomendada al final de esta guía.

4.3. Procedimiento de medición

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

Para asegurar la trazabilidad metrológica de las mediciones de temperatura de gases usando el método de medición de contacto térmico, es requisito haber definido claramente el mensurando, que es la temperatura del gas, observando adicionalmente, que en la definición del mensurando se debe indicar la porción del espacio físico sujeto a la medición así como la localización del sensor o sensores de temperatura en los puntos físicos que indiquen las normas para la realización de alguna prueba o ensayo.

Los resultados de la medición de temperatura de gases deben 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 de uso 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 metrológica 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 donde no se encuentra el sensor), el uso correcto de los sensores, etc.

4.4. Equipos e instrumentos, instalaciones

Los instrumentos de medición de temperatura de gases normalmente son los siguientes:

- Termómetro de líquido en vidrio.
- Termómetro con sensor de resistencia de platino e indicador/registrador de temperatura.
- Termómetro con sensor tipo termistor e indicador/registrador de temperatura (hasta 120°C).

- Termopar con indicador/registrador de temperatura.
- Termómetro con sensor bimetálico y con indicador analógico.

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 considerará al termómetro como un sistema compuesto por un sensor y un indicador de temperatura.

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

4.5. Competencia Técnica del Personal

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

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

1. Pérdidas por columna emergente y anclaje térmico.
2. Intercambios radiantes.
3. Disipación de energía cinética y calentamiento por fricción.
4. Calentamiento interno.
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-2006 en el inciso 5.2 (Competencia del Personal) [1].

5. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA Y CALIFICACIÓN DE EQUIPOS

5.1. Confirmación metrológica

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 incluyen la calibración y verificación, cualquier ajuste o reparación necesario y la subsiguiente re calibración, 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 de gases 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 METROLÓGICA DE LAS MEDICIONES

6.1 Definiciones

Trazabilidad metrológica: Propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida. [5]

NOTAS

- i. El resultado de una medida o el valor de un patrón están relacionadas con referencias determinadas.
- ii. Este concepto se expresa frecuentemente por el adjetivo trazable.
- iii. La cadena ininterrumpida de comparaciones es llamada cadena de trazabilidad metrológica.

Patrón de medida: Realización de la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre de medida asociada, tomada como referencia. [5]

Calibración: Operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres de medida asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación. [5]

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

6.2 Criterios para evaluar la trazabilidad metrológica en la medición de temperatura.

El laboratorio debe seguir los siguientes criterios críticos para proveer trazabilidad metrológica en la medición de temperatura de gases:

- 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 página web: www.ema.org.mx).

- b) La incertidumbre de medida de la calibración debe corresponder y ser menor que la incertidumbre de medida 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 metrológica 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 de medida deben documentarse.
- f) Los termómetros deben 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-2006 inciso 5.10.4. [1]
- h) Los controles de ajuste y calibración (cuando existan) deben estar sellados para evitar desajuste no intencionado.
- 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 se deben calibrar por separado y el laboratorio deberá realizar las correcciones y la estimación de incertidumbre de medida 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 de medida 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 de medida 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 metrológica, el laboratorio debe proporcionar la documentación de la trazabilidad metrológica que identifique los certificados e informes de calibración en cada paso de la cadena de trazabilidad metrológica. En el anexo B de esta guía se presenta un ejemplo de documentación de la trazabilidad metrológica de las mediciones.
Nota para el evaluador: Debe verificar que se especifique claramente la cadena de trazabilidad

En general, la trazabilidad metrológica de las mediciones de temperatura que realiza un laboratorio de ensayo, debe realizarse de acuerdo a lo establecido en la NMX-EC-17025-IMNC-2006 inciso 5.6.2.2 [1], así como observar lo indicado en las Políticas de ema referentes a la trazabilidad metrológica [9] e incertidumbre de medida [10].

7. INCERTIDUMBRE DE MEDIDA

Los resultados de medición de la temperatura de gases que se practican en pruebas o ensayos, deben acompañarse de una estimación de su incertidumbre de medida conforme a la norma NMX-CH-140-IMNC-2002 [8]. La incertidumbre de medida expandida debe calcularse conforme a los niveles de confianza (95 % aprox.) que establezcan las Políticas referentes a la trazabilidad metrológica [9] 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 de medida. 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].

7.1 Elementos de la incertidumbre de medida

Para estimar la incertidumbre de medida de la temperatura de gases 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 gas ya corregida
- T_I Es la lectura de temperatura que proporciona el termómetro.
- C Es la corrección (o correcciones) que se realizan en la medición.

7.2 Componentes de incertidumbre de medida de T_I

Los componentes de la incertidumbre de medida 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 de medida 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 medida 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 de medida propia de cada termómetro debe utilizarse para encontrar la incertidumbre de medida del promedio de los termómetros.

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

7.3 Componentes de incertidumbre de medida de C

Los componentes de la incertidumbre de medida de 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 en 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 de medida expandida U del informe de calibración y el factor de cobertura k .

Se debe agregar la incertidumbre de medida 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 radiación, auto calentamiento del sensor, pérdidas por columna emergente y por disipación de energía cinética, porque son difíciles de evaluar. Se recomienda, 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 de medida 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 de medida mostrados en la tabla 1.

TABLA 1. Contribuciones de incertidumbre de medida en la medición de temperatura de gases.

	Fuente	Distribución	Incertidumbre estándar	Grados de libertad	Coefficiente de sensibilidad
T_I	Repetibilidad	normal	s/\sqrt{n}	n-1	1
	Reproducibilidad	normal	S/\sqrt{N}	N-1	1
	Resolución	uniforme	$0.29 * \text{Resolución}$	50 aprox.	1
C	Corrección por la calibración	normal	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 de medida en la medición de temperatura este de acuerdo a la norma NMX-CH-140-IMNC-2002 [8] y que las contribuciones a la incertidumbre de medida estén relacionadas con las descritas en esta guía.

8. VALIDACIÓN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN

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 de gases en los aspectos que puedan influir sobre la trazabilidad metrológica y la incertidumbre de medida.

La validación de métodos debe realizarse de acuerdo a lo establecido en la norma mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2006 inciso 5.4.5. [1]

9. BUENAS PRÁCTICAS DE MEDICIÓN

El laboratorio debe considerar las buenas prácticas de medición que considere necesarias dependiendo de 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 de gases en una aplicación en particular.

La medición de temperatura de gases merece un tratamiento especial. Existen fenómenos de transferencia de calor entre el sensor y el gas, y entre el sensor y las paredes que lo rodean. Existen efectos que en estado estacionario pueden causar errores de medición en la temperatura de gases, entre ellos se encuentran [2, 11]:

1. Pérdidas por columna emergente y anclaje térmico.
2. Intercambios radiantes del sensor.
3. Disipación de energía cinética y calentamiento por fricción.
4. Calentamiento interno.
5. Tiempo de respuesta.

Con el propósito de minimizar la influencia de estos efectos en la medición de temperatura de gases, se deben observar las siguientes prácticas de medición.

9.1 Pérdidas por columna emergente del sensor y anclaje térmico

9.1.1. Pérdidas por columna emergente del sensor

En una medición ideal se supone que el termómetro está en contacto térmico únicamente con un material: el fluido 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 gas cuya temperatura se va a medir. 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.

9.1.2. 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 medio gaseoso.

9.2 Intercambios radiantes del sensor

La energía se puede transmitir por radiación a través de materiales transparentes. Esto puede causar errores en la medición de temperatura de gases. Para un termómetro que mide la temperatura de un gas, las paredes u otros objetos pueden perturbar la medición [2].

Por ejemplo, si el gas es transparente a la radiación infrarroja, el sensor debe instalarse en donde no exista una línea directa de vista hacia regiones que sean significativamente más calientes o frías que el gas cuya temperatura se va a medir.

Se pueden utilizar pantallas protectoras que se usan en algunos sensores para protegerlos de la radiación.

9.3 Calentamiento interno del sensor de temperatura

El calentamiento interno en el termómetro es un problema en sensores de resistencia eléctrica (por ejemplo Pt100 y termistores), que sucede por efecto Joule. Estos errores se pueden estimar y corregir 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 [2].

Una buena práctica es conocer estos índices para establecer niveles de corriente eléctrica que se puedan usar sin causar errores significativos.

9.4 Disipación de energía cinética y calentamiento por fricción

Cuando un cuerpo tal como un termómetro se sumerge en un gas en movimiento, una parte del gas se estanca debido al impacto del fluido con el termómetro lo que da lugar a un incremento de temperatura en la superficie y en la delgada capa adyacente de fluido comparada con la temperatura de bulbo del gas.

La disipación de energía cinética y los efectos del calentamiento por fricción son importantes para mediciones de temperatura de gases a alta velocidad. Para el nivel mínimo de incertidumbre declarado en el alcance, si la velocidad del gas a medir es mayor que 10 m/s se tienen que realizar correcciones por este efecto [11]. Pero es mejor que en algunas aplicaciones

en las que estos efectos son inevitables, se usen protecciones o paredes especiales que protejan al sensor de este calentamiento.

Para presiones de gas superiores al equivalente de 0.5 MPa (5 atmósferas) se deben tomar en cuenta factores de corrección [2].

9.5 Tiempo de respuesta del sensor de temperatura

Una de las funciones más importantes del termómetro es seguir los cambios de temperatura del proceso en una prueba, pero la salida de los sensores tiene un retraso con respecto al cambio de temperatura. Este retraso es dependiente de las propiedades termofísicas del sensor, del medio (gas) y de factores dinámicos.

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 fluido y el sensor. Los valores de la constante de tiempo, varían para cada tipo de sensor y para diferentes condiciones de fluido, pero esta constante está en el intervalo de fracciones de minuto a algunas unidades de minuto [13].

Se recomienda, que en la selección de un sensor de temperatura con tiempo de respuesta corto, se tome en 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.

9.6 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.

- Debe usarse el termómetro con el tipo de inmersión requerida y cuando esto no sea posible realizar las correcciones correspondientes.
- Para la lectura de la temperatura en el termómetro, debe evitarse en lo posible los errores de paralaje.
- La resolución, para propósitos prácticos, no debe ser menor que la cuarta parte de la división mínima del termómetro cuando la lectura se realiza a simple vista sin ayuda de ningún aditamento (lupas, telescopios, etc.).

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

Quando 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 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 del 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 paralelaje.
- Debe procurarse que el resistor, que es el elemento activo del sensor, esté herméticamente sellado para evitar que entre en contacto con agua o humedad.

9.8 Criterios cuando se utilizan termopares

Se presentan los criterios que deben seguirse cuando se utilizan termopares:

- Debe evitarse hacer dobleces fuertes 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 debidas Al fluido cuya temperatura se va a medir.
- Cuando no es posible seleccionar alambres que resistan la corrosión, estos deberán usarse con una protección antes de sumergirlos al gas cuya temperatura se va a medir.
- Debe tenerse en cuenta que la protección y el aislamiento de los termopares incrementan el tiempo de respuesta térmica
- 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, debe proporcionarse aislamiento o blindaje electromagnético.

- Se debe sumergir dentro del medio a medir correctamente el sensor para evitar fugas o ganancias de calor a través de la columna o alambres del termopar.
- La resolución del termómetro debe ser 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 del 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 deben basarse en la Escala Internacional de Temperatura de 1990.

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

10. REFERENCIAS

- [1] NMX-EC-17025-IMNC-2006, Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
- [2] Robert P. Benedict. Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurements. Interscience. July, 1984. ISBN:0471893838
- [3] CNM-MMM-PT-003, El Sistema Internacional de Unidades (SI). 2003. Publicación técnica del CENAM. <http://www.cenam.mx/publicaciones/gratuitas/>
- [4] NMX-CC-10012-IMNC-2004, Sistemas de gestión de mediciones - Requisitos para procesos de medición y equipos de medición.
- [5] NMX-Z-055-IMNC-2009, Vocabulario Internacional de Metrología - Conceptos fundamentales y generales, términos asociados (VIM); equivalente al documento ISO/IEC GUIDE 99:2007 y a la tercera edición del VIM.
- [6] NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida.
- [7] CNM-MED-PT-0004, Escala de Temperatura de 1990 (EIT-90). Publicación técnica del CENAM.
- [8] 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.
- [9] MP-CA006, Trazabilidad de las Mediciones - Política de ema vigente.
- [10] MP-CA005, Incertidumbre de Mediciones - Política de ema vigente.
- [11] Bentley, R. E. Thermocouples in Temperature Measurement. Monografía 5 del National Measurement Laboratorio (CSIRO) de Australia. 2003.
- [12] Holman, J. P. Métodos experimentales para ingenieros. McGraw-Hill. México, 1986
- [13] Creus, A. Instrumentación Industrial. 4ª edición. Alfaomega - Marcombo. España. 1992

11. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- I. Notas del Taller para las Guías Técnicas de trazabilidad e incertidumbre para Temperatura. Por Víctor Martínez Fuentes. Febrero de 2004. ema/CENAM.
- II. Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90) Publicación Técnica del CENAM. CNM-MED-PT-004.
- III. Termometría de Líquido en Capilares de Vidrio, 2a. Edición. Publicación Técnica del CENAM. CNM-MET-PT-008.
- IV. Termometría de Resistencia. Publicación Técnica del CENAM. CNM-MET-PT-009.
- V. Termopares. Publicación Técnica del CENAM. CNM-MET-PT-007
- VI. Guía BIPM / ISO para la expresión de la Incertidumbre en las Mediciones. Publicación técnica del CENAM. CNM-MED-PT-002.
- VII. Kerlin, T. W. y Shepard, R. L. Industrial Temperature Measurement ISA. 1982. E.U. A.

- VIII. Instrument Engineers' Handbook: Process Measurement and Analysis. 3ª Edición. Editor Béla G. Lipták. Chilton Book Company. Estados Unidos. 1995.
- IX. Temperature Measurement in Engineering. Volume 2. Omega Press.
- X. Manual on the Use of Thermocouples in Temperature Measurement. Manual 12. ISBN:0-8031-1466-4; 1993.

IDENTIFICACIÓN DE CAMBIOS

INCISO	PÁGINA	CAMBIO(S)
10	21	Se corrigió el código de la referencia [6] de NMX-008-SCFI-2002 a NOM-008-SCFI-2002
Observaciones:		

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 desionizada, 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. Documentación de la trazabilidad metrológica.



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