

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DIGITALES CON SENSOR TIPO PRT, TERMISTOR Y TERMOPAR EN BAÑOS LÍQUIDOS Y HORNOS DE BLOQUE METÁLICO

INM/GTM-T/01

Bogotá, D.C.
2019-12-05
Versión No. 1

1. CONTENIDO

1.	OBJETIVO	5
2.	ALCANCE	5
3.	ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS.....	5
4.	DEFINICIONES	6
5.	GENERALIDADES	8
5.1.	Buen funcionamiento del IBC	8
5.1.1.	Termómetro con PRT	9
5.1.2.	Termómetro con termopar	9
5.1.2.1.	Inhomogeneidad de los alambres de termopar	10
6.	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	10
6.1.	Método de calibración	10
6.2.	Equipamiento y materiales	10
6.2.1.	Medios de comparación.....	11
6.3.	Condiciones ambientales.....	11
6.4.	Proceso de calibración	11
6.4.1.	Secuencia de calibración	11
6.5.	Evaluación de la incertidumbre de medición.....	12
6.5.1.	Mensurando.....	12
6.5.1.1.	Mensurando para IBC: termómetro digital con sensor tipo PRT y medio de comparación: baño líquido	13
6.5.1.2.	Mensurando para IBC: termómetro digital con sensor tipo PRT y medio de comparación: horno de bloque metálico.....	15
6.5.1.3.	Mensurando para IBC: termómetro digital con sensor tipo termistor y medio de comparación: baño líquido	18
6.5.1.4.	Mensurando para IBC: termómetro digital con sensor tipo termistor y medio de comparación: horno de bloque metálico.....	20
6.5.1.5.	Mensurando para IBC: termómetro digital con sensor tipo termopar y medio de comparación: baño líquido	23
6.5.1.6.	Mensurando para IBC: termómetro digital con sensor tipo termopar y medio de comparación: horno de bloque metálico.....	25
6.5.2.	Fuentes de incertidumbre de medición	28
6.5.3.	Incertidumbre expandida de medición.....	29
6.6.	Presentación de los resultados.....	29
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
8.	ANEXOS.....	32

PRESENTACIÓN

Esta guía es el resultado del trabajo conjunto entre el Instituto Nacional de Metrología de Colombia - INM, miembros de la Red Colombiana de Metrología - RCM (Grupos de Trabajo por Magnitud) y el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia – ONAC con el fin armonizar métodos de calibración y propender por la uniformidad y coherencia en criterios técnicos mínimos a emplear por los laboratorios de calibración y usuarios de estos métodos. Esta guía presenta metodologías reconocidas internacionalmente y se ha elaborado recogiendo el conocimiento y la experiencia de los miembros del equipo de trabajo, de tal forma que pueda ser usada como base para la elaboración de procedimientos e instructivos prácticos por parte de los laboratorios de calibración y ensayo.

En este sentido lo consignado en esta guía se constituye en un referente para:

- a. El Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC.
- b. Los laboratorios de calibración y ensayo que involucren los métodos o criterios técnicos consignados en esta guía.
- c. Los laboratorios internos de las organizaciones o fabricantes que requieran el uso de estos métodos de calibración o criterios técnicos.

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: 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 digitales con PRT, termistor y termopar por el método de comparación en baños líquidos y hornos de bloque metálico con el fin de mejorar la compatibilidad de los resultados de calibración obtenidos por los laboratorios que calibran este tipo de instrumentos.

2. ALCANCE

Esta guía aplica a los termómetros digitales con PRT, termistor y termopar con indicación en unidades de temperatura ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$, K) que se calibran en un medio de comparación. El intervalo de medición de temperatura varía según el medio de comparación empleado: baño líquido u horno de bloque metálico.

La calibración de los termómetros se realiza con termómetros patrones calibrados, con referencia a la Escala Internacional de Temperatura de 1990, ITS-90 (1).

3. ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS

Tabla 1. Abreviaturas, siglas y símbolos

Abreviatura, sigla y símbolo	Significado
<i>ITS-90</i>	Escala Internacional de Temperatura de 1990
$^{\circ}\text{C}$	Grado Celsius
<i>K</i>	kelvin
<i>C</i>	Corrección
<i>t</i>	Temperatura
<i>U</i>	Incertidumbre de medida expandida
<i>IBC</i>	Instrumento bajo calibración
<i>cert</i>	Certificado de calibración
<i>t_p</i>	Termómetro patrón
<i>res</i>	Resolución
<i>rep</i>	Repetibilidad
<i>der</i>	Deriva
<i>int</i>	Interpolación
<i>Est</i>	Estabilidad
<i>Unf</i>	Uniformidad
<i>Unf-r</i>	Uniformidad radial

Abreviatura, sigla y símbolo	Significado
<i>Unf-ax</i>	Uniformidad axial
<i>car</i>	Carga
<i>t_x</i>	Termómetro bajo calibración
<i>vc</i>	Variación en cero
<i>his</i>	Histéresis
<i>inhom</i>	Inhomogeneidad

4. DEFINICIONES

Para los propósitos de este documento se aplican las siguientes definiciones tomadas de los documentos pertinentes (2), (3), además de otras específicas.

EXACTITUD DE MEDIDA. Proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando (VIM 2.13) (2).

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) (2).

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) (2).

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) (2).

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) (2).

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) (2).

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) (2).

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) (2).

RESOLUCIÓN DE UN DISPOSITIVO VISUALIZADOR. Mínima diferencia entre indicaciones visualizadas, que puede percibirse de forma significativa (VIM 4.15) (2).

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) (2).

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) (2).

HISTÉRESIS. Propiedad de un instrumento de medida cuya respuesta a una señal de entrada determinada, depende de la secuencia de las señales de entrada precedentes (4).

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. Un termómetro puede constituir un patrón de trabajo o un patrón de verificación por medio del cual se garantice la validez de los resultados de medición

SPRT. Termómetro patrón de resistencia de platino utilizado para interpolar valores entre puntos fijos de la ITS-90 desde - 200 °C hasta 961 °C.

PRT. Termómetro de resistencia de platino.

PRT Pt25. Termómetro de resistencia de platino que tiene una resistencia de 25 Ω a 0 °C.

PRT Pt100. Termómetro de resistencia de platino que tiene una resistencia de 100 Ω a 0 °C.

PRT Pt500. Termómetro de resistencia de platino que tiene una resistencia de 500 Ω a 0 °C.

PRT Pt1000. Termómetro de resistencia de platino que tiene una resistencia de 1000 Ω a 0 °C.

TERMISTOR. Sensor construido con un material semiconductor cuya resistencia varía con la temperatura.

TERMOPAR. Par de conductores de distinta composición unidos en uno de los extremos, con objeto de formar un sensor para la medida de temperatura por efecto termoeléctrico.

Fem. Fuerza electromotriz generada por la unión de dos materiales conductores diferentes, en presencia de un gradiente de temperatura.

INHOMOGENEIDAD DE UN ALAMBRE DE TERMOPAR. Cambios en la composición y condiciones de los materiales, causados por contaminación, tensiones mecánicas o choques térmicos, que modifican la fem. Estos cambios sólo influyen si están situados en una región con gradientes de temperatura (4), (5). Las propiedades termoeléctricas de los alambres de un termopar no deben considerarse homogéneas a lo largo de su longitud (6).

MEDIO ISOTERMO. Dispositivo capaz de producir de forma controlada diferentes temperaturas en un volumen o zona de medición delimitado espacialmente. La presente guía abarca mediciones en medios tales como baños líquidos u hornos de bloque metálico.

5. GENERALIDADES

La aplicación rigurosa de esta guía debe proporcionar resultados de medición trazables al Sistema Internacional de Unidades, entendiendo que la actividad de calibración permite establecer una relación entre los valores de los patrones y las indicaciones del IBC con sus respectivas incertidumbres, de forma tal que el IBC pueda producir resultados de medición válidos a partir de sus indicaciones.

Se recomienda la participación en ensayos de aptitud / comparaciones interlaboratorio para demostrar la competencia del laboratorio de calibración que implementa esta guía.

La calibración en este guía se refiere a la comparación entre la temperatura del medio de comparación, medida por un termómetro patrón y la temperatura medida por un IBC (termómetro digital con sensor PRT, termistor o termopar)

5.1. Buen funcionamiento del IBC

Antes de iniciar la calibración es pertinente verificar el buen funcionamiento del IBC. Una forma de realizar esta verificación consiste en encenderlo y corroborar que mida la temperatura ambiente. Adicionalmente se puede revisar que contenga baterías apropiadas y estas funcionen correctamente, de igual manera se puede verificar que no se presenten daños en la pantalla indicadora del equipo o en los cables conectores.

En adición es recomendable corroborar el estado del IBC bajo los lineamientos citados en las secciones Termómetro con PRT y Termómetro con termopar

5.1.1. Termómetro con PRT

Se mide la resistencia eléctrica entre el blindaje y los terminales de conexión; esta debe ser como mínimo 1 MΩ, en caso contrario, indicaría que hay contacto eléctrico entre el sensor y la cubierta del termómetro lo que no hace apto el termómetro para calibrar. A continuación, se debe corroborar en el manual del fabricante del equipo que éste funcione y sea apto para su uso en el intervalo de temperaturas solicitado por el cliente; en caso de que el laboratorio proveedor no consiga información sobre el manual del equipo, se debe solicitar al cliente la información sobre su intervalo de funcionamiento para garantizar que se puedan llevar a cabo los procesos de recocido descritos a continuación.

Una vez verificado lo anterior, se realiza una medición inicial en el punto de hielo (7) y un recocido en el medio comparador, llevando el sensor a la máxima temperatura del intervalo de medición de trabajo por un intervalo de tiempo entre una hora y tres horas. Se deja enfriar lentamente dentro del medio hasta temperatura ambiente. Luego, se mide de nuevo en el punto de hielo. La diferencia entre ambas mediciones debe ser menor o igual a 0.05 °C. Si no se cumple este criterio, se debe recocer hasta dos veces más de nuevo a la misma temperatura y aumentando el tiempo de recocido hasta seis horas, igual que antes, en cada recocido se debe dejar enfriar al termómetro lentamente dentro del medio comparador hasta temperatura ambiente y se mide de nuevo en el punto de hielo. Si después del tercer recocido no se cumple el criterio, se debe concertar con el cliente si se procede o no con la calibración dado que el termómetro presenta inconvenientes de repetibilidad que pueden no hacerlo apto para funcionar o bien sea como patrón, o para uso como equipo de trabajo (8). En caso de que se proceda con la calibración, es recomendable dejar evidencia del incumplimiento de la prueba en el certificado de calibración.

5.1.2. Termómetro con termopar

La inspección inicial depende de la construcción y el uso del termopar. Signos de defectos mecánicos, contaminación, etc. deben registrarse e informar al cliente porque la incertidumbre de medición de la calibración puede verse afectada. Toda presencia de humedad en el interior del termopar debe investigarse porque esto puede reducir la resistencia de aislamiento o conducir a la generación de fem por acción electrolítica. La medida de la resistencia de aislamiento es un método conveniente de identificar la presencia de humedad dentro del termopar.

Cuando sea posible un termopar debe calibrarse a la misma inmersión de uso normal. Sin embargo, los termopares deben tener una inmersión suficiente para compensar las pérdidas o ganancias de calor a altas y bajas temperaturas, respectivamente; una profundidad de inmersión adecuada se demuestra si al retirar el termómetro 1 cm o 2 cm el cambio en la indicación es pequeño comparado

con la incertidumbre de medición requerida en la calibración (5), idealmente se espera tener una variación inferior al 20 % de la incertidumbre requerida.

5.1.2.1. Inhomogeneidad de los alambres de termopar

En la mayoría de los casos la inhomogeneidad de los alambres de termopar es la principal fuente de incertidumbre de medición, por tanto, es necesario medir la inhomogeneidad de los alambres de termopar. Una posibilidad consiste en mover la junta de medición en un ambiente con una distribución uniforme de temperatura, (por ejemplo, un baño líquido). En este caso, los alambres que componen el termopar se encontrarán progresivamente en la región con el mayor gradiente de temperatura (la superficie del baño), lo cual resultará en cambios en la fem medida si el termopar no es homogéneo en la posición de dicho gradiente térmico.

Se recomienda, tomar como fuente de incertidumbre de medición con una distribución rectangular debida a la inhomogeneidad del termopar, con un intervalo total equivalente a la mayor diferencia de la indicación del termómetro. Si no es posible realizar mediciones individuales de la homogeneidad, se recomienda tomar como fuente de incertidumbre de medición al menos el 20 % del valor de la tolerancia Clase 2 del correspondiente tipo de termopar según la norma IEC 60584-1:2013. Thermocouples - Part 1: EMF specifications and tolerances (5), (9), (10).

6. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

6.1. Método de calibración

La calibración se realiza por el método de comparación, usando como medio de comparación un baño líquido o un horno de bloque metálico según sea el caso.

6.2. Equipamiento y materiales

Para realizar la calibración de termómetros digitales con PRT, termistor y termopar objeto de esta guía, el laboratorio debería disponer de:

- ✓ Medio de comparación: baño líquido u horno de bloque metálico según sea el caso de aplicación.
- ✓ Termómetros patrones: termómetros digitales con PRT Pt25, PRT Pt100 o termopar. Idealmente el termómetro patrón debería presentar una mejor resolución que el IBC, sin embargo, en algunas ocasiones, esto no es posible. Para los propósitos de esta guía, un termómetro patrón constituye un patrón con trazabilidad al SI, cuya incertidumbre de medición sea menor a la que reporta el laboratorio de calibración.

- ✓ Computador personal¹.
- ✓ Vaso Dewar.
- ✓ Desionizador de agua²
- ✓ Molino de hielo.
- ✓ Termohigrómetro.

Es recomendable emplear dos termómetros patrones al momento de realizar la calibración con el propósito de detectar alguna desviación de algún patrón. En general se puede escoger uno de los termómetros como patrón de referencia, el cual se empleará para determinar la temperatura del medio y el otro se usa como patrón de verificación, cuyo propósito es detectar posibles desviaciones en las propiedades del medio o de los patrones mismos, al igual que verificar que se cumplan las condiciones de uniformidad espacial en tal medio.

6.2.1. Medios de comparación

Los medios de comparación deben estar previamente caracterizados con el fin de conocer sus propiedades de estabilidad y uniformidad (11), (12).

6.3. Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales del laboratorio deben cumplir con las especificaciones de operación dadas en los manuales de los equipos empleados, tanto para los termómetros patrones, como para los medios de comparación.

6.4. Proceso de calibración

6.4.1. Secuencia de calibración

El proceso de calibración sigue la secuencia descrita a continuación

- Realizar una medición en el punto de hielo³ o en un medio isoterma a 0 °C. Si el rango de funcionamiento del IBC no abarca esta temperatura, se puede realizar una medición en el punto más bajo de temperatura solicitado por el cliente.
- Al introducir los termómetros en los medios de comparación, incluyendo el patrón de verificación; la profundidad de inmersión del termómetro bajo calibración debe ser igual o mayor a la profundidad mínima de inmersión determinada por el fabricante o la definida por el usuario. En caso de no tener información de tal profundidad, puede realizarse un perfil de inmersión para determinar la profundidad después de la cual no se produce un cambio pronunciado en las lecturas de temperatura del IBC. Todos los

¹ Es recomendable tener el equipo, sin embargo, no es crítico en la toma de datos, pero sí en el procesamiento de los mismos.

² El laboratorio puede suplir la carencia de este insumo adquiriendo agua desionizada de un proveedor externo.

³ El medio debe estar caracterizado. En general es preferible emplear el fenómeno físico del punto de hielo

termómetros deben estar ubicados dentro del volumen o zona de trabajo del medio, el cual debe ser determinado en la caracterización.

- En el caso de la calibración en hornos de bloque metálico, se debe tener presente que el diámetro del pozo del bloque no exceda en más de 0.5 mm al diámetro del tallo del sensor para calibraciones por debajo de 660 °C. Para calibraciones por encima de dicha temperatura, la diferencia entre diámetros debería ser hasta 1 mm (13).
- Iniciar la calibración en el punto más bajo y continuar a temperaturas crecientes (4).
- Una vez se alcance el equilibrio térmico se inicia la toma de datos. Se confirma que la estabilidad sea igual o menor a la declarada en la caracterización del medio de comparación.
- Para la toma de datos se realizan nueve (9) lecturas, preferiblemente simultáneas, una lectura cada 20 s.
- En caso de que se lleven a cabo calibraciones al mismo tiempo con varios IBCs, se pueden tomar mediciones simultáneas bien sea empleando software de adquisición de datos o tomando una fotografía de todos los indicadores cada 20 segundos. En caso de no existir esta posibilidad, se pueden tomar las mediciones con un solo IBC por 180 s y seguidamente pasar el segundo IBC durante 180 s, y luego medir de manera similar con los IBCs restantes.
- En el caso de sensor PRT, es recomendable realizar mediciones intermedias en el punto de hielo para determinar la variación en el punto de hielo, acompañadas a las dos mediciones que se deben realizar al inicio y al final del intervalo de medición.
- Si el cliente autoriza y el termómetro lo permite realizar el ajuste según el manual técnico del equipo. El certificado de calibración debe incluir los resultados de calibración antes y después del ajuste, junto con los demás requerimientos bajo la norma ISO/IEC 17025 (14).

6.5. Evaluación de la incertidumbre de medición

6.5.1. Mensurando

El mensurando en la calibración es la corrección del termómetro bajo calibración. Es recomendable realizar este proceso por lo menos en tres puntos o valores de temperatura con el propósito de tener información suficiente para llevar a cabo un proceso de interpolación en las futuras mediciones que se realicen con el IBC luego de su calibración.

Los puntos de calibración de un termómetro dependerán del uso que se le dé al mismo e idealmente deberían ser tales que cubran todo el intervalo de temperaturas para el cual está intencionado. Es decir, si en cierto proceso es necesario llevar un control de la temperatura en un medio que únicamente funciona en un intervalo comprendido entre 10 °C y 40 °C, entonces el termómetro que se emplee para controlar esta variable podría ser calibrado en este mismo rango, al menos en tres puntos preferiblemente equidistantes, por ejemplo: 10 °C, 25 °C y 40 °C.

No es recomendable calibrar un termómetro en puntos de temperatura a los cuales no será regularmente sometido ya que esto constituye un despropósito y puede incurrir en gastos no deseados por el cliente debido a que una calibración en diferentes medios isoterms acarrea un mayor costo.

6.5.1.1. Mensurando para IBC: termómetro digital con sensor tipo PRT y medio de comparación: baño líquido

La corrección está representada por la ecuación (1); (15).

$$C = \left[t_p + \delta(t_p)_{cert} + \delta(t_p)_{res} + \delta(t_p)_{rep} + \delta(t_p)_{der} + \delta(t_p)_{int} + \delta(t)_{Est} + \delta(t)_{Unf} \right] - \left[t_x + \delta(t_x)_{res} + \delta(t_x)_{rep} + \delta(t_x)_{vc} \right] \quad (1)$$

Donde los términos comprendidos en el primer corchete cuadrado corresponden a la temperatura del patrón (t_p) junto a sus respectivas correcciones y fuentes de incertidumbre, y los términos incluidos en el segundo corchete cuadrado corresponden a la temperatura indicada por el IBC junto a sus fuentes de incertidumbre. En la ecuación (1) se tiene que:

C : Corrección del termómetro bajo calibración.

Las fuentes de incertidumbre de medición se identifican como sigue

- t_p : Temperatura promedio del termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{cert}$: Incertidumbre de medición del termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{res}$: Resolución del termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{rep}$: Repetibilidad de la temperatura indicada por el termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{der}$: Deriva del termómetro patrón. La cual puede ser determinada
- $\delta(t_p)_{int}$: Interpolación de la corrección de la temperatura indicada por el termómetro patrón.
- $\delta(t)_{Est}$: Estabilidad del baño líquido usado como medio de comparación.
- $\delta(t)_{Unf}$: Uniformidad del baño líquido usado como medio de comparación.
- t_x : Temperatura promedio del termómetro bajo calibración.
- $\delta(t_x)_{res}$: Resolución del termómetro bajo calibración.

$\delta(t_X)_{rep}$: Repetibilidad de la temperatura indicada por el termómetro bajo calibración.

$\delta(t_X)_{vc}$: Variación en el punto de hielo del termómetro bajo calibración. En caso de no ser posible evaluar esta fuente de incertidumbre, se puede atender lo mencionado en la sección 6.5.2 para estimar la incertidumbre por histéresis del IBC.

La Tabla 2 presenta la manera de estimar las distintas fuentes de incertidumbre de medición en el proceso de calibración concerniente a esta sección, junto con su correspondiente coeficiente de sensibilidad.

Tabla 2. Fuentes de incertidumbre de medición, termómetro digital con PRT y medio de comparación baño líquido

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Distribución	Incertidumbre estándar	Coficiente de sensibilidad
Calibración del termómetro patrón	$u(\delta(t_P)_{cert})$	Normal	Incertidumbre del certificado del termómetro patrón sobre factor de cobertura reportado	1
Resolución del termómetro patrón	$u(\delta(t_P)_{res})$	Rectangular	Resolución sobre $2\sqrt{3}$	1
Repetibilidad del termómetro patrón	$u(\delta(t_P)_{rep})$	Normal	Desviación estándar de las lecturas del termómetro patrón sobre \sqrt{n} *	1
Deriva del termómetro patrón	$u(\delta(t_P)_{der})$	Rectangular	Ver sección 6.5.2	1
Interpolación corrección patrón	$u(\delta(t_P)_{int})$	Normal	Desviación estándar de los residuos sobre \sqrt{n} ; ver ecuación (13)	1
Estabilidad del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Est})$	Rectangular	Máximo variación de temperatura en el tiempo. Tomada del estudio de caracterización. Sobre $\sqrt{3}$	1
Uniformidad del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Uni})$	Rectangular	Tomada del estudio de caracterización. Sobre $\sqrt{3}$	1

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Distribución	Incertidumbre estándar	Coficiente de sensibilidad
Resolución del termómetro bajo calibración	$u(\delta(t_X)_{res})$	Rectangular	Resolución sobre $2\sqrt{3}$	-1
Repetibilidad del termómetro bajo calibración	$u(\delta(t_X)_{rep})$	Normal	Desviación estándar de las lecturas del termómetro bajo calibración sobre \sqrt{n} *	-1
Variación en cero / Histéresis del termómetro bajo calibración	$u(\delta(t_X)_{vc})$	Rectangular	Máxima diferencia entre los valores en el punto de hielo (o punto de menor temperatura) sobre $2\sqrt{3}$.	-1

* n= número de datos

La incertidumbre combinada de medición se expresa como la suma cuadrática de las incertidumbres estándar, ecuación (2):

$$u_c = \sqrt{u^2(\delta(t_P)_{cert}) + u^2(\delta(t_P)_{res}) + u^2(\delta(t_P)_{rep}) + u^2((t_P)_{der}) + u^2(\delta(t_P)_{int}) + u^2(\delta(t_P)_{Est}) + u^2(\delta(t_P)_{Unf-r}) + u^2(\delta(t_P)_{Unf-ax}) + u^2(\delta(t_P)_{car}) + u^2(\delta(t_X)_{res}) + u^2(\delta(t_X)_{rep}) + u^2(\delta(t_X)_{vc})} \quad (2)$$

6.5.1.2. Mensurando para IBC: termómetro digital con sensor tipo PRT y medio de comparación: horno de bloque metálico

De manera análoga a la sección anterior, la corrección está representada por la ecuación (3), (15).

$$C = [t_P + \delta(t_P)_{cert} + \delta(t_P)_{res} + \delta(t_P)_{rep} + \delta(t_P)_{der} + \delta(t_P)_{int} + \delta(t_P)_{Est} + \delta(t_P)_{Unf-r} + \delta(t_P)_{Unf-ax} + \delta(t_P)_{car}] - [t_X + \delta(t_X)_{res} + \delta(t_X)_{rep} + \delta(t_X)_{vc}] \quad (3)$$

donde,

C : Corrección del termómetro bajo calibración.

Las fuentes de incertidumbre de medición se identifican como sigue

t_P : Temperatura promedio del termómetro patrón.

$\delta(t_P)_{cert}$: Incertidumbre de medición del termómetro patrón.

- $\delta(t_p)_{res}$: Resolución del termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{rep}$: Repetibilidad de la temperatura indicada por el termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{der}$: Deriva del termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{int}$: Interpolación de la corrección de la temperatura indicada por el termómetro patrón.
- $\delta(t)_{Est}$: Estabilidad del horno de bloque metálico usado como medio de comparación.
- $\delta(t)_{Unf-r}$: Uniformidad radial del horno de bloque metálico usado como medio de comparación.
- $\delta(t)_{Unf-ax}$: Uniformidad axial del horno de bloque metálico usado como medio de comparación.
- $\delta(t)_{car}$: Efecto de carga del horno de bloque metálico usado como medio de comparación.
- t_X : Temperatura promedio del termómetro bajo calibración.
- $\delta(t_X)_{res}$: Resolución del termómetro bajo calibración.
- $\delta(t_X)_{rep}$: Repetibilidad de la temperatura indicada por el termómetro bajo calibración.
- $\delta(t_X)_{vc}$: Variación en el punto de hielo del termómetro bajo calibración. En caso de no ser posible evaluar esta fuente de incertidumbre, se puede atender lo mencionado en la sección 6.5.2 para estimar la incertidumbre por histéresis del IBC.

La

Tabla 3 presenta la manera de estimar las distintas fuentes de incertidumbre de medición en el proceso de calibración concerniente a esta sección, junto con su correspondiente coeficiente de sensibilidad.

Tabla 3. Fuentes de incertidumbre de medición, termómetro digital con PRT y medio de comparación horno de bloque metálico

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Distribución	Incertidumbre estándar	Coefficiente de sensibilidad
Calibración del termómetro patrón	$u(\delta(t_p)_{cert})$	Normal	Incertidumbre del certificado del termómetro patrón sobre factor de cobertura reportado	1

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Distribución	Incertidumbre estándar	Coefficiente de sensibilidad
Resolución del termómetro patrón	$u(\delta(t_P)_{res})$	Rectangular	Resolución sobre $2\sqrt{3}$	1
Repetibilidad del termómetro patrón	$u(\delta(t_P)_{rep})$	Normal	Desviación estándar de las lecturas del termómetro patrón sobre \sqrt{n} *	1
Deriva del termómetro patrón	$u(\delta(t_P)_{der})$	Rectangular	Ver sección 6.5.2	1
Interpolación corrección patrón	$u(\delta(t_P)_{int})$	Normal	Desviación estándar de los residuos sobre \sqrt{n} ; ver ecuación (13)	1
Estabilidad del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Est})$	Rectangular	Máximo variación de temperatura en el tiempo. Tomada del estudio de caracterización. Sobre $\sqrt{3}$	1
Uniformidad radial del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Unf-r})$	Rectangular	Tomada del estudio de caracterización Sobre $\sqrt{3}$	1
Uniformidad axial del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Unf-ax})$	Rectangular	Tomada del estudio de caracterización Sobre $\sqrt{3}$	1
Efecto de carga del medio de comparación	$u(\delta(t)_{car})$	Rectangular	Tomada del estudio de caracterización Sobre $\sqrt{3}$	1
Resolución del termómetro bajo calibración	$u(\delta(t_X)_{res})$	Rectangular	Resolución sobre $2\sqrt{3}$	-1
Repetibilidad del termómetro bajo calibración	$u(\delta(t_X)_{rep})$	Normal	Desviación estándar de las lecturas del termómetro bajo calibración sobre \sqrt{n} *	-1
Variación en cero / Histéresis del termómetro bajo calibración	$u(\delta(t_X)_{vc})$	Rectangular	Máxima diferencia entre los valores en el punto de hielo (o punto de menor temperatura) sobre $2\sqrt{3}$.	-1

*n= número de datos

La incertidumbre combinada de medición se expresa como la suma cuadrática de las incertidumbres estándar, ecuación (4):

$$u_c = \sqrt{u^2(\delta(t_p)_{cert}) + u^2(\delta(t_p)_{res}) + u^2(\delta(t_p)_{rep}) + u^2((t_p)_{der}) + u^2(\delta(t_p)_{int}) + u^2(\delta(t_p)_{Est}) + u^2(\delta(t_p)_{Unf-r}) + u^2(\delta(t_p)_{Unf-ax}) + u^2(\delta(t_p)_{car}) + u^2(\delta(t_x)_{res}) + u^2(\delta(t_x)_{rep}) + u^2(\delta(t_x)_{vc})} \quad (4)$$

6.5.1.3. Mensurando para IBC: termómetro digital con sensor tipo termistor y medio de comparación: baño líquido

La corrección está representada por la ecuación (5), (15).

$$C = [t_p + \delta(t_p)_{cert} + \delta(t_p)_{res} + \delta(t_p)_{rep} + \delta(t_p)_{der} + \delta(t_p)_{int} + \delta(t)_{Est} + \delta(t)_{Unf}] - [t_x + \delta(t_x)_{res} + \delta(t_x)_{rep} + \delta(t_x)_{his}] \quad (5)$$

donde,

C : Corrección del termómetro bajo calibración.

Las fuentes de incertidumbre de medición se identifican como sigue

- t_p : Temperatura promedio del termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{cert}$: Incertidumbre de medición del termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{res}$: Resolución del termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{rep}$: Repetibilidad de la temperatura indicada por el termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{der}$: Deriva del termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{int}$: Interpolación de la corrección de la temperatura indicada por el termómetro patrón.
- $\delta(t)_{Est}$: Estabilidad del baño líquido usado como medio de comparación.
- $\delta(t)_{Unf}$: Uniformidad del baño líquido usado como medio de comparación.
- t_x : Temperatura promedio del termómetro bajo calibración.

$\delta(t_X)_{res}$: Resolución del termómetro bajo calibración.

$\delta(t_X)_{rep}$: Repetibilidad de la temperatura indicada por el termómetro bajo calibración.

$\delta(t_X)_{his}$: Histéresis del termómetro bajo calibración.

La Tabla 4 presenta la manera de estimar las distintas fuentes de incertidumbre de medición en el proceso de calibración concerniente a esta sección, junto con su correspondiente coeficiente de sensibilidad.

Tabla 4. Fuentes de incertidumbre de medición, termómetro digital con termistor y medio de comparación baño líquido

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Distribución	Incertidumbre estándar	Coficiente de sensibilidad
Calibración del termómetro patrón	$u(\delta(t_P)_{cert})$	Normal	Incertidumbre del certificado del termómetro patrón sobre factor de cobertura reportado	1
Resolución del termómetro patrón	$u(\delta(t_P)_{res})$	Rectangular	Resolución sobre $2\sqrt{3}$	1
Repetibilidad del termómetro patrón	$u(\delta(t_P)_{rep})$	Normal	Desviación estándar de las lecturas del termómetro patrón sobre \sqrt{n}^*	1
Deriva del termómetro patrón	$u(\delta(t_P)_{der})$	Rectangular	Ver sección 6.5.2	1
Interpolación corrección patrón	$u(\delta(t_P)_{int})$	Normal	Desviación estándar de los residuos sobre \sqrt{n} ; ver ecuación (13)	1
Estabilidad del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Est})$	Rectangular	Máximo variación de temperatura en el tiempo. Tomada del estudio de caracterización. Sobre $\sqrt{3}$	1
Uniformidad del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Unt})$	Rectangular	Tomada del estudio de caracterización Sobre $\sqrt{3}$	1

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Distribución	Incertidumbre estándar	Coefficiente de sensibilidad
Resolución del termómetro bajo calibración	$u(\delta(t_X)_{res})$	Rectangular	Resolución sobre $2\sqrt{3}$	-1
Repetibilidad del termómetro bajo calibración	$u(\delta(t_X)_{rep})$	Normal	Desviación estándar de las lecturas del termómetro bajo calibración sobre \sqrt{n}^*	-1
Histéresis del termómetro bajo calibración	$u(\delta(t_X)_{his})$	Rectangular	Diferencia entre los valores en el punto más bajo sobre $2\sqrt{3}$.	-1

*n= número de datos

La incertidumbre combinada de medición se expresa como la suma cuadrática de las incertidumbres estándar, ecuación (6).

$$u_c = \sqrt{\begin{matrix} u^2(\delta(t_P)_{cert}) + u^2(\delta(t_P)_{res}) + u^2(\delta(t_P)_{rep}) + u^2((t_P)_{der}) + u^2(\delta(t_P)_{int}) + \\ u^2(\delta(t_P)_{Est}) + u^2(\delta(t_P)_{Unf}) + u^2(\delta(t_X)_{res}) + u^2(\delta(t_X)_{rep}) + u^2(\delta(t_X)_{his}) \end{matrix}} \quad (6)$$

6.5.1.4. Mensurando para IBC: termómetro digital con sensor tipo termistor y medio de comparación: horno de bloque metálico

La corrección está representada por la ecuación (7), (15).

$$C = [t_P + \delta(t_P)_{cert} + \delta(t_P)_{res} + \delta(t_P)_{rep} + \delta(t_P)_{der} + \delta(t_P)_{int} + \delta(t)_{Est} + \delta(t)_{Unf-r} + \delta(t)_{Unf-ax} + \delta(t)_{car}] - [t_X + \delta(t_X)_{res} + \delta(t_X)_{rep} + \delta(t_X)_{his}] \quad (7)$$

donde,

C : Corrección del termómetro bajo calibración.

Las fuentes de incertidumbre de medición se identifican como sigue

t_P : Temperatura promedio del termómetro patrón.

$\delta(t_P)_{cert}$: Incertidumbre de medición del termómetro patrón.

$\delta(t_P)_{res}$: Resolución del termómetro patrón.

- $\delta(t_p)_{rep}$: Repetibilidad de la temperatura indicada por el termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{der}$: Deriva del termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{int}$: Interpolación de la corrección de la temperatura indicada por el termómetro patrón.
- $\delta(t)_{Est}$: Estabilidad del horno de bloque metálico usado como medio de comparación.
- $\delta(t)_{Unf-r}$: Uniformidad radial del horno de bloque metálico usado como medio de comparación.
- $\delta(t)_{Unf-ax}$: Uniformidad axial del horno de bloque metálico usado como medio de comparación.
- $\delta(t)_{car}$: Efecto de carga del horno de bloque metálico usado como medio de comparación.
- t_X : Temperatura promedio del termómetro bajo calibración.
- $\delta(t_X)_{res}$: Resolución del termómetro bajo calibración.
- $\delta(t_X)_{rep}$: Repetibilidad de la temperatura indicada por el termómetro bajo calibración.
- $\delta(t_X)_{his}$: Histéresis del termómetro bajo calibración.

La Tabla 5 presenta la manera de estimar las distintas fuentes de incertidumbre de medición en el proceso de calibración concerniente a esta sección, junto con su correspondiente coeficiente de sensibilidad.

Tabla 5. Fuentes de incertidumbre de medición, termómetro digital con termistor y medio de comparación horno de bloque metálico

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Distribución	Incertidumbre estándar	Coficiente de sensibilidad
Calibración del termómetro patrón	$u(\delta(t_p)_{cert})$	Normal	Incertidumbre del certificado del termómetro patrón sobre factor de cobertura reportado	1
Resolución del termómetro patrón	$u(\delta(t_p)_{res})$	Rectangular	Resolución sobre $2\sqrt{3}$	1
Repetibilidad del termómetro patrón	$u(\delta(t_p)_{rep})$	Normal	Desviación estándar de las lecturas del	1

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Distribución	Incertidumbre estándar	Coefficiente de sensibilidad
			termómetro patrón sobre \sqrt{n}^*	
Deriva del termómetro patrón	$u(\delta(t_P)_{der})$	Rectangular	Ver sección 6.5.2	1
Interpolación corrección patrón	$u(\delta(t_P)_{int})$	Normal	Desviación estándar de los residuos sobre \sqrt{n} ; ver ecuación (13)	1
Estabilidad del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Est})$	Rectangular	Máximo variación de temperatura en el tiempo. Tomada del estudio de caracterización. Sobre $\sqrt{3}$	1
Uniformidad radial del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Unf-r})$	Rectangular	Tomada del estudio de caracterización Sobre $\sqrt{3}$	1
Uniformidad axial del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Unf-ax})$	Rectangular	Tomada del estudio de caracterización Sobre $\sqrt{3}$	1
Efecto de carga del medio de comparación	$u(\delta(t)_{car})$	Rectangular	Tomada del estudio de caracterización Sobre $\sqrt{3}$	1
Resolución del termómetro bajo calibración	$u(\delta(t_X)_{res})$	Rectangular	Resolución sobre $2\sqrt{3}$	-1
Repetibilidad del termómetro bajo calibración	$u(\delta(t_X)_{rep})$	Normal	Desviación estándar de las lecturas del termómetro bajo calibración sobre \sqrt{n}^*	-1
Histéresis del termómetro bajo calibración	$u(\delta(t_X)_{his})$	Rectangular	Diferencia entre los valores medidos en el punto de menor temperatura sobre $2\sqrt{3}$.	-1

*n= número de datos

La incertidumbre combinada de medición se expresa como la suma cuadrática de las incertidumbres estándar, ecuación (8):

$$u_c = \sqrt{u^2(\delta(t_p)_{cert}) + u^2(\delta(t_p)_{res}) + u^2(\delta(t_p)_{rep}) + u^2((t_p)_{der}) + u^2(\delta(t_p)_{int}) + u^2(\delta(t_p)_{Est}) + u^2(\delta(t_p)_{Unf-r}) + u^2(\delta(t_p)_{Unf-ax}) + u^2(\delta(t_p)_{car}) + u^2(\delta(t_x)_{res}) + u^2(\delta(t_x)_{rep}) + u^2(\delta(t_x)_{vc})} \quad (8)$$

6.5.1.5. Mensurando para IBC: termómetro digital con sensor tipo termopar y medio de comparación: baño líquido

La corrección está representada por la ecuación (9), (15).

$$C = [t_p + \delta(t_p)_{cert} + \delta(t_p)_{res} + \delta(t_p)_{rep} + \delta(t_p)_{der} + \delta(t_p)_{int} + \delta(t)_{Est} + \delta(t)_{Unf}] - [t_x + \delta(t_x)_{res} + \delta(t_x)_{rep} + \delta(t_x)_{inhom}] \quad (9)$$

donde,

C : Corrección del termómetro bajo calibración.

Las fuentes de incertidumbre de medición se identifican como sigue:

- t_p : Temperatura promedio del termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{cert}$: Incertidumbre de medición del termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{res}$: Resolución del termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{rep}$: Repetibilidad de la temperatura indicada por el termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{der}$: Deriva del termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{int}$: Interpolación de la corrección de la temperatura indicada por el termómetro patrón.
- $\delta(t)_{Est}$: Estabilidad del baño líquido usado como medio de comparación.
- $\delta(t)_{Unf}$: Uniformidad del baño líquido usado como medio de comparación.
- t_x : Temperatura promedio del termómetro bajo calibración.
- $\delta(t_x)_{res}$: Resolución del termómetro bajo calibración.
- $\delta(t_x)_{rep}$: Repetibilidad de la temperatura indicada por el termómetro bajo calibración.

$\delta(t_x)_{inhom}$: Inhomogeneidad del termómetro bajo calibración.

La Tabla 6 presenta la manera de estimar las distintas fuentes de incertidumbre de medición en el proceso de calibración concerniente a esta sección, junto con su correspondiente coeficiente de sensibilidad.

Tabla 6. Fuentes de incertidumbre de medición, termómetro digital con termopar y medio de comparación baño líquido

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Distribución	Incertidumbre estándar	Coficiente de sensibilidad
Calibración del termómetro patrón	$u(\delta(t_P)_{cert})$	Normal	Incertidumbre del certificado del termómetro patrón sobre factor de cobertura reportado	1
Resolución del termómetro patrón	$u(\delta(t_P)_{res})$	Rectangular	Resolución sobre $2\sqrt{3}$	1
Repetibilidad del termómetro patrón	$u(\delta(t_P)_{rep})$	Normal	Desviación estándar de las lecturas del termómetro patrón sobre \sqrt{n} *	1
Deriva del termómetro patrón	$u(\delta(t_P)_{der})$	Rectangular	Ver sección 6.5.2	1
Interpolación corrección patrón	$u(\delta(t_P)_{int})$	Normal	Desviación estándar de los residuos sobre \sqrt{n} ; ver ecuación (13)	1
Estabilidad del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Est})$	Rectangular	Máximo variación de temperatura en el tiempo. Tomada del estudio de caracterización. Sobre $\sqrt{3}$	1
Uniformidad del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Unf})$	Rectangular	Tomada del estudio de caracterización. Sobre $\sqrt{3}$	1
Resolución del termómetro bajo calibración	$u(\delta(t_x)_{res})$	Rectangular	Resolución sobre $2\sqrt{3}$	-1

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Distribución	Incertidumbre estándar	Coefficiente de sensibilidad
Repetibilidad del termómetro bajo calibración	$u(\delta(t_x)_{rep})$	Normal	Desviación estándar de las lecturas del termómetro bajo calibración sobre \sqrt{n} *	-1
Inhomogeneidad del termómetro bajo calibración.	$u(\delta(t_x)_{inhom})$	Rectangular	Máxima diferencia en la indicación del termómetro $\sqrt{3}$.	-1

* n= número de datos

La incertidumbre combinada de medición se expresa como la suma cuadrática de las incertidumbres estándar, ecuación (10):

$$u_c = \sqrt{u^2(\delta(t_p)_{cert}) + u^2(\delta(t_p)_{res}) + u^2(\delta(t_p)_{rep}) + u^2((t_p)_{der}) + u^2(\delta(t_p)_{int}) + u^2(\delta(t_p)_{Est}) + u^2(\delta(t_p)_{Unf}) + u^2(\delta(t_x)_{res}) + u^2(\delta(t_x)_{rep}) + u^2(\delta(t_x)_{inhom})} \quad (10)$$

6.5.1.6. Mensurando para IBC: termómetro digital con sensor tipo termopar y medio de comparación: horno de bloque metálico

La corrección está representada por la ecuación (11), (15).

$$C = [t_p + \delta(t_p)_{cert} + \delta(t_p)_{res} + \delta(t_p)_{rep} + \delta(t_p)_{der} + \delta(t_p)_{int} + \delta(t)_{Est} + \delta(t)_{Unf-r} + \delta(t)_{Unf-ax} + \delta(t)_{car}] - [t_x + \delta(t_x)_{res} + \delta(t_x)_{rep} + \delta(t_x)_{inhom}] \quad (11)$$

donde,

C : Corrección del termómetro bajo calibración.

Las fuentes de incertidumbre de medición se identifican como sigue

t_p : Temperatura promedio del termómetro patrón.

$\delta(t_p)_{cert}$: Incertidumbre de medición del termómetro patrón.

$\delta(t_p)_{res}$: Resolución del termómetro patrón.

$\delta(t_p)_{rep}$: Repetibilidad de la temperatura indicada por el termómetro patrón.

- $\delta(t_p)_{der}$: Deriva del termómetro patrón.
- $\delta(t_p)_{int}$: Interpolación de la corrección de la temperatura indicada por el termómetro patrón.
- $\delta(t)_{Est}$: Estabilidad del horno de bloque metálico usado como medio de comparación.
- $\delta(t)_{Unf-r}$: Uniformidad radial del horno de bloque metálico usado como medio de comparación.
- $\delta(t)_{Unf-ax}$: Uniformidad axial del horno de bloque metálico usado como medio de comparación.
- $\delta(t)_{car}$: Efecto de carga del horno de bloque metálico usado como medio de comparación.
- t_x : Temperatura promedio del termómetro bajo calibración.
- $\delta(t_x)_{res}$: Resolución del termómetro bajo calibración.
- $\delta(t_x)_{rep}$: Repetibilidad de la temperatura indicada por el termómetro bajo calibración.
- $\delta(t_x)_{inhom}$: Inhomogeneidad del termómetro bajo calibración.

La Tabla 7 presenta la manera de estimar las distintas fuentes de incertidumbre de medición en el proceso de calibración concerniente a esta sección, junto con su correspondiente coeficiente de sensibilidad.

Tabla 7. Fuentes de incertidumbre de medición, termómetro digital con termopar y medio de comparación horno de bloque metálico

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Distribución	Incertidumbre estándar	Coficiente de sensibilidad
Calibración del termómetro patrón	$u(\delta(t_p)_{cert})$	Normal	Incertidumbre del certificado del termómetro patrón sobre factor de cobertura reportado	1
Resolución del termómetro patrón	$u(\delta(t_p)_{res})$	Rectangular	Resolución sobre $2\sqrt{3}$	1
Repetibilidad del termómetro patrón	$u(\delta(t_p)_{rep})$	Normal	Desviación estándar de las lecturas del termómetro patrón sobre \sqrt{n}^*	1

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Distribución	Incertidumbre estándar	Coefficiente de sensibilidad
Deriva del termómetro patrón	$u(\delta(t_P)_{der})$	Rectangular	Ver sección 6.5.2	1
Interpolación corrección patrón	$u(\delta(t_P)_{int})$	Normal	Desviación estándar de los residuos sobre \sqrt{n} ; ver ecuación (13)	1
Estabilidad del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Est})$	Rectangular	Máximo variación de temperatura en el tiempo. Tomada del estudio de caracterización. sobre $\sqrt{3}$	1
Uniformidad radial del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Unf-r})$	Rectangular	Tomada del estudio de caracterización Sobre $\sqrt{3}$	1
Uniformidad axial del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Unf-ax})$	Rectangular	Tomada del estudio de caracterización Sobre $\sqrt{3}$	1
Efecto de carga del medio de comparación	$u(\delta(t)_{car})$	Rectangular	Tomada del estudio de caracterización Sobre $\sqrt{3}$	1
Resolución del termómetro bajo calibración	$u(\delta(t_x)_{res})$	Rectangular	Resolución sobre $2\sqrt{3}$	-1
Repetibilidad del termómetro bajo calibración	$u(\delta(t_x)_{rep})$	Normal	Desviación estándar de las lecturas del termómetro bajo calibración sobre \sqrt{n} *	-1
Inhomogeneidad del termómetro bajo calibración.	$u(\delta(t_x)_{inhom})$	Rectangular	Máxima diferencia en la indicación del termómetro $\sqrt{3}$.	-1

*n= número de datos

La incertidumbre combinada de medición se expresa como la suma cuadrática de las incertidumbres estándar, ecuación (12):

$$u_c = \sqrt{u^2(\delta(t_p)_{cert}) + u^2(\delta(t_p)_{res}) + u^2(\delta(t_p)_{rep}) + u^2((t_p)_{der}) + u^2(\delta(t_p)_{int}) + u^2(\delta(t_p)_{Est}) + u^2(\delta(t_p)_{Unf-r}) + u^2(\delta(t_p)_{Unf-ax}) + u^2(\delta(t_p)_{car}) + u^2(\delta(t_x)_{res}) + u^2(\delta(t_x)_{rep}) + u^2(\delta(t_x)_{inhom})} \quad (12)$$

6.5.2. Fuentes de incertidumbre de medición

Las fuentes de incertidumbre de medición se presentan en las **Tabla 2** a **Tabla 7**.

La incertidumbre por calibración del termómetro patrón se toma del certificado de calibración. En puntos intermedios debe tomarse la mayor incertidumbre de medición entre los puntos adyacentes.

La deriva del termómetro patrón se estima a partir de los datos históricos de las calibraciones, como la máxima diferencia entre los resultados de calibraciones sucesivas para cada punto de calibración. También se puede determinar la deriva del termómetro patrón a partir del análisis de las verificaciones intermedias del mismo. Su distribución asociada es de tipo rectangular.

Las incertidumbres de medición debidas al medio de comparación están determinadas por los resultados obtenidos en la caracterización específica según el medio de comparación empleado: banco líquido u horno de bloque metálico. En el caso del banco líquido se consideran la estabilidad y la uniformidad (11). En el caso de horno de bloque metálico se consideran la estabilidad, la uniformidad radial, la uniformidad axial y el efecto de carga (12). En puntos intermedios debe tomarse la mayor incertidumbre entre los puntos adyacentes.

La incertidumbre por interpolación de la corrección de la temperatura indicada por el termómetro patrón surge de la necesidad de interpolar la corrección cuando el promedio de las lecturas del termómetro patrón no coincide con uno de los valores de la temperatura del certificado de calibración. A partir de los valores de corrección versus temperatura del certificado de calibración del termómetro patrón se calcula una curva de ajuste por el método de los mínimos cuadrados, según el número de datos del certificado de calibración. A partir de los residuos del modelo de interpolación elegido se expresa la incertidumbre por interpolación dada por la ecuación (13); (16), (17).

$$s_{int} = \sqrt{\frac{\sum_1^n res_i^2}{n - p}} \quad (13)$$

donde,

- s_{int} : Incertidumbre por interpolación
- n : Número de datos del certificado de calibración
- res : Residuo, diferencia entre el valor medido y el valor interpolado
- p : Número de parámetros del polinomio de ajuste, equivale al grado del polinomio + 1.

La incertidumbre debida a la variación en el punto de hielo del IBC se evalúa como la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de las lecturas del termómetro bajo calibración en el punto de hielo. Una alternativa, si no es posible la medición en el punto de hielo, es estimar la incertidumbre debida a la histéresis del IBC la cual se evalúa como la diferencia en las indicaciones en el punto más bajo de medición, (se toman lecturas en orden ascendente y se toma de nuevo la lectura en el punto más bajo).

A partir de la incertidumbre combinada se calculan los grados de libertad efectivos según la fórmula de Welch-Satterhwaite, ecuación (14), (11):

$$v_{ef} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad (14)$$

Donde,

- v_{ef} : grados de libertad efectivos
- u_c : incertidumbre combinada
- N : número de fuentes de incertidumbre de medición
- u_i : contribución a la incertidumbre de la i -ésima fuente de incertidumbre
- v_i : grados de libertad de la i -ésima fuente de incertidumbre

6.5.3. Incertidumbre expandida de medición

Se calcula el factor de cobertura para un expresar una probabilidad de cobertura del 95.45 % para una distribución t-student.

A continuación, se expresa la incertidumbre expandida, multiplicando la incertidumbre combinada por el factor de cobertura:

$$U = k u_c \quad (15)$$

En los Anexos 1 a 6 se presentan ejemplos de evaluación de la incertidumbre de medición.

6.6. Presentación de los resultados

El certificado o informe de calibración se debe 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.

En los resultados de calibración para cada magnitud, se deben indicar claramente las condiciones de medición del IBC, al igual que se deben incluir las condiciones ambientales bajo las cuales se llevó a

cabo el proceso⁴, junto con su respectiva incertidumbre de medición, la cual se extrae del certificado de calibración del instrumento con el cual se monitorean tales condiciones.

También se pueden establecer intervalos de temperatura y humedad relativa fijos bajo los cuales siempre se encuentre la operación normal del laboratorio, teniendo en cuenta que las dos magnitudes estén siendo monitoreadas constantemente por un equipo calibrado y que el histórico de datos de temperatura y humedad relativa en el laboratorio siempre se han encontrado dentro de los límites de trabajo.

Para cada punto de calibración se deben registrar los siguientes datos con sus respectivas unidades:

- Indicación promedio del IBC.
- Corrección.
- Factor de cobertura (k) para la probabilidad de cobertura del 95.45 %
- Incertidumbre de medición expandida

La incertidumbre de medición expandida se debe reportar hasta con dos cifras significativas (15). También se puede considerar reportar la indicación del termómetro patrón.

En cuanto al número de cifras decimales que se deben reportar, la corrección debe ser consistente con la incertidumbre de medición expandida reportada. La indicación promedio del IBC reportada debe ser consistente con su resolución, en caso de realizar redondeo de cifras decimales, se puede aceptar el que haga el software de análisis por defecto.

El certificado o informe de calibración debe enunciar que los resultados reportados corresponden a la condición del IBC en la fecha y en las condiciones de calibración y que no corresponden a la estabilidad a largo plazo del IBC.

Para termómetros con dos o más canales incluir en el certificado de calibración la identificación del canal calibrado con la identificación de su respectivo sensor.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)*. **Preston-Thomas, H.** 1, 1990, Metrologia, Vol. 27, págs. 3-10. 0026-1394.
2. **JCGM 200:2012**. *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*. 3rd 2008 version with minor corrections. s.l. : BIPM, 2012.
3. *Guía 99 "International vocabulary of metrology - Basic and General concepts and associated terms (VIM)". ISO/IEC.*
4. **CEM - Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Gobierno de España**. Procedimiento TH-001 para la calibración de termómetros digitales. Madrid : s.n., 2008.

⁴ Típicamente solo se reportan condiciones de temperatura y humedad relativa.

5. *Guidelines on the Calibration of Thermocouples CG-8, Version 3.0.* **EURAMET.** Febrero de 2019.
6. *A comprehensive survey of thermoelectric homogeneity of commonly used thermocouple types.* **Machin, G., Tucker, D. y Pearce, J.** 6, 2018, Measurement Science and Technology [en línea], vol. 29, no. 6, pp. 067002, Vol. 29, pág. 067002. 0957-0233.
7. *E 563 "Standard Practice for Preparation and Use of an Ice-Point Bath as a Reference Temperature".* **ASTM International.** Versión actual.
8. **ASTM International.** ASTM E644, Standard Test Methods for Testing Industrial Resistance Thermometers. West Conshohocken, PA : s.n. Versión actual.
9. **Licea, D.** Evaluación de la incertidumbre por inhomogeneidad en termopares tipo R y S. *Encuentro Nacional de Metrología Eléctrica 2009.* Querétaro: CENAM : s.n., 2009. págs. 1-19. .
10. **WIKA.** WIKA. [En línea] 2016. [Citado el: 18 de 03 de 2019.] https://de-wika.de/upload/DS_IN0023_en_co_51542.pdf. .
11. **CENAM - ema.** Entidad Mexicana de Acreditación. [En línea] 2012. [Citado el: 18 de 03 de 2019.] https://www.ema.org.mx/descargas_portalV2/guias_tecnicas/Guias_Tecnicas_CALIBRACION/CALIBRACION_Caracterizacion_Ba%C2%A4os-Hornos.pdf.
12. **EURAMET.** EURAMET. [En línea] 4.0, 09 de 2017. [Citado el: 18 de 03 de 2019.] [https://www.euramet.org/get/?tx_stag_base%5Bfile%5D=31897&tx_stag_base%5Bidentifiier%5D=ISBN 978-3-942992-43-5](https://www.euramet.org/get/?tx_stag_base%5Bfile%5D=31897&tx_stag_base%5Bidentifiier%5D=ISBN%20978-3-942992-43-5).
13. *CG 13 Guideliness on the Calibration of Temperature Block Calibrators.* **EURAMET.** Braunschweig : s.n., Vol. 4.0.
14. *17025 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración".* **ISO/IEC.** 2017.
15. **JCGM 100:2008.** *Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement: GUM 1995 with minor corrections.* First. s.l. : BIPM, 1995. JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections. .
16. **Metas & Metrólogos Asociados.** La Guía MetAs. [En línea] 2008. [Citado el: 18 de 03 de 2019.] <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-08-01-linealidad.pdf>.
17. *Interpolating equation of industrial platinum resistance thermometers in the temperature range between 0 °C and 500 °C.* **Yang, I., Suherlan, A., Gam, K.S. and Kim, Y.G.,** 3, 2015, Measurement Science and Technology [en línea], vol. 26, no. 3, pp. 035104. ISSN 13, Vol. 26, pág. 035104. ISSN 13616501.

8. ANEXOS

ANEXO 1. EJEMPLO DE EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN, IBC: UN TERMÓMETRO DIGITAL CON PRT Pt100, MEDIO DE COMPARACION BAÑO LÍQUIDO

- 1) Como termómetro patrón se tiene un termómetro digital con PRT Pt100 con lectura en °C, con una resolución de 0.001 °C. El promedio de las lecturas del termómetro patrón es de 149.999 °C y una desviación estándar de 0.005 °C, para $n = 9$.
- 2) La incertidumbre expandida de medida de calibración del termómetro patrón, U es 4.0×10^{-2} °C para $k = 2.0$. La corrección del termómetro patrón en el certificado de calibración se aplica a las lecturas del mismo y no se incluye en la incertidumbre de medida.
- 3) La incertidumbre por deriva se obtiene del histórico de las calibraciones del termómetro patrón, en este caso es de ± 0.004 °C; se toma como una distribución rectangular.
- 4) La incertidumbre por interpolación se obtiene de la desviación estándar de los residuos de la corrección interpolada a partir de la información del certificado de calibración del termómetro patrón, en este caso es de ± 0.011 °C; para un modelo lineal; se toma como una distribución normal, con $(n - p)$ grados de libertad; aquí n es el número de datos del certificado de calibración, para este ejemplo $n = 5$ y $p = 2$.
- 5) Como medio de comparación se tiene un baño de aceite a 150 °C con los siguientes parámetros de caracterización evaluados a 150 °C: una uniformidad de ± 0.012 °C; la estabilidad del baño es de ± 0.006 °C; ambas se toman como distribuciones rectangulares.
- 6) El IBC es un termómetro digital con PRT Pt100; con una resolución de 0.01 °C. La media de las lecturas del termómetro es de 149.97 °C, para $n = 9$.
- 7) La repetibilidad del IBC corresponde a 0.013 °C, para $n = 9$.
- 8) La histéresis del IBC a partir de la variación en 0 °C corresponde a 0.006 °C.

El presupuesto de incertidumbre de medición es el siguiente:

Tabla 8. Ejemplo de evaluación de la incertidumbre de medición, IBC: un termómetro digital con PRT Pt100, medio de comparación baño líquido

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Valor estimado	Tipo	Distribución	Incertidumbre	factor	Incertidumbre estándar	grados de libertad	ci	Contribución a incertidumbre	Porcentaje
Calibración del termómetro patrón (corrección e incertidumbre)	$u(\delta(t_p)_{cert})$	0.012 °C	B	N	0.040 °C	2.0	0.020 °C	241	1.0 -	0.020 °C	43.1
Resolución del termómetro patrón	$u(\delta(t_p)_{res})$	0.000 °C	B	R	0.001 °C	3.464	$\frac{0.000}{3}$ °C	∞	1.0 -	0.0003 °C	0.6
Temperatura indicada y repetibilidad del termómetro patrón	$u(\delta(t_p)_{rep})$	149.999 °C	A	N	0.005 °C	3.0	0.002 °C	8	1.0 -	0.002 °C	3.6
Deriva del termómetro patrón	$u(\delta(t_p)_{der})$	0.000 °C	B	R	0.004 °C	1.732	0.002 °C	∞	1.0 -	0.002 °C	5.0
Interpolación corrección patrón	$u(\delta(t_p)_{int})$	0.000 °C	B	N	0.011 °C	2.236	0.005 °C	3	1.0 -	0.005 °C	10.6
Estabilidad del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Est})$	0.000 °C	B	R	0.006 °C	1.732	0.003 °C	∞	1.0 -	0.003 °C	7.5
Uniformidad del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Unf})$	0.000 °C	B	R	0.012 °C	1.732	0.007 °C	∞	1.0 -	0.007 °C	14.9
Resolución del IBC	$u(\delta(t_x)_{res})$	0.000 °C	B	R	0.01 °C	3.464	0.0029 °C	∞	-1.0 -	0.0029 °C	6.2
Temperatura indicada y repetibilidad del IBC	$u(\delta(t_x)_{rep})$	149.97 °C	A	N	0.0013 °C	3.0	0.0004 °C	8	-1.0 -	0.0004 °C	0.9
Variación en cero del IBC	$u(\delta(t_x)_{vc})$	0.000 °C	A	R	0.006 °C	1.732	0.0035 °C	∞	-1.0 -	0.0035 °C	7.5
Corrección	C	0.04 °C	A	t-student	0.05 °C	2.0	0.023 °C	306			100.0

Los grados de libertad efectivos son 306. La incertidumbre de medición expandida asociada al valor de la corrección del termómetro bajo calibración es:

$$U = k u_c = 2.0 \times 0.023 \text{ °C} = 0.05 \text{ °C}$$

donde, se redondeó la incertidumbre expandida según la resolución del IBC.

Resultado:

El termómetro a una temperatura indicada de 149.97 °C, tiene una corrección de + 0.04 °C ± 0.05 °C.

La incertidumbre de medición expandida es la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura $\kappa = 2.0$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de 95.45 % para una distribución de t-student.

ANEXO 2. EJEMPLO DE EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN, IBC: UN TERMÓMETRO DIGITAL CON PRT Pt100, MEDIO DE COMPARACION HORNO DE BLOQUE METÁLICO

- 1) Como termómetro patrón se tiene un termómetro digital con PRT Pt100 con lectura en °C, con una resolución de 0.001 °C. El promedio de las lecturas del termómetro patrón es de 660.015 °C y una desviación estándar de 0.028 °C, para $n = 9$.
- 2) La incertidumbre de medición de calibración del termómetro patrón, U es $5,0 \times 10^{-2}$ °C para $k = 2.0$. La corrección del termómetro patrón en el certificado de calibración se aplican a las lecturas del mismo y no se incluyen en la incertidumbre de medida.
- 3) La incertidumbre por deriva se obtiene del histórico de las calibraciones del termómetro patrón, en este caso es de ± 0.012 °C; se toma como una distribución rectangular.
- 4) La incertidumbre por interpolación se obtiene de la desviación estándar de los residuos de la corrección interpolada a partir de la información del certificado de calibración del termómetro patrón, en este caso es de ± 0.015 °C; para un modelo lineal; se toma como una distribución normal, con $(n - p)$ grados de libertad; aquí n es el número de datos del certificado de calibración, para este ejemplo $n = 5$ y $p = 2$.
- 5) Como medio de comparación se tiene un horno de bloque metálico con los siguientes parámetros de caracterización evaluados a 660 °C: estabilidad de 0.040 °C; uniformidad radial de ± 0.100 °C; uniformidad axial de ± 0.500 °C (evaluada a 20 mm desde el fondo del termopozo del bloque metálico) y efecto de carga de ± 0.025 °C; todas se toman como distribuciones rectangulares.
- 6) El IBC es un termómetro digital con PRT Pt100; con una resolución de 0.001 °C. La media de las lecturas del termómetro es de 659.973 °C, para $n = 9$.
- 7) La repetibilidad corresponde a 0.045 °C, para $n = 9$.
- 8) La histéresis a partir de la variación en 0 °C corresponde a 0.007 °C.

El presupuesto de incertidumbre de medición es el siguiente:

Tabla 9. Ejemplo de evaluación de la incertidumbre de medición, IBC: un termómetro digital con PRT Pt100, medio de comparación horno de bloque metálico

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Valor estimado	Tipo	Distribución	Incertidumbre	factor	Incertidumbre estándar	grados de libertad	c_i	contribución a incertidumbre	Porcentaje
Calibración del termómetro patrón (corrección e incertidumbre)	$u(\delta(t)_{cor})$	0.006 °C	B	N	0.050 °C	2.0	0.025 °C	241	1.0	0.025 °C	5.5
Resolución del termómetro patrón	$u(\delta(t)_{res})$	0.000 °C	B	R	0.001 °C	3.464	0.0003 °C	∞	1.0	0.0003 °C	0.1
Temperatura indicada y repetibilidad del termómetro patrón	$u(\delta(t)_{rep})$	660.015 °C	A	N	0.028 °C	3.0	0.009 °C	8	1.0	0.009 °C	2.1
Deriva del termómetro patrón	$u(\delta(t)_{der})$	0.000 °C	B	R	0.012 °C	1.732	0.007 °C	∞	1.0	0.007 °C	1.5
Interpolación corrección patrón	$u(\delta(t)_{int})$	0.000 °C	B	N	0.015 °C	2.236	0.007 °C	3	1.0	0.007 °C	1.5
Estabilidad del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Est})$	0.000 °C	B	R	0.040 °C	1.732	0.023 °C	∞	1.0	0.023 °C	5.1
Uniformidad radial del medio de comparación	$u(\delta(t)_{unf-r})$	0.000 °C	B	R	0.100 °C	1.732	0.058 °C	∞	1.0	0.058 °C	12.8
Uniformidad axial del medio de comparación	$u(\delta(t)_{unf-ax})$	0.000 °C	B	R	0.500 °C	1.732	0.289 °C	∞	1.0	0.289 °C	63.9
Efecto de carga del medio de comparación	$u(\delta(t)_{car})$	0.000 °C	B	R	0.025 °C	1.732	0.014 °C	∞	1.0	0.014 °C	3.2
Resolución del IBC	$u(\delta(t)_{res})$	0.000 °C	B	R	0.001 °C	3.464	0.0003 °C	∞	1.0	-0.0003 °C	0.1
Temperatura indicada y repetibilidad del IBC	$u(\delta(t)_{rep})$	659.973 °C	A	N	0.045 °C	3.0	0.0150 °C	8	1.0	-0.0150 °C	3.3
Variación en cero del IBC	$u(\delta(t)_{vc})$	0.000 °C	A	R	0.007 °C	1.732	0.0040 °C	∞	1.0	-0.0040 °C	0.9
Corrección	C	0.05 °C	A	t-student	0.59 °C	2.0	0.297 °C	879377			100.0

Los grados de libertad efectivos son 879 377. La incertidumbre de medición expandida asociada al valor de la corrección del termómetro bajo calibración es:

$$U = k u_c = 2.0 \times 0.297 \text{ °C} = 0.59 \text{ °C}$$

donde, se expresa la incertidumbre de medición expandida con dos cifras significativas.

Resultado:

El termómetro a una temperatura indicada de 659.973 °C, tiene una corrección de + 0.05 °C ± 0.59 °C

donde, se expresó la corrección con dos cifras significativas para mantener la concordancia con la incertidumbre de medición expandida. La incertidumbre de medición expandida es la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura $k = 2.0$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de 95.45 % para una distribución de t-student.

ANEXO 3. EJEMPLO DE EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN, IBC: UN TERMÓMETRO DIGITAL CON TERMISTOR, MEDIO DE COMPARACION BAÑO LÍQUIDO

- 1) Como termómetro patrón se tiene un termómetro digital con PRT Pt100 con lectura en °C, con una resolución de 0.001 °C. El promedio de las lecturas del termómetro patrón es de 20.005 °C y una desviación estándar de 0.007 °C, para $n = 9$.
- 2) La incertidumbre expandida de medida de calibración del termómetro patrón, U es 2.3×10^{-2} °C para $k = 2.0$. La corrección del termómetro patrón en el certificado de calibración se aplica a las lecturas del mismo y no se incluye en la incertidumbre de medida.
- 3) La incertidumbre por deriva se obtiene del histórico de las calibraciones del termómetro patrón, en este caso es de ± 0.003 °C; se toma como una distribución rectangular.
- 4) La incertidumbre por interpolación se obtiene de la desviación estándar de los residuos de la corrección interpolada a partir de la información del certificado de calibración del termómetro patrón, en este caso es de ± 0.007 °C; para un modelo lineal; se toma como una distribución normal, con $(n - p)$ grados de libertad; aquí n es el número de datos del certificado de calibración, para este ejemplo $n = 5$ y $p = 2$.
- 5) Como medio de comparación se tiene un baño de agua a 20 °C con los siguientes parámetros de caracterización evaluados a 20 °C: una uniformidad de ± 0.011 °C; la estabilidad del baño es de ± 0.010 °C; ambas se toman como distribuciones rectangulares.
- 6) El IBC es un termómetro digital con termistor; con una resolución de 0.1 °C. La media de las lecturas del termómetro es de 20.0 °C, para $n = 9$.
- 7) La repetibilidad del IBC corresponde a 0.15 °C, para $n = 9$.
- 8) La histéresis del IBC corresponde a 0.1 °C.

El presupuesto de incertidumbre de medición es el siguiente:

Tabla 10. Ejemplo de evaluación de la incertidumbre de medición, IBC: un termómetro digital con termistor, medio de comparación baño líquido

Fuente de Incertidumbre	Simbolo	Valor estimado	Tipo	Distribución	Incertidumbre	factor	Incertidumbre standard	grados de libertad	c.	Contribución a incertidumbre	Porcentaje
Calibración del termómetro patrón (corrección e incertidumbre)	$u(\delta(t_p)_{cert})$	0.008 °C	B	N	0.023 °C	2.0	0.012 °C	241	1.0	0.012 °C	6.9
Resolución del termómetro patrón	$u(\delta(t_p)_{res})$	0.000 °C	B	R	0.001 °C	3.464	0.0003 °C	∞	1.0	0.0003 °C	0.2
Temperatura indicada y repetibilidad del termómetro patrón	$u(\delta(t_p)_{rep})$	20.005 °C	A	N	0.007 °C	3.0	0.002 °C	8	1.0	0.002 °C	1.4
Deriva del termómetro patrón	$u(\delta(t_p)_{der})$	0.000 °C	B	R	0.003 °C	1.732	0.002 °C	∞	1.0	0.002 °C	1.0
Interpolación corrección patrón	$u(\delta(t_p)_{int})$	0.000 °C	B	N	0.007 °C	2.236	0.003 °C	3	1.0	0.003 °C	1.9
Estabilidad del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Est})$	0.000 °C	B	R	0.010 °C	1.732	0.006 °C	∞	1.0	0.006 °C	3.4
Uniformidad del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Unf})$	0.000 °C	B	R	0.011 °C	1.732	0.006 °C	∞	1.0	0.006 °C	3.8
Resolución del IBC	$u(\delta(t_x)_{res})$	0.000 °C	B	R	0.1 °C	3.464	0.0289 °C	∞	-1.0	-0.0289 °C	17.2
Temperatura indicada y repetibilidad del IBC	$u(\delta(t_x)_{rep})$	20.0 °C	A	N	0.15 °C	3.0	0.0500 °C	8	-1.0	-0.0500 °C	29.8
Variación en cero del IBC	$u(\delta(t_x)_{vc})$	0.000 °C	A	R	0.1 °C	1.732	0.0577 °C	∞	-1.0	-0.0577 °C	34.4
Corrección	C	0.0 °C	A	t-student	0.2 °C	2.0	0.083 °C	61			100.0

Los grados de libertad efectivos son 61. La incertidumbre de medición expandida asociada al valor de la corrección del termómetro bajo calibración es:

$$U = k u_c = 2.0 \times 0.083 \text{ °C} = 0.2 \text{ °C}$$

donde, se redondeó la incertidumbre de medición expandida según la resolución del IBC.

Resultado:

El termómetro a una temperatura indicada de 20.0 °C, tiene una corrección de 0.0 °C ± 0.2 °C.

La incertidumbre de medición expandida es la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura $\kappa = 2.0$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de 95.45 % para una distribución de t-student.

ANEXO 4. EJEMPLO DE EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN, IBC: UN TERMÓMETRO DIGITAL CON TERMISTOR MEDIO DE COMPARACION HORNO DE BLOQUE METÁLICO

- 1) Como termómetro patrón se tiene un termómetro digital con PRT Pt100 con lectura en °C, con una resolución de 0.001 °C. El promedio de las lecturas del termómetro patrón es de 100.010 °C y una desviación estándar de 0.019 °C, para $n = 9$.
- 2) La incertidumbre de medición de calibración del termómetro patrón, U es 2.5×10^{-2} °C para $k = 2.0$. La corrección del termómetro patrón en el certificado de calibración se aplican a las lecturas del mismo y no se incluyen en la incertidumbre de medida.
- 3) La incertidumbre por deriva se obtiene del histórico de las calibraciones del termómetro patrón, en este caso es de ± 0.009 °C; se toma como una distribución rectangular.
- 4) La incertidumbre por interpolación se obtiene de la desviación estándar de los residuos de la corrección interpolada a partir de la información del certificado de calibración del termómetro patrón, en este caso es de ± 0.007 °C; para un modelo lineal; se toma como una distribución normal, con $(n - p)$ grados de libertad; aquí n es el número de datos del certificado de calibración, para este ejemplo $n = 5$ y $p = 2$.
- 5) Como medio de comparación se tiene un horno de bloque metálico con los siguientes parámetros de caracterización evaluados a 100 °C: estabilidad de 0.030 °C; uniformidad radial de ± 0.050 °C; uniformidad axial de ± 0.020 °C (evaluada a 10 mm desde el fondo del termopozo del bloque metálico) y efecto de carga de ± 0.010 °C; todas se toman como distribuciones rectangulares.
- 6) El IBC es un termómetro digital con termistor; con una resolución de 0,01 °C. La media de las lecturas del termómetro es de 99.92 °C, para $n = 9$.
- 7) La repetibilidad corresponde a 0.020 °C, para $n = 9$.
- 8) La histéresis corresponde a 0.03 °C.

El presupuesto de incertidumbre de medición es el siguiente:

Tabla 11. Ejemplo de evaluación de la incertidumbre de medición, IBC: un termómetro digital con termistor, medio de comparación horno de bloque metálico

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Valor estimado	Tipo	Distribución	Incertidumbre	factor	Incertidumbre estándar	grados de libertad	C _i	contribución a incertidumbre	Porcentaje
Calibración del termómetro patrón (corrección e incertidumbre)	$u(\delta(t)_{cor})$	0.010 °C	B	N	0.025 °C	2.0	0.013 °C	241	1.0	0.013 °C	10.6
Resolución del termómetro patrón	$u(\delta(t)_{res})$	0.000 °C	B	R	0.001 °C	3.464	$\frac{0.000}{3}$ °C	∞	1.0	0.0003 °C	0.2
Temperatura indicada y repetibilidad del termómetro patrón	$u(\delta(t)_{rep})$	100.010 °C	A	N	0.019 °C	3.0	0.006 °C	8	1.0	0.006 °C	5.4
Deriva del termómetro patrón	$u(\delta(t)_{der})$	0.000 °C	B	R	0.009 °C	1.732	0.005 °C	∞	1.0	0.005 °C	4.4
Interpolación corrección patrón	$u(\delta(t)_{int})$	0.000 °C	B	N	0.007 °C	2.236	0.003 °C	3	1.0	0.003 °C	2.7
Estabilidad del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Est})$	0.000 °C	B	R	0.030 °C	1.732	0.017 °C	∞	1.0	0.017 °C	14.7
Uniformidad radial del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Unif-r})$	0.000 °C	B	R	0.050 °C	1.732	0.029 °C	∞	1.0	0.029 °C	24.5
Uniformidad axial del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Unif-ax})$	0.000 °C	B	R	0.020 °C	1.732	0.012 °C	∞	1.0	0.012 °C	9.8
Efecto de carga del medio de comparación	$u(\delta(t)_{car})$	0.000 °C	B	R	0.010 °C	1.732	0.006 °C	∞	1.0	0.006 °C	4.9
Resolución del IBC	$u(\delta(x)_{res})$	0.000 °C	B	R	0.01 °C	3.464	$\frac{0.002}{9}$ °C	∞	-1.0	-0.0029 °C	2.4
Temperatura indicada y repetibilidad del IBC	$u(\delta(x)_{rep})$	99.92 °C	A	N	0.020 °C	3.0	$\frac{0.006}{7}$ °C	8	-1.0	-0.0067 °C	5.7
Variación en cero del IBC	$u(\delta(x)_{vc})$	0.000 °C	A	R	0.030 °C	1.732	$\frac{0.017}{3}$ °C	∞	-1.0	-0.0173 °C	14.7
Corrección	C	0.10 °C	A	t-student	0.09 °C	2.0	0.043 °C	6475			100.0

Los grados de libertad efectivos son 6 475. La incertidumbre de medición expandida asociada al valor de la corrección del termómetro bajo calibración es:

$$U = k u_c = 2.0 \times 0.043 \text{ °C} = 0.09 \text{ °C}$$

donde, se redondeó la incertidumbre de medición expandida según la resolución del IBC.

Resultado:

El termómetro a una temperatura indicada de 99.92 °C, tiene una corrección de $+ 0.10 \text{ °C} \pm 0.09 \text{ °C}$

La incertidumbre de medición expandida es la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura $\kappa = 2.0$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de 95.45 % para una distribución de t-student.

ANEXO 5. EJEMPLO DE EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN, IBC: UN TERMÓMETRO DIGITAL CON TERMOPAR, MEDIO DE COMPARACION BAÑO LÍQUIDO

- 1) Como termómetro patrón se tiene un termómetro digital con PRT Pt100 con lectura en °C, con una resolución de 0.001 °C. El promedio de las lecturas del termómetro patrón es de 100.015 °C y una desviación estándar de 0.006 °C, para $n = 9$.
- 2) La incertidumbre expandida de medida de calibración del termómetro patrón, U es 5.7×10^{-2} °C para $k = 2.0$. La corrección del termómetro patrón en el certificado de calibración se aplica a las lecturas del mismo y no se incluye en la incertidumbre de medida.
- 3) La incertidumbre por deriva se obtiene del histórico de las calibraciones del termómetro patrón, en este caso es de ± 0.020 °C; se toma como una distribución rectangular.
- 4) La incertidumbre por interpolación se obtiene de la desviación estándar de los residuos de la corrección interpolada a partir de la información del certificado de calibración del termómetro patrón, en este caso es de ± 0.018 °C; para un modelo lineal; se toma como una distribución normal, con $(n - p)$ grados de libertad; aquí n es el número de datos del certificado de calibración, para este ejemplo $n = 5$ y $p = 2$.
- 5) Como medio de comparación se tiene un baño de aceite a 100 °C con los siguientes parámetros de caracterización evaluados a 100 °C: una uniformidad de ± 0.012 °C; la estabilidad del baño es de ± 0.010 °C; ambas se toman como distribuciones rectangulares.
- 6) El IBC es un termómetro digital con termopar tipo K; con una resolución de 0.001 °C. La media de las lecturas del termómetro es de 99.993 °C, para $n = 9$.
- 7) La repetibilidad del IBC corresponde a 0.009 °C, para $n = 9$.
- 8) La inhomogeneidad del IBC a 100 °C corresponde a 0.050 °C.

El presupuesto de incertidumbre de medición es el siguiente:

Tabla 12. Ejemplo de evaluación de la incertidumbre de medición, IBC: un termómetro digital con termopar, medio de comparación baño líquido

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Valor estimado	Tipo	Distribución	Incertidumbre	factor	Incertidumbre estándar	grados de libertad	C_i	Contribución a incertidumbre	Porcentaje					
Calibración del termómetro patrón (corrección e incertidumbre)	$u(\delta(t_p)_{cert})$	0.012	°C	B	N	0.057	°C	2.0	0.029	°C	241	1.0	-	0.029	°C	29.9
Resolución del termómetro patrón	$u(\delta(t_p)_{res})$	0.000	°C	B	R	0.001	°C	3.464	$\frac{0.000}{3}$	°C	∞	1.0	-	0.0003	°C	0.3
Temperatura indicada y repetibilidad del termómetro patrón	$u(\delta(t_p)_{rep})$	100.015	°C	A	N	0.006	°C	3.0	0.002	°C	8	1.0	-	0.002	°C	2.1
Deriva del termómetro patrón	$u(\delta(t_p)_{der})$	0.000	°C	B	R	0.020	°C	1.732	0.012	°C	∞	1.0	-	0.012	°C	12.1
Interpolación corrección patrón	$u(\delta(t_p)_{int})$	0.000	°C	B	N	0.018	°C	2.236	0.008	°C	3	1.0	-	0.008	°C	8.5
Estabilidad del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Est})$	0.000	°C	B	R	0.010	°C	1.732	0.006	°C	∞	1.0	-	0.006	°C	6.1
Uniformidad del medio de comparación	$u(\delta(t)_{Unf})$	0.000	°C	B	R	0.012	°C	1.732	0.007	°C	∞	1.0	-	0.007	°C	7.3
Resolución del IBC	$u(\delta(t_x)_{res})$	0.000	°C	B	R	0.001	°C	3.464	$\frac{0.000}{3}$	°C	∞	-1.0	-	0.0003	°C	0.3
Temperatura indicada y repetibilidad del IBC	$u(\delta(t_x)_{rep})$	99.993	°C	A	N	0.009	°C	3.0	$\frac{0.003}{0}$	°C	8	-1.0	-	0.0030	°C	3.1
Inhomogeneidad del IBC	$u(\delta(t_x)_{inhom})$	0.000	°C	A	R	0.050	°C	1.732	$\frac{0.028}{9}$	°C	∞	-1.0	-	0.0289	°C	30.3
Corrección	C	0.034	°C	A	t- student	0.088	°C	2.0	0.044	°C	905					100.0

Los grados de libertad efectivos son 905. La incertidumbre de medición expandida asociada al valor de la corrección del termómetro bajo calibración es:

$$U = k u_c = 2.0 \times 0.044 \text{ °C} = 0.088 \text{ °C}$$

donde, se expresa la incertidumbre de medición expandida con dos cifras significativas.

Resultado:

El termómetro a una temperatura indicada de 99.993 °C, tiene una corrección de + 0.034 °C ± 0.088 °C.

La incertidumbre de medición expandida es la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura $\kappa = 2.0$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de 95.45 % para una distribución de t-student.

ANEXO 6. EJEMPLO DE EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN, IBC: UN TERMÓMETRO DIGITAL CON TERMOPAR, MEDIO DE COMPARACION HORNO DE BLOQUE METÁLICO

- 1) Como termómetro patrón se tiene un termómetro digital con PRT Pt100 con lectura en °C, con una resolución de 0.001 °C. El promedio de las lecturas del termómetro patrón es de 500.121 °C y una desviación estándar de 0.027 °C, para $n = 9$.
- 2) La incertidumbre de medición de calibración del termómetro patrón, U es 0.11 °C para $k = 2.0$. La corrección del termómetro patrón en el certificado de calibración se aplican a las lecturas del mismo y no se incluyen en la incertidumbre de medida.
- 3) La incertidumbre por deriva se obtiene del histórico de las calibraciones del termómetro patrón, en este caso es de ± 0.02 °C; se toma como una distribución rectangular.
- 4) La incertidumbre por interpolación se obtiene de la desviación estándar de los residuos de la corrección interpolada a partir de la información del certificado de calibración del termómetro patrón, en este caso es de ± 0.013 °C; para un modelo lineal; se toma como una distribución normal, con $(n - p)$ grados de libertad; aquí n es el número de datos del certificado de calibración, para este ejemplo $n = 5$ y $p = 2$.
- 5) Como medio de comparación se tiene un horno de bloque metálico con los siguientes parámetros de caracterización evaluados a 500 °C: estabilidad de 0.040 °C; uniformidad radial de ± 0.100 °C; uniformidad axial de ± 0.500 °C (evaluada a 50 mm desde el fondo del termopozo del bloque metálico) y efecto de carga de ± 0.070 °C; todas se toman como distribuciones rectangulares.
- 6) El IBC es un termómetro digital con termopar tipo J; con una resolución de 0,001 °C. La media de las lecturas del termómetro es de 499.968 °C, para $n = 9$.
- 7) La repetibilidad corresponde a 0.050 °C, para $n = 9$.
- 8) La inhomogeneidad del IBC a 100 °C corresponde a 0.023 °C.

El presupuesto de incertidumbre de medición es el siguiente:

Tabla 13. Ejemplo de evaluación de la incertidumbre de medición, IBC: un termómetro digital con termopar, medio de comparación horno de bloque metálico

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Valor estimado	Tipo	Distribución	Incertidumbre	factor	Incertidumbre estándar	grados de libertad	C_i	contribución a incertidumbre	Porcentaje					
Calibración del termómetro patrón (corrección e incertidumbre)	$u(\delta(t)_p)_{cor}$	0.006	°C	B	N	0.11	°C	2.0	0.055	°C	241	1.0	-	0.055	°C	10.5
Resolución del termómetro patrón	$u(\delta(t)_p)_{res}$	0.000	°C	B	R	0.001	°C	3.464	0.0003	°C	∞	1.0	-	0.0003	°C	0.1
Temperatura indicada y repetibilidad del termómetro patrón	$u(\delta(t)_p)_{rep}$	500.121	°C	A	N	0.027	°C	3.0	0.009	°C	8	1.0	-	0.009	°C	1.7
Deriva del termómetro patrón	$u(\delta(t)_p)_{der}$	0.000	°C	B	R	0.02	°C	1.732	0.012	°C	∞	1.0	-	0.012	°C	2.2
Interpolación corrección patrón	$u(\delta(t)_p)_{int}$	0.000	°C	B	N	0.013	°C	2.236	0.006	°C	3	1.0	-	0.006	°C	1.1
Estabilidad del medio de comparación	$u(\delta(t))_{Est}$	0.000	°C	B	R	0.040	°C	1.732	0.023	°C	∞	1.0	-	0.023	°C	4.4
Uniformidad radial del medio de comparación	$u(\delta(t))_{Unif-r}$	0.000	°C	B	R	0.100	°C	1.732	0.058	°C	∞	1.0	-	0.058	°C	11.1
Uniformidad axial del medio de comparación	$u(\delta(t))_{Unif-ax}$	0.000	°C	B	R	0.500	°C	1.732	0.289	°C	∞	1.0	-	0.289	°C	55.3
Efecto de carga del medio de comparación	$u(\delta(t))_{ca}$	0.000	°C	B	R	0.070	°C	1.732	0.040	°C	∞	1.0	-	0.040	°C	7.7
Resolución del IBC	$u(\delta(t_x))_{res}$	0.000	°C	B	R	0.001	°C	3.464	0.0003	°C	∞	-1.0	-	-0.0003	°C	0.1
Temperatura indicada y repetibilidad del IBC	$u(\delta(t_x))_{rep}$	499.968	°C	A	N	0.050	°C	3.0	0.0167	°C	8	-1.0	-	-0.0167	°C	3.2
Inhomogeneidad del IBC	$u(\delta(t_x))_{inhom}$	0.000	°C	A	R	0.023	°C	1.732	0.0133	°C	∞	-1.0	-	-0.0133	°C	2.5
Corrección	C	0.16	°C	A	t-student	0.61	°C	2.0	0.304	°C	176888					100.0

Los grados de libertad efectivos 176 888. La incertidumbre de medición expandida asociada al valor de la corrección del termómetro bajo calibración es:

$$U = k u_c = 2.0 \times 0.304 \text{ °C} = 0.61 \text{ °C}$$

donde, se expresa la incertidumbre de medición expandida con dos cifras significativas.

Resultado:

El termómetro a una temperatura indicada de $499.968\text{ }^{\circ}\text{C}$, tiene una corrección de $+ 0.16\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.61\text{ }^{\circ}\text{C}$

donde, se expresó la corrección con dos cifras significativas para mantener la concordancia con la incertidumbre de medición expandida. La incertidumbre de medición expandida es la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura $\kappa = 2.0$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de 95.45 % para una distribución de t-student.

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