

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS CLÍNICOS DE RADIACIÓN EN CALIBRADORES DE PLACA PLANA

Bogotá, D.C.

2020-05-11

Versión No. 1



CONTENIDO

1. OBJETIVO.....	5
2. ALCANCE	5
3. ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS	5
4. DEFINICIONES	6
5. GENERALIDADES	8
6. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	9
6.1. Método de calibración	9
6.2 Equipos y materiales	9
6.3. Condiciones ambientales	10
6.4. Operaciones Previas	10
6.4.1. Resolución óptica del termómetro bajo calibración	10
6.5. Proceso de calibración	10
6.6. Estimación de la incertidumbre	11
6.5.1. Fuentes de incertidumbre	11
6.5.2. Incertidumbre expandida	13
6.6. Presentación de los resultados	14
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15

PRESENTACIÓN

Esta guía fue elaborada en el marco del proyecto ColombiaMide “Calidad para la competitividad – Reduciendo las brechas de calidad en Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Mipymes) en regiones de Colombia” (ColombiaMide). Este es un proyecto de cooperación entre la Unión Europea (UE) y el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (Mincomercio), orientado a mejorar las capacidades metrológicas y de calidad en Mipymes de las cadenas de valor del aguacate Hass y del Cacao y sus derivados. ColombiaMide es implementado por el Instituto Alemán de Metrología (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, PTB), con el apoyo del Instituto Nacional de Metrología de Colombia (INM) y el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) como beneficiarios. El objetivo principal del proyecto es el de mejorar las competencias técnicas y metrológicas de entidades públicas y privadas (Mipymes), con el propósito de incrementar el nivel de cumplimiento de normas y reglamentaciones técnicas asociadas al comercio sostenible

EQUIPO DE TRABAJO

Este documento fue elaborado en el espacio del Grupo Técnico por Magnitud de Temperatura de la Red Colombiana de Metrología. Para el desarrollo del documento se contó con la participación del Instituto Nacional de Metrología de Colombia - INM profesional Andrés Jhovanny Bohórquez Garzón, Sergio Andrés Carvajal Perdomo y Ciro Alberto Sánchez Morales, el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC y los laboratorios de calibración que han desarrollado la magnitud relacionada y que han participado en las reuniones del grupo técnico.

REVISIÓN

Mesa de Trabajo Técnico Científico de la Subdirección de Metrología Física.

1. OBJETIVO

Proporcionar lineamientos para la calibración de termómetros de radiación cuya aplicación es determinar la temperatura en la frente usando calibradores infrarrojos de placa plana.

2. ALCANCE

Esta guía aplica a los termómetros de radiación con rango espectral entre 8 μm y 14 μm , emisividad de 0.98, distancia al punto de medición menores a 20 cm y temperaturas entre 22 °C y 41 °C. Esta guía está diseñada para una incertidumbre mínima de 2.0 °C y se limita al uso de calibradores infrarrojos de placa plana

3. ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS

Tabla 1. Abreviaturas, siglas y símbolos

Abreviatura, sigla y símbolo	Significado
<i>T</i>	Temperatura
<i>U</i>	Incertidumbre expandida
<i>u</i>	Incertidumbre típica
<i>C</i>	Corrección
<i>k</i>	Factor de cobertura
<i>c</i>	Coefficiente de sensibilidad

Subíndice	Significado
<i>P</i>	Patrón
<i>IBC</i>	Instrumento cajo calibración
<i>Rep</i>	Repetibilidad
<i>Cal</i>	Calibración
<i>Res</i>	Resolución
<i>Der</i>	Deriva
<i>Refl</i>	Radiación reflejada
ϵ	Emisividad
<i>VA</i>	Variación por alineación
<i>VD</i>	Variación por distancia

4. DEFINICIONES

Para los propósitos de este documento se aplican las siguientes definiciones tomadas de la referencia [1], además de otras específicas.

EXACTITUD DE MEDIDA. Proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando (VIM 2.13) [1].

El concepto “exactitud de medida” no es una magnitud y no se expresa numéricamente. Se dice que una medición es más exacta cuanto más pequeño es el error de medida.

ERROR DE MEDIDA. Diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia (VIM 2.16) [1].

INCERTIDUMBRE DE MEDIDA. Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza (VIM 2.26) [1].

INTERVALO DE COBERTURA. Intervalo que contiene el conjunto de valores verdaderos de un mensurando con una probabilidad determinada, basada en la información disponible (VIM 2.36) [1].

PROBABILIDAD DE COBERTURA. Probabilidad de que el conjunto de los valores verdaderos de un mensurando esté contenido en un intervalo de cobertura especificado (VIM 2.37) [1].

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 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 (VIM 2.39) [1].

TRAZABILIDAD METROLÓGICA. Propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida (VIM 2.41) [1].

NOTA: La trazabilidad debe indicarse al sistema internacional de unidades y no a una institución particular como un instituto nacional de metrología.

SENSOR. Elemento de un sistema de medición directamente afectado por la acción del fenómeno, cuerpo o sustancia portador de la magnitud a medir (VIM 3.8) [1].

RESOLUCIÓN DE UN DISPOSITIVO VISUALIZADOR. Mínima diferencia entre indicaciones visualizadas, que puede percibirse de forma significativa (VIM 4.15) [1].

NOTA: Para un dispositivo visualizador digital, corresponde al mínimo cambio de la cifra menos significativa.

INCERTIDUMBRE INSTRUMENTAL. Componente de la incertidumbre de medida que procede del instrumento o sistema de medida utilizado (VIM 4.24) [1].

PATRÓN DE MEDICIÓN. Realización de la definición de una magnitud dada con un valor determinado y una incertidumbre de medición asociada, tomada como referencia (VIM 5.1) [1].

TERMÓMETRO: Conjunto indicador más sensor o termómetro digital. Instrumento de medición dedicado a mediciones de temperatura con una indicación digital en unidades de temperatura: °C, °F, K. Constituido por un indicador y un sensor.

LONGITUD DE ONDA. Es el período espacial de una onda – la distancia a la cual se repite la forma de la onda. Se nota con el símbolo λ , su unidad es $[\lambda] = m$.

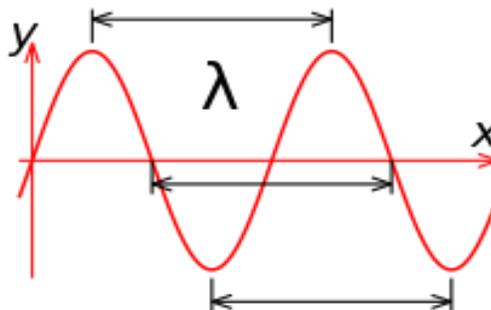


Figura 1. Amplitud de onda

RADIANCIA. Es la cantidad de energía por unidad de tiempo en una dada dirección, por unidad de ángulo sólido, por unidad de área de la fuente, correspondiente a la dirección de observación. Se la denota mediante el símbolo L , $[L] = W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$. La radiancia espectral es la radiancia por unidad de longitud de onda, se la nota como $L(\lambda)$, sus unidades son $[L(\lambda)] = W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-3}$.

CUERPO NEGRO. Un cuerpo que no refleja radiación. En equilibrio térmico un cuerpo negro absorbe e irradia con la misma intensidad. Un cuerpo negro emite radiación de acuerdo a la ley de radiación de Planck.

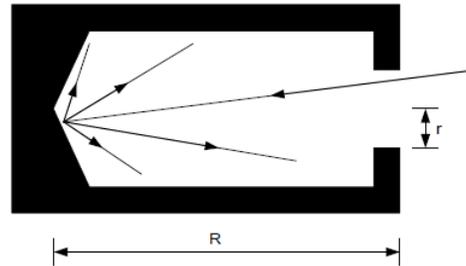


Figura 2. Cavidad que actúa como cuerpo negro

CUERPO GRIS. Un cuerpo en el cual la emisividad espectral no depende de la longitud de onda (4).

CUERPO DIFUSO. Un cuerpo en el cual la emisividad direccional no depende de la dirección (4).

SUPERFICIE GRIS-DIFUSA. Superficie que absorbe una fracción fija de radiación incidente desde alguna dirección a alguna longitud de onda y emite radiación que es una fracción fija de la radiación de un cuerpo negro para todas las direcciones y todas las longitudes de onda (4).

EMISIVIDAD. Relación entre la radiancia emitida por una superficie y la emitida por un cuerpo negro a igual temperatura. Se utiliza el término emitancia para indicar la emisividad de una muestra o un objeto.

TERMÓMETRO DE RADIACIÓN. Instrumento que mide la temperatura de la superficie de un cuerpo mediante la detección de la radiación térmica emitida por aquel y el procesamiento de la señal generada.

LONGITUD DE ONDA DE OPERACIÓN. Se refiere a la longitud de onda característica para la cual un termómetro de radiación monocromática es sensible.

RELACIÓN D:S. Relación entre el diámetro del área medida (S) y la distancia al objeto a medir (D)

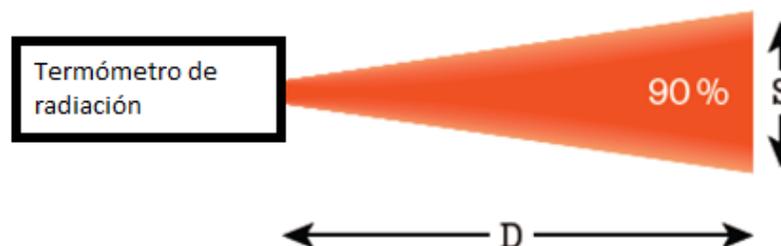


Figura 3. Relación D:S de un termómetro IR

5. GENERALIDADES

Un termómetro de radiación es un medidor de radiancia calibrado para indicar la temperatura de un cuerpo negro [2]. Si el sistema de medición del termómetro se ajusta a una emisividad cercana a la de la piel (entre 0.97 y 0.99 [3],[4],[5]) puede usarse para medir la temperatura superficial del cuerpo.

Infortunadamente la temperatura superficial no puede asociarse independientemente a la temperatura corporal, ya que esta depende entre otras variables de las condiciones ambientales [6]. Desde el punto de vista de la medición también se presentan fuertes limitaciones relacionadas con la incertidumbre que se puede obtener en laboratorio [7] y con el uso en pacientes [8]. Estos aspectos han derivado en que no se recomienda el uso de termómetros de frente o cámaras termográficas para diagnóstico de fiebre¹.

Teniendo en cuenta estas limitaciones es importante que las incertidumbres declaradas en este tipo de termómetros reflejen su desempeño adecuadamente. En esta guía se describen los elementos de incertidumbre mínimos que se deben considerar cuando se calibran termómetros de radiación para la frente usando como patrones calibradores infrarrojos de placa plana. Para el uso de sistemas con cavidad puede consultar otras referencias [9], [10], [11], [12].

6. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

6.1. Método de calibración

La calibración se realiza por el método de comparación, midiendo la radiación térmica emitida por el patrón a una distancia determinada. El patrón es un calibrador infrarrojo de placa plana calibrado radiométricamente para una banda espectral de 8 μm a 14 μm y una emisividad de 0.98.

6.2 Equipos y materiales

Para llevar a cabo la calibración de un termómetro de radiación, es necesario contar con el siguiente equipamiento:

- Calibrador infrarrojo de placa plana
- Regla métrica metálica.
- Termohigrómetro

Es conveniente que todos los equipos involucrados en el proceso de calibración tengan trazabilidad al SI.

¹ Buenas prácticas de medición en el uso de termómetros de radiación para la determinación de la temperatura corporal - INM

6.3. Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales del laboratorio deben cumplir con las especificaciones de operación dadas en los manuales de los equipos empleados.

6.4. Operaciones Previas

Aclimatar los equipos bajo calibración y patrones por lo menos 8 horas [13]. Esto permite suponer que la temperatura del detector es igual a la temperatura ambiente. Se deben seguir las instrucciones del fabricante para limpiar los lentes si es necesario.

6.4.1. Resolución óptica del termómetro bajo calibración

A partir de la resolución óptica del termómetro bajo calibración, se determinan dos distancias de calibración, tales que el spot observado por el termómetro bajo calibración sea menor que el área útil de la placa del calibrador infrarrojo.

6.5. Proceso de calibración

El mensurando en la calibración es la corrección del termómetro bajo calibración, representada por:

$$C = T_P - T_{IBC} \quad (1)$$

Donde

C : Corrección.

T_P : Temperatura del patrón.

T_{IBC} : Temperatura del termómetro bajo calibración.

Es recomendable seguir el siguiente:

- Limpiar la superficie de los lentes de acuerdo a las especificaciones del fabricante.
- Ajustar la emisividad del termómetro infrarrojo a la emisividad de la fuente a 0.98.
- La calibración es realizada desde la temperatura baja hasta el alta.
- Ajustar la primera distancia desde la fuente al termómetro (Punto O Figura 4). Esta puede ser la distancia a la cual la corrección del termómetro es cero o la recomendación del fabricante. Se debe asegurar que el objetivo está dentro de la zona de medición del calibrador. La distancia no debe ser mayor a 20 cm.

- Alinear el termómetro de calibración en el centro de la fuente.
- Registrar los datos del patrón y del IBC.
- Alinear el termómetro para formar un ángulo de $+15^\circ$ desde la fuente (Punto A Figura 4) y registrar los datos para el IBC.
- Alinear el termómetro para formar un ángulo de -15° desde la fuente (Punto B Figura 4) y registrar los datos para el IBC.
- Alinear el termómetro a una distancia 10 % más cerca de la distancia entre el punto O y la fuente (Punto C Figura 4) y registrar los datos para el IBC.
- Alinear el termómetro a una distancia 10 % más lejos de la distancia entre el punto O y la fuente (Punto D Figura 4) y registrar los datos para el IBC.
- Alinear el termómetro a la segunda distancia (Puede ser el doble o la mitad de la primera) y repetir los últimos 5 pasos.

Se deben registrar las indicaciones de temperatura del patrón y el equipo bajo calibración, las condiciones ambientales, la emisividad del patrón y el termómetro bajo calibración y las distancias a las cuales se realizaron las mediciones.

6.6. Estimación de la incertidumbre

La incertidumbre de medición se estima de acuerdo con el documento JCGM 100:2008 [14] aplicada al modelo de medición presentado en la ecuación (1).

6.5.1. Fuentes de incertidumbre

Repetibilidad de la fuente

Corresponde a la incertidumbre debida a la variación en las indicaciones del patrón. Se calcula a partir de la desviación estándar de un número de repeticiones n . Se recomienda usar un mínimo de 9.

Calibración de la fuente

Corresponde a la incertidumbre debida a la calibración del patrón. Se toma del certificado de calibración.

Deriva de la fuente

Corresponde a la incertidumbre debida a la variación en la indicación del patrón a lo largo del tiempo. Se calcula a partir de la variación temporal en el mensurando de acuerdo al histórico de calibraciones.

Radiación reflejada

Corresponde a la incertidumbre debida a la influencia de la temperatura ambiente. Se toma de la variación de temperatura en el área de medición.

Emisividad

Corresponde a la incertidumbre debida a la emisividad en el patrón. Se puede obtener de las especificaciones del fabricante.

Repetibilidad del IBC

Corresponde a la incertidumbre debida a la variación en las indicaciones del IBC. Se calcula a partir de la desviación estándar de un número de repeticiones n . Se recomienda usar un mínimo de 9.

Resolución del IBC

Corresponde a la incertidumbre debida a la resolución del IBC. Se calcula como la resolución del IBC dividido en 2.

Variación de distancia

Corresponde a la incertidumbre debida a las diferencias en la indicación del IBC con respecto a la distancia entre el IBC y el patrón. Se calcula alejando y acercando 10% de la distancia de medición el termómetro al patrón (puntos C y D de la Figura 4), se toma el mayor cambio en temperatura de ambas posiciones respecto a la medición a la distancia inicial de medición.

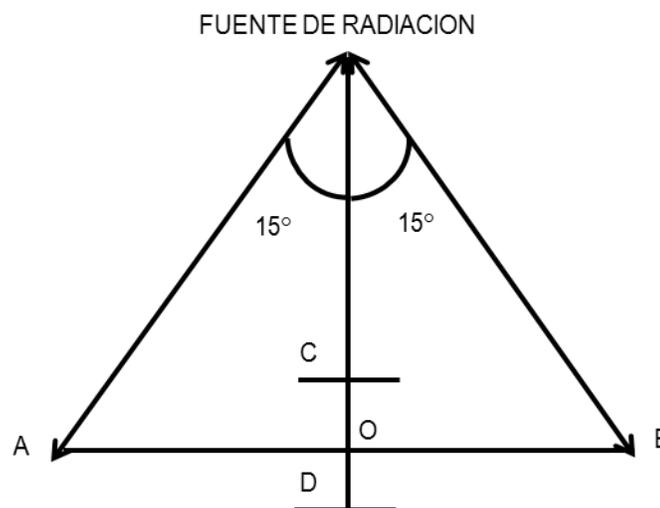


Figura 4. Determinación de incertidumbre por variación de distancia y alineación

Alineación

Corresponde a la incertidumbre debida a las diferencias en la indicación del IBC con respecto a la alineación entre el IBC y el patrón. Se calcula alineando el termómetro 15 ° en sentido horario y anti-horario desde la alineación central perpendicular (puntos A y B de la Figura 4) se toma el mayor cambio en temperatura de ambas alineaciones respecto a la orientación inicial.

6.5.2. Incertidumbre expandida

La incertidumbre combinada de medición para el sistema patrón está dada por:

$$u^2(C) = u^2(\delta T_{P, Rep}) + u^2(\delta T_{P, Cal}) + u^2(\delta T_{P, Der}) + C_{Ref}^2 u^2(\delta T_{P, Ref}) + C_{\epsilon}^2 u^2(\delta T_{P, \epsilon}) + u^2(\delta T_{IBC, Rep}) + u^2(\delta T_{IBC, Res}) + u^2(\delta T_{IBC, VD}) + u^2(\delta T_{IBC, VA}) \quad (2)$$

Los términos de la ecuación (2) se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Presupuesto de incertidumbre de medición para el sistema patrón

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Tipo	Distribución	Incertidumbre	Factor	Coefficiente de sensibilidad
Repetibilidad de la fuente	$\delta T_{P, Rep}$	A	Normal	Desviación estándar de las indicaciones de la fuente	\sqrt{n}	1
Incertidumbre del calibración de la fuente	$\delta T_{P, Cal}$	B	Normal	Incertidumbre estándar del certificado	Factor de cobertura	1
Deriva fuente	$\delta T_{P, Der}$	B	Rectangular	Máxima variación en el histórico de certificados	$\sqrt{3}$	1
Radiación reflejada	$\delta T_{P, Refl}$	B	Rectangular	Variación de temperatura en el área de medición	$\sqrt{3}$	0.05*
Emisividad	$\delta T_{P, \epsilon}$	B	Rectangular	Incertidumbre estándar de la emisividad de la placa	$\sqrt{3}$	26 °C*
Repetibilidad del IBC	$\delta T_{IBC, Rep}$	A	Normal	Desviación estándar de las indicaciones del IBC	\sqrt{n}	-1

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Tipo	Distribución	Incertidumbre	Factor	Coefficiente de sensibilidad
Resolución del IBC	$\delta T_{IBC, Res}$	B	Rectangular	Resolución sobre 2	$\sqrt{3}$	-1
Variación de distancia	$\delta T_{IBC, VD}$	A	Rectangular	Máxima diferencia entre los valores de la prueba de variación de distancia	$\sqrt{3}$	-1
Alineación	$\delta T_{IBC, VA}$	A	Rectangular	Máxima diferencia entre los valores de la prueba de alineación	$\sqrt{3}$	-1

* Estos valores son válidos solo para el alcance de esta guía

La incertidumbre expandida puede estimarse como:

$$U = \kappa \cdot u(C) \quad (3)$$

Donde κ es el factor de cobertura y en general puede asumirse como 2 para una probabilidad de cobertura del 95%². Si la contribución de las incertidumbres tipo A suma más del 30% es necesario estimar κ considerando los grados efectivos de libertad de acuerdo al Anexo G del documento JCGM 100:2008 [14].

6.6. Presentación de los resultados

El certificado o informe de calibración debe cumplir con los requisitos indicados en ISO/IEC 17025. Los resultados se deben presentar de manera exacta, clara, inequívoca y objetiva. Se debe incluir toda información necesaria para la interpretación de los resultados de medición y una descripción del método utilizado [15].

El certificado o informe de calibración adicionalmente debe contener:

Descripción del termómetro

² Teniendo en cuenta el tipo y magnitud de las contribuciones de incertidumbre habituales para el alcance considerando en esta guía.

Ejemplo: Termómetro infrarrojo. Banda espectral: 8 μm to 14 μm . Emisividad: 0.98. Resolución óptica: 2:1. Resolución del indicador: 0.1 $^{\circ}\text{C}$.

Descripción del método de calibración

Ejemplo: La calibración se realizó por medición directa de las temperaturas generadas por el patrón. La calibración se realizó radiométricamente para una banda espectral de 8 μm a 14 μm para el patrón, con una emisividad de 0.98. El diámetro del objetivo asociado para el termómetro fue de 5 mm a una distancia del termómetro al patrón de 10 mm y de 10 mm a una distancia del termómetro al patrón de 20 mm.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] JCGM 200:2012, "Vocabulario Internacional de Metrología - Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM)," vol. 3ª Edición. 2012.
- [2] D. P. DeWitt and G. D. Nutter, *Theory and Practice of Radiation Thermometry*. Wiley, 1988.
- [3] F. J. Sanchez-Marin, S. Calixto-Carrera, and C. Villaseñor-Mora, "Novel approach to assess the emissivity of the human skin," *J. Biomed. Opt.*, vol. 14, no. 2, p. 24006, 2009.
- [4] C. A. James, A. J. Richardson, P. W. Watt, and N. S. Maxwell, "Reliability and validity of skin temperature measurement by telemetry thermistors and a thermal camera during exercise in the heat," *J. Therm. Biol.*, vol. 45, pp. 141–149, 2014.
- [5] T. Togawa, "Non-contact skin emissivity: measurement from reflectance using step change in ambient radiation temperature," *Clin. Phys. Physiol. Meas.*, vol. 10, no. 1, p. 39, 1989.
- [6] ASTM E1965 - 98, "Standard specification for Infrared Thermometers for Intermittent Determination of Patient Temperature," *ASTM Int. West Conshohocken, PA, 2016*, 2016.
- [7] T. Fletcher, A. Whittam, R. Simpson, and G. Machin, "Comparison of non-contact infrared skin thermometers," *J. Med. Eng. Technol.*, vol. 42, no. 2, pp. 65–71, 2018.
- [8] C.-C. Liu, R.-E. Chang, and W.-C. Chang, "Limitations of forehead infrared body temperature detection for fever screening for severe acute respiratory syndrome," *Infect. Control Hosp. Epidemiol.*, vol. 25, no. 12, pp. 1109–1111, 2004.
- [9] INM, ONAC, and RCM, "Guía para la Calibración de Termómetros de Radiación - INM/GTM-T/02." Bogotá, 2019.
- [10] ASTM E2847-14, "Standard Test Method for Calibration and Accuracy Verification of Wideband Infrared Thermometers," *ASTM Int. West Conshohocken, PA, 2014*, 2015, doi: 10.1520/E2847.
- [11] CENAM –ema, "Guía técnica sobre Trazabilidad e Incertidumbre en la calibración de Termómetros de Radiación." Queretano, 2018.

- [12] CEM, “Procedimiento TH- 002 para la Calibración de Termómetros de Radiación de Infrarrojo.” Madrid, 2008.
- [13] ASTM E1256 – 17, “Standard Test Methods for Radiation Thermometers (Single Waveband Type),” *ASTM Int. West Conshohocken, PA, 2014, 2017*, doi: 10.1520/E1256-15.3.1.1.
- [14] JCGM 100:2008, “Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement: GUM 1995 with minor corrections.” BIPM, 2008.
- [15] ISO/IEC 17025:2017, “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.” 2017.

Instituto Nacional de Metrología de Colombia - INM
Subdirección de Metrología Física, Red Colombiana de Metrología.
Av. Cra 50 No 26-55 Int. 2 CAN - Bogotá, D.C. Colombia
Conmutador: (571) 254 22 22
E-mail: contacto@inm.gov.co
www.inm.gov.co
www.rcm.gov.co

Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC
Av. Calle 26 # 57 – 83, Torre 8, Oficina 1001 - Bogotá, D.C. Colombia
PBX: +571 742 7592
E-mail: onac@onac.org.co
www.onac.org.co