

INSTITUTO BOLIVIANO DE METROLOGÍA



ENSAYO DE APTITUD

UFTE-EA-01-2023

“CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DIGITALES”

**DESDE -20 °C A 200 °C CON UNA
PRECISIÓN DE HASTA $\pm 0,3$ °C**

INFORME FINAL

DIRECCIÓN DE METROLOGÍA
INDUSTRIAL Y CIENTÍFICA – DMIC

Gestión 2023

Elaborado por:	Ana Maria Bernabe Mamani	Fecha:	2023-12-22
Revisado y aprobado por:	Juan Jose Mendoza Aguirre	Fecha:	2023-12-29

Contenido

1.	<i>INTRODUCCIÓN</i>	3
2.	<i>OBJETIVOS</i>	3
3.	<i>ORGANIZACIÓN</i>	4
4.	<i>UNIDAD DE COORDINACIÓN</i>	4
5.	<i>PARTICIPANTES</i>	4
6.	<i>ACTIVIDADES SUBCONTRATADAS</i>	5
7.	<i>CONFIDENCIALIDAD</i>	5
8.	<i>ÍTEMS DE ENSAYO DE APTITUD</i>	5
8.1.	DESCRIPCIÓN Y PREPARACIÓN DEL ÍTEM DE ENSAYO.	5
8.2.	RESULTADOS DE CONTROL DEL ÍTEM DE ENSAYO EN EL PUNTO DE HIELO	6
8.3.	DERIVA DEL ÍTEM DE ENSAYO	8
9.	<i>ASIGNACIÓN DEL VALOR</i>	8
9.1.	PROCEDIMIENTO PARA LA ASIGNACIÓN DEL VALOR DEL ÍTEM DE ENSAYO	8
9.2.	VALORES DE REFERENCIA ASIGNADOS Y TRAZABILIDAD METROLÓGICA.....	10
10.	<i>RESULTADOS DE LOS PARTICIPANTES</i>	10
10.1.	<i>MÉTODOS UTILIZADOS POR LOS PARTICIPANTES</i>	11
10.2.	<i>RESULTADOS GLOBALES DE LOS PARTICIPANTES</i>	11
11.	<i>EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO</i>	23
11.1.	METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS PARTICIPANTES	23
11.2.	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS PARTICIPANTES.....	23
12.	<i>CONCLUSIONES</i>	32
13.	<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	33

1. INTRODUCCIÓN

Los ensayos de aptitud son una herramienta para la determinación del desempeño de los laboratorios a través de comparaciones interlaboratorios y además, son considerados como indispensables para el aseguramiento de la calidad de los resultados de los ensayos según la NB-ISO/IEC/17025:2018 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración".

IBMETRO en su calidad de Instituto Nacional de Metrología, es proveedor de Ensayos de Aptitud atendiendo las necesidades de los laboratorios dentro nuestro territorio.

2. OBJETIVOS

- ✓ Proporcionar información técnica relativa a las mediciones para las calibraciones de termómetros con respecto al laboratorio de referencia que en este caso será el Laboratorio de Temperatura del Instituto Boliviano de Metrología (IBMETRO).
 - ✓ Evaluar el desempeño de los laboratorios e instituciones participantes, proporcionando la oportunidad de realizar comparaciones y tener una valoración independiente de los datos del laboratorio comparados con valores de referencia o con el desempeño de organismos similares en el ensayo propuesto.
 - ✓ Contribuir en la identificación de problemas de ensayo y/o medición en los organismos, en la implementación, toma y adopción de acciones correctivas.
 - ✓ Proveer a los laboratorios de calibración de una herramienta para que evalúen y demuestren su competencia técnica y una forma de aseguramiento de la calidad de los resultados emitidos para las capacidades de medición reportadas ante sus clientes y demás interesados.
 - ✓ Promover el desarrollo de la infraestructura metrológica boliviana y la confianza de los usuarios en la veracidad de los resultados de medición y calibración acogidos por dicha infraestructura.
-

3. ORGANIZACIÓN



Unidad de Flujo, Termometría y Electricidad– UFTE

Dirección de Metrología Industrial y Científica - IBMETRO

La Paz, Av. Camacho casi esq. Bueno Nro. 1488

Tel./Fax (591-2) 2147945 – 2372046 int. 330

Celular corp. (+591) 67011648

Web: www.ibmetro.gob.bo

4. UNIDAD DE COORDINACIÓN

COMITÉ CIENTÍFICO - TÉCNICO

- Ing. Juan Jose Mendoza Aguirre – Coordinador técnico del ensayo de aptitud.
- Ing. Ana Maria Bernabe Mamani – Responsable técnico del ensayo de aptitud.
- Ing. Henry Paco Mariño – Director de Metrología Industrial y Científica

5. PARTICIPANTES

El presente ensayo considera dentro de su alcance a laboratorios e instituciones en general que realizan **calibración de Termómetros digitales” desde -20 °C a 200 °C con una precisión de hasta $\pm 0,3$ °C**, para que demuestren su competencia técnica y su capacidad para reproducir resultados confiables. La participación de los laboratorios dentro de estas evaluaciones de desempeño les permite contar con pruebas objetivas para demostrar y asegurar la calidad de sus resultados, complementar la validación, sus métodos de medición, detectar posibles fuentes de incertidumbre o errores no considerados, introducir mejoras al proceso de medición y cumplir con requisitos técnicos para un proceso de acreditación.

Es importante resaltar que la numeración de la tabla 1 es solamente un indicativo del número de laboratorios participantes en el Ensayo de Aptitud, no está asociada a la identificación de los laboratorios en la presentación de los resultados.

Nro.		INSTITUCIÓN	DEPARTAMENTO
1	EMPRESA Y/O LABORATORIO	51BF	La Paz
2		93FB	Santa Cruz
3		16AB	La Paz
4		340E	La Paz
5		BAE8	La Paz
6		0A70	Santa Cruz
7		C6E4	Chuquisaca
8		5EE8	Tarija

Tabla 1. Laboratorios participantes

6. ACTIVIDADES SUBCONTRATADAS

Ninguna de las actividades necesarias para el desarrollo del presente ensayo de aptitud fue subcontratada por el proveedor.

7. CONFIDENCIALIDAD

- La totalidad del personal del proveedor del ensayo de aptitud (IBMETRO) cuenta con un compromiso de confidencialidad firmado.
- Toda información entregada por los participantes es confidencial y anónima, solo conocida por el proveedor del ensayo de aptitud (IBMETRO) y el mismo participante.
- La identidad de los participantes es protegida mediante el uso de un código numérico individualizado.
- Los informes, en los que se muestran los resultados y las conclusiones del ensayo de aptitud, son públicos, respetando el anonimato de los participantes.

8. ÍTEMS DE ENSAYO DE APTITUD

Las muestras de ensayo de aptitud provistas a los participantes fueron adquiridas por el proveedor de ensayo de aptitud (IBMETRO), las mismas fueron preparadas por el laboratorio de Temperatura antes de ser entregadas a los participantes.

8.1. DESCRIPCIÓN Y PREPARACIÓN DEL ÍTEM DE ENSAYO.

Como ítems de ensayos se utilizó dos termómetros digitales tipo T con las siguientes características:

Características	Instrumento N.º 1	Instrumento N.º 2
<i>Tipo</i>	Digital	Digital
<i>Alcance máximo</i>	-50 °C a 220 °C	-50 °C a 220 °C
<i>Precisión</i>	+/- 0,3 °C	+/- 0,3 °C
<i>Marca</i>	HANNA	HANNA
<i>Modelo</i>	HI 145	HI 145
<i>Serie/Código interno</i>	IBM011040209	IBM011040210
<i>Condiciones de operación</i>	-10 °C a 50 °C Max 95 %HR	-10 °C a 50 °C Max 95 %HR

Tabla 2. Ítems de ensayo por participante.



Figura 1: Ítems de ensayos de aptitud IBM011040209 e IBM011040210

8.2. RESULTADOS DE CONTROL DEL ÍTEM DE ENSAYO EN EL PUNTO DE HIELO

En la figura 2 se muestran los valores reportados por los participantes, para las mediciones de control del ítem de ensayo en el punto del hielo (0,0 °C) y sus incertidumbres de medición asociadas, junto con las mediciones realizadas en el laboratorio de temperatura de IBMETRO, entre los transportes realizados a las instalaciones de cada laboratorio.

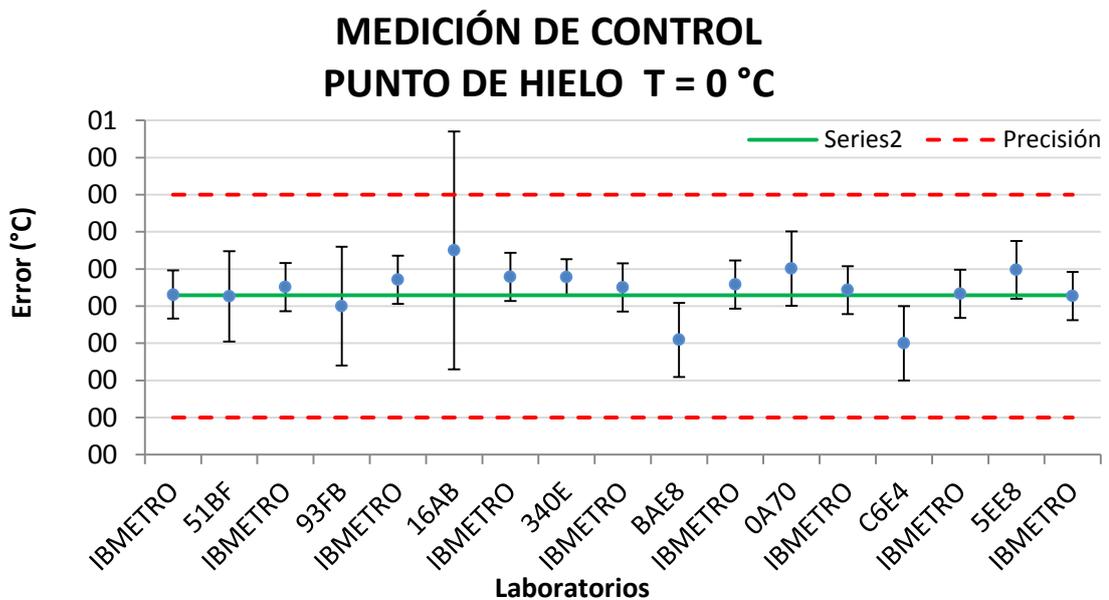


Figura 2: Registro de control para los Ítems IBM011040209 y sus incertidumbres en el punto de hielo (0 °C) reportado por los participantes durante el ensayo de aptitud, las líneas punteadas corresponde a la precisión de los instrumentos según su especificación técnica.

Estas mediciones permitieron mantener el control metrológico sobre ítem de ensayo a lo largo de todo el proceso de intercomparación, demostrar su estabilidad en el tiempo y, por

lo tanto, la validez de los resultados obtenidos; y adicionalmente, fue una fuente confiable de información para haber podido tomar acciones correctivas, ante cualquier cambio significativo que se hubiera presentado en el ítem de ensayo; sin embargo, durante toda la intercomparación, incluyendo el transporte del ítem de ensayo y las sucesivas calibraciones de los participantes, no se detectó ningún comportamiento anómalo, lo que da como resultado una estabilidad apropiada a nivel de exactitud, durante toda la intercomparación, esto para el termómetro digital **IBM011040209**.

Así también se pudo demostrar que a lo largo de todo el proceso de intercomparación las variaciones que tuvo el termómetro digital IBM011040210 fueron considerables, en la figura 3 se muestra las mediciones asociadas a sus incertidumbres para el punto (0,0 °C)

MEDICIÓN DE CONTROL PUNTO DE HIELO T = 0 °C

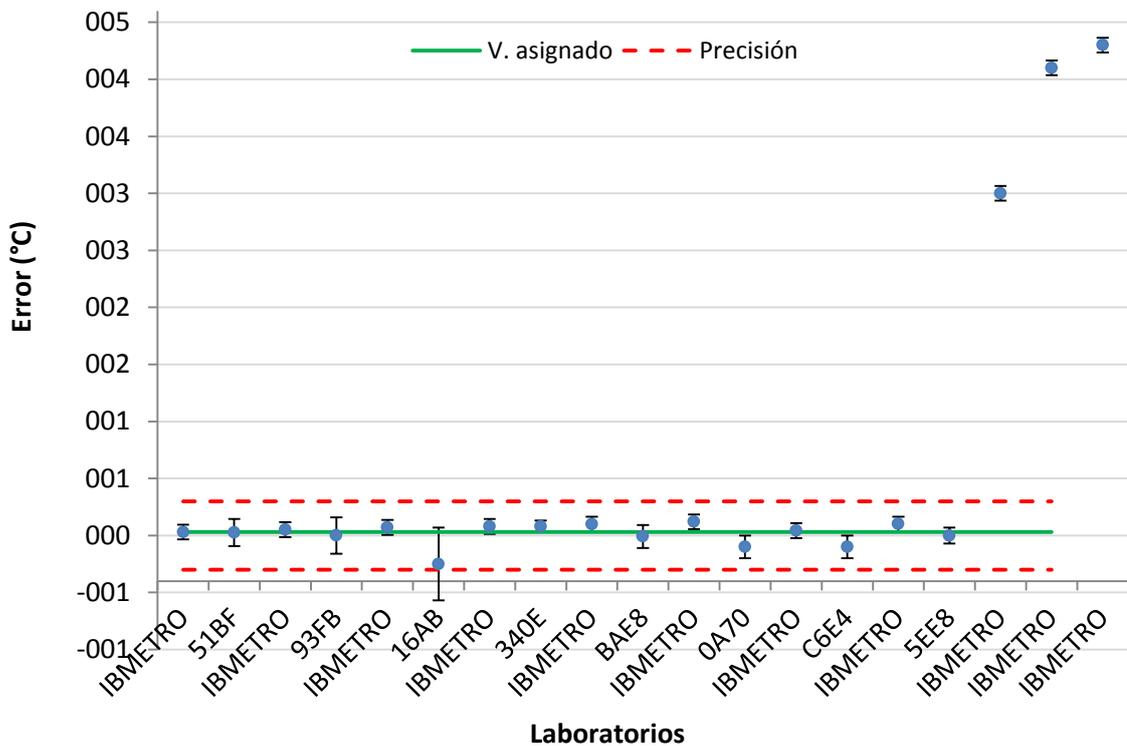


Figura 3: Registro de control para los Ítems IBM011040210 y sus incertidumbres en el punto de hielo (0 °C) reportado por los participantes durante el ensayo de aptitud, las líneas punteadas corresponde a la precisión de los instrumentos según su especificación técnica.

El Termómetro digital, que tiene por código interno IBM011040210, muestra desviaciones que están fuera de su error máximo permisible dentro de lo declarado por el fabricante.

Este comportamiento anómalo, y da como resultado una inestabilidad apropiada a nivel de precisión del instrumento, durante toda la intercomparación, esto para el termómetro digital IBM011040210.

8.3. DERIVA DEL ÍTEM DE ENSAYO

Los ítems de ensayo de aptitud fueron sometidos a un estudio de deriva durante el proceso de ensayo de aptitud. El mismo estuvo a cargo del proveedor, y consistió en la realización de calibraciones antes (calibración 1) y después (calibración 2) del proceso de ensayo de aptitud. En la figura 4, se presentan los resultados obtenidos en el estudio de deriva, para todo el alcance de calibración - 20 °C hasta 200 °C.

Adicionalmente, a este estudio de deriva, se realizaron controles intermedios después de cada calibración por parte del proveedor en todos los puntos de calibración evaluados.

- Para el alcance de - 20 °C hasta 200 °C



Figura 4. Resultados del estudio de deriva realizado al ítem de ensayo IBM011040209 (Barras de error) e intervalo de cobertura al 95 % de confianza para el valor asignado en cada punto de calibración evaluado.

Para este caso y en función de los resultados del estudio de deriva, se consideró, para los valores de referencia de cada alcance, un aporte adicional de incertidumbre asociado a la deriva de los ítems de calibración durante todo el proceso de medición en el ensayo de aptitud.

9. ASIGNACIÓN DEL VALOR

9.1. PROCEDIMIENTO PARA LA ASIGNACIÓN DEL VALOR DEL ÍTEM DE ENSAYO

El valor asignado del ítem de ensayo fue determinado a partir de los resultados obtenidos en el estudio de deriva del ítem de ensayo. Como se mencionó anteriormente, la mayor parte de los resultados presentaron valores comparables tras el estudio de deriva, por lo que, para la estimación del valor asignado del ítem se siguió la ecuación (1), mientras que su respectiva incertidumbre expandida se obtuvo siguiendo la ecuación (2).

$$x_{ref,p} = \frac{x_{e1,p} + x_{e2,p}}{2} \quad (1)$$

Donde:

$x_{ref, p}$ es el valor asignado al ítem de ensayo (error), para el punto p ;

$x_{e1, p}$ es el error obtenido en la calibración 1 del ítem de ensayo, para el punto p ;

$x_{e2, p}$ es la error obtenido en la calibración 2 del ítem de ensayo, para el punto p ;

$$U_{ref,p} = 2 \cdot \sqrt{\max(u_{e1,p}, u_{e2,p})^2 + u_{der,p}^2} \quad (2)$$

Donde:

$U_{ref,p}$ es la incertidumbre expandida del valor asignado al ítem de ensayo, para el punto p .

$u_{e1, p}$ es la incertidumbre típica del error obtenido en la calibración 1 del ítem de ensayo, para el punto p .

$u_{e2, p}$ es la incertidumbre típica del error obtenido en la calibración 2 del ítem de ensayo, para el punto p .

$u_{der,p}$ es la incertidumbre típica por deriva del ítem de ensayo, para el punto p .

Adicionalmente, los valores asignados respectivos pueden observarse en la figura 1, 2 y 3 junto con los resultados del estudio de deriva utilizados para su estimación.

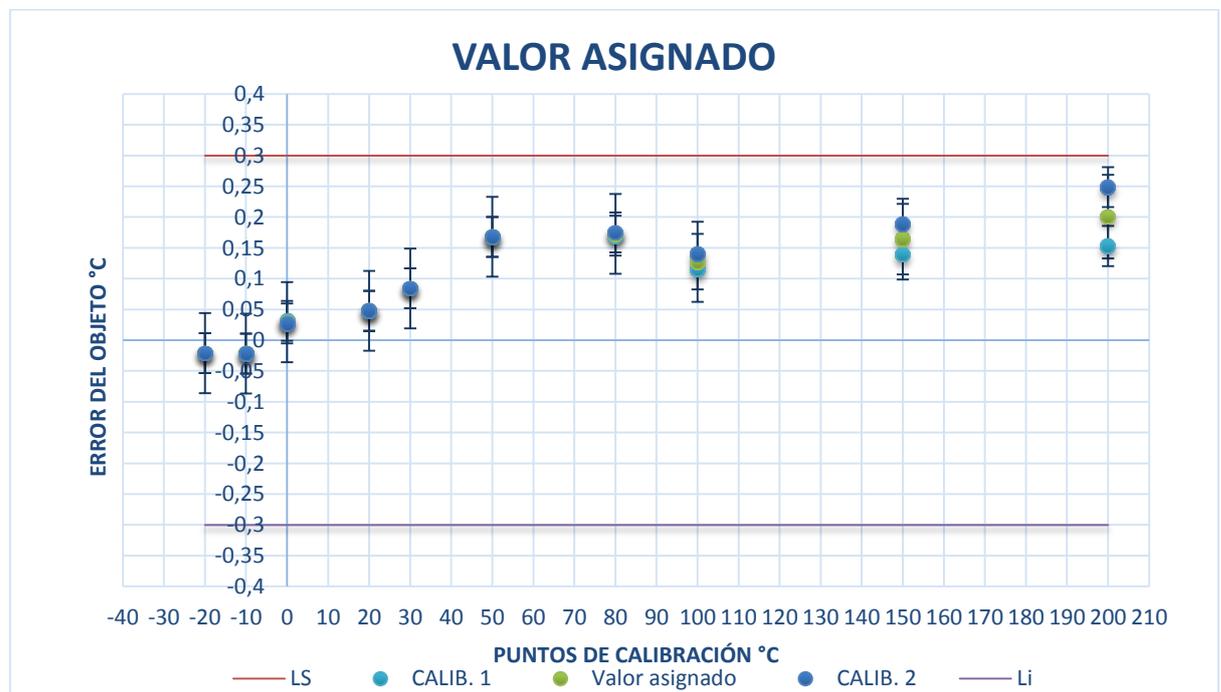


Figura 5. Resultados del estudio y evaluación del valor asignado a los ítems de ensayo IBM011040209 (barras de error) e intervalo de cobertura al 95 % de confianza para el valor asignado en cada punto de calibración evaluado.

9.2. VALORES DE REFERENCIA ASIGNADOS Y TRAZABILIDAD METROLÓGICA

Para el alcance de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$

Punto de calibración $^{\circ}\text{C}$	Valor asignado (error) $(^{\circ}\text{C})$	Incertidumbre expandida U_{ref} $(^{\circ}\text{C})$
-20	-0,02100	0,06487
-10	-0,02180	0,06487
0	0,02930	0,06488
20	0,04760	0,06487
30	0,08420	0,06487
50	0,16800	0,06487
80	0,17250	0,06488
100	0,12750	0,06508
150	0,16420	0,06571
200	0,20080	0,06792

Tabla 3. Valores asignados para el alcance de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, con un $k = 2$, para un 95 % de confianza.

• TRAZABILIDAD

Código Interno	Descripción	Marca y Modelo	Nro.	Origen
T PR 02	Termómetro de Resistencia de Platino Pt 25	Marca: HART SCIENTIFIC Modelo: 5699	LCM 04760222-2023	LACOMET, Costa Rica
T EM 08	Baño de Hielo	No indica	LP-CIT-0132-2023	IBMETRO, Bolivia
T EM 01	Baño de Glicol	Marca: LAUDA Modelo: UBJ65	LP-CIT-0133-2023	IBMETRO, Bolivia
T EM 03	Baño de Aceite I	Marca: LAUDA Modelo: UBJ65	LP-CIT-0135-2023	IBMETRO, Bolivia
T PR 06	Multímetro	Marca: HEWLETT PACKARD Modelo: 3458A	CNM-CC-410-291/2021	CENAM, México
T PT 02	Termómetro de resistencia de platino Pt 100	Marca: HARD SCIENTIFIC Modelo: 5612-B	LP-CIT-0174-2023	IBMETRO/ LA PAZ

Tabla 4. Trazabilidad de los patrones utilizados

10. RESULTADOS DE LOS PARTICIPANTES

Se solicitó a los participantes enviar un solo juego de resultados por laboratorio. Donde todos los resultados reportados por los participantes y recibidos por el proveedor de manera conforme en tiempo y forma, fueron considerados para los efectos de esta intercomparación, de modo que, sin excepción, no se admitieron resultados reportados de manera extemporánea, ni tampoco se aceptó más de un juego de resultados reportados por un mismo participante.

Así también es necesario mencionar que para el ensayo de aptitud se contaban con dos sensores de temperatura tipo aguja, de los cuales uno sufrió variaciones dentro de su estudio de deriva y lo cual se pudo observar (punto 8,3), dentro de las mediciones que reporta para cada punto de calibración asignado. Por lo que el reporte de resultados que

se está considerando para cada participante es con base en el Termómetro digital que tiene por codificación interna **IBM011040209**.

10.1. MÉTODOS UTILIZADOS POR LOS PARTICIPANTES

En el protocolo del presente ensayo de aptitud se solicitó a los participantes utilizar un mismo método de calibración por comparación directa, definido dentro de dicho documento y quedando solamente a elección de los participantes el fluido a utilizar en la calibración (al no ser esto un factor de influencia en la evaluación de su desempeño).

Ante este escenario, se considera que todos los resultados reportados por los participantes son comparables entre sí y con los resultados reportados por el proveedor como valores asignados al ítem de ensayo.

10.2. RESULTADOS GLOBALES DE LOS PARTICIPANTES

Los participantes de este ensayo de aptitud, reportaron los errores asociados al proceso de calibración del ítem de ensayo, junto con sus respectivas incertidumbres expandidas (todas con $k = 2$), utilizando la plantilla elaborada por cada Laboratorio tomando en cuenta los aportes citados en el protocolo del ensayo de aptitud.

El resumen de los resultados reportados, por punto de calibración, se muestra en las figuras desde la Figura 06 hasta la Figura 16 inclusive, junto al valor de referencia asignado del ítem de ensayo (línea punteada de color rojo) y su incertidumbre expandida (líneas continuas de color verde). Los resultados medidos por IBMETRO de las mediciones en las calibraciones iniciales, fueron llevadas a cabo por el laboratorio de Temperatura del IBMETRO. Cabe destacar que, dentro de los laboratorios participantes, dos de ellos se presentaron con un menor alcance: uno hasta el alcance de 100 °C y el otro laboratorio hasta 150 °C, no pudieron alcanzar la totalidad del alcance que es hasta 200 °C y se acepta porque es el alcance con el que cuentan actualmente. Además, se debe aclarar que, para facilitar la comprensión e interpretación de los resultados obtenidos, se ajustó la escala del eje vertical con un margen razonable que permitiera apreciar la mayoría de los resultados reportados; sin embargo, dado que algunos de los resultados reportados por los participantes, están desviados considerablemente del valor de referencia asignado, o bien la incertidumbre reportada, es significativamente mayor a la incertidumbre de referencia y que la incertidumbre reportada por el resto de los participantes, aparecen algunas barras de incertidumbre cortadas o flechas rojas indicando la dirección donde se encuentra el valor desviado. En las figuras en las que, en el eje horizontal, algunos de los laboratorios aparecen encerrados en un círculo rojo, se entiende que sus resultados reportados, quedaron por fuera del valor asignado de referencia, aun considerando la incertidumbre de referencia.

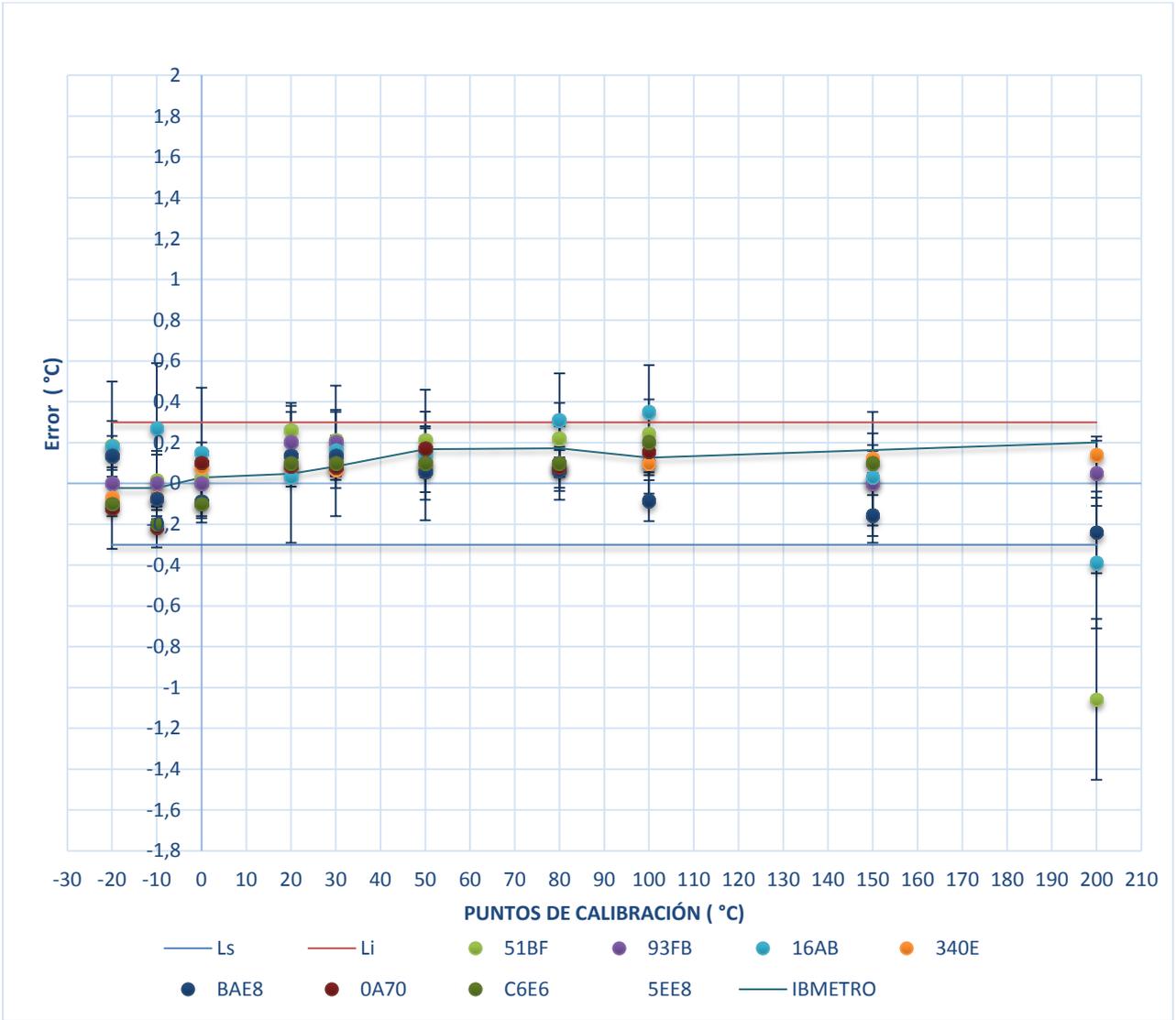


Figura 6. Resultados reportados por los participantes para el alcance de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Resultados reportados por los participantes para el alcance de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ A $200\text{ }^{\circ}\text{C}$

Resultados reportados $T = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$

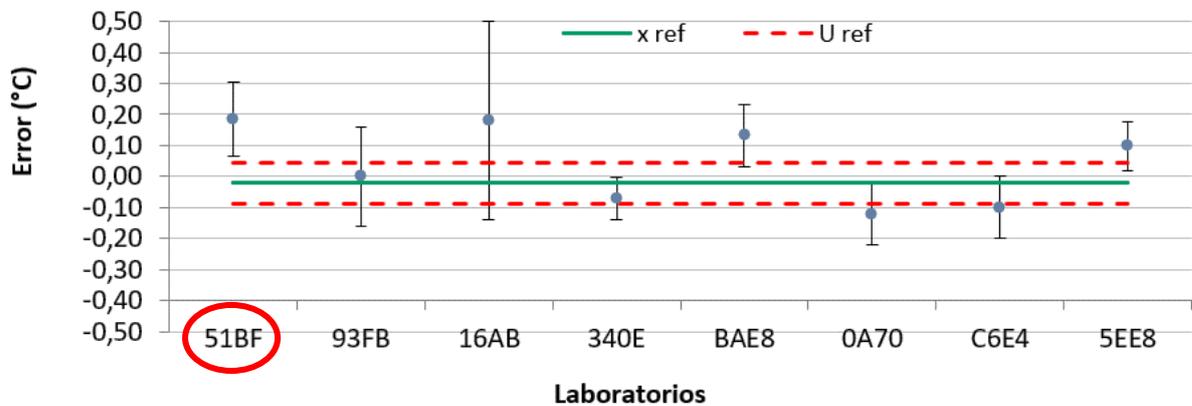


Figura 7. Resultados para $T = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023

Tomando en cuenta los resultados mostrados en la Figura 7, obtenidos según lo reportado por los participantes, para las mediciones a una temperatura nominal de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, realizan las siguientes:

1. Siete de los ocho laboratorios participantes que midieron a una temperatura nominal de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, obtuvieron resultados dentro de la incertidumbre de referencia asignada por el laboratorio de Temperatura del IBMETRO.
2. El participante 51BF, están por fuera de la incertidumbre de referencia.
3. En el caso de los ocho laboratorios, los 16AB, BAE8, 0A70, C6E4 y 5EE8, aunque no se ajustaron al valor de la referencia, su incertidumbre reportada sí quedó dentro de la incertidumbre de la referencia.
4. El laboratorio 16AB, reporta una incertidumbre de medición, un poco mayor en cinco veces, a la incertidumbre de referencia; en segundo lugar, con mayor incertidumbre, se tiene el laboratorio 93FB, que reporta una incertidumbre, un poco mayor que 2 a 3 veces, a la incertidumbre de referencia; mientras que los otros participantes con mayores incertidumbres, reportaron incertidumbres alrededor de dos y una vez mayor, respecto a la incertidumbre de referencia.
5. Uno de los ocho laboratorios, el 340E, con las menores incertidumbres, muy cerca a la incertidumbre de referencia, se recomienda que puedan revisar la planilla de presupuesto de incertidumbre.

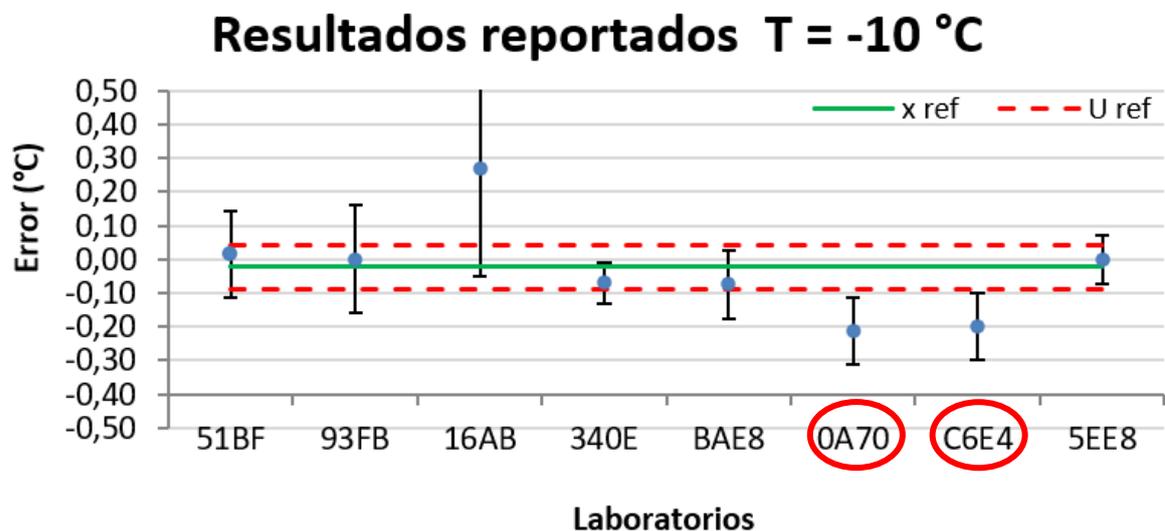


Figura 8. Resultados para $T = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023

Tomando en cuenta los resultados mostrados en la Figura 8, obtenidos según lo reportado por los participantes, para las mediciones a una temperatura nominal de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, realizan las siguientes:

1. Seis de los ocho laboratorios participantes que midieron a una temperatura nominal de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, obtuvieron resultados dentro de la incertidumbre de referencia asignada por el laboratorio de Temperatura del IBMETRO.

2. Los participantes 0A70 y C6EA, están por fuera de la incertidumbre de referencia.
3. En el caso de los ocho laboratorios, el 16AB, aunque no se ajustaron al valor de la referencia, su incertidumbre reportada sí quedó dentro de la incertidumbre de la referencia.
4. El laboratorio 16AB, reporta una incertidumbre de medición, un poco mayor en cinco veces, a la incertidumbre de referencia; en segundo lugar, con mayor incertidumbre, se tiene el laboratorio 93FB, que reporta una incertidumbre, un poco mayor que 2 a 3 veces, a la incertidumbre de referencia; mientras que los otros participantes con mayores incertidumbres, reportaron incertidumbres alrededor de dos y una vez mayor, respecto a la incertidumbre de referencia.
5. Uno de los ocho laboratorios, el 340E, con las menores incertidumbres, muy cerca a la incertidumbre de referencia, se recomienda que puedan revisar la planilla de presupuesto de incertidumbre.

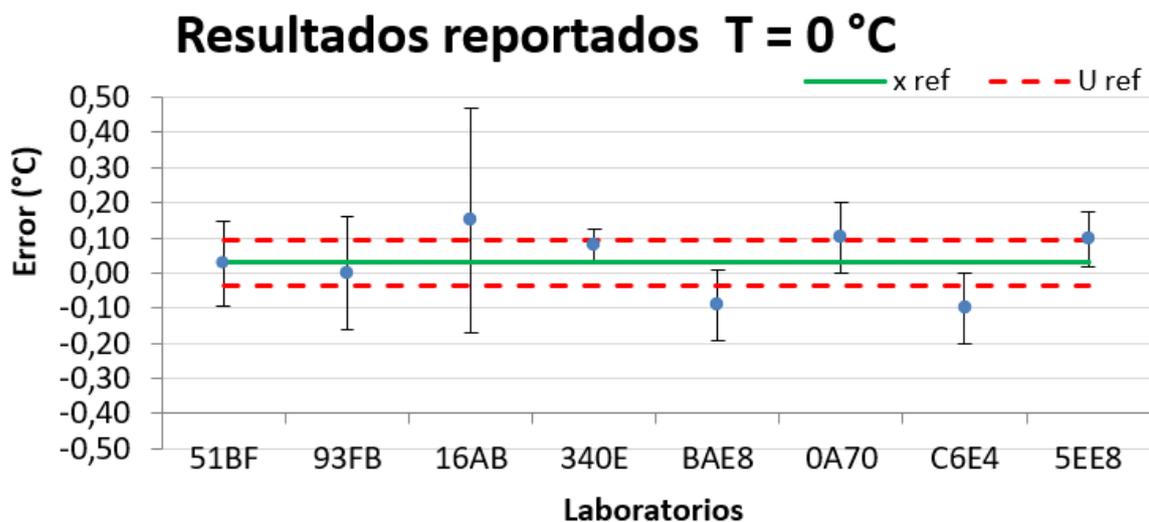


Figura 9. Resultados para $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023

Tomando en cuenta los resultados mostrados en la Figura 9, obtenidos según lo reportado por los participantes, para las mediciones a una temperatura nominal de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, realizan las siguientes:

1. Todos los laboratorios participantes midieron a una temperatura nominal de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, obtuvieron resultados dentro de la incertidumbre de referencia asignada por el laboratorio de Temperatura del IBMETRO.
2. Ninguno de los participantes, está por fuera de la incertidumbre de referencia.
3. En el caso de los ocho laboratorios, el 16AB, BAE8, 0A70, C6E4 y 5EE8, aunque no se ajustaron al valor de la referencia, su incertidumbre reportada sí quedó dentro de la incertidumbre de la referencia.

4. El laboratorio 16AB, reporta una incertidumbre de medición, un poco mayor en cinco veces, a la incertidumbre de referencia; en segundo lugar, con mayor incertidumbre, se tiene el laboratorio 93FB, que reporta una incertidumbre, un poco mayor que 2 a 3 veces, a la incertidumbre de referencia; mientras que los otros participantes con mayores incertidumbres, reportaron incertidumbres alrededor de dos a una vez mayor, respecto a la incertidumbre de referencia.

5. Uno de los ocho laboratorios, el 340E, con las menores incertidumbres, muy cerca a la incertidumbre de referencia, se recomienda que puedan revisar la planilla de presupuesto de incertidumbre.

Resultados reportados T = 20 °C

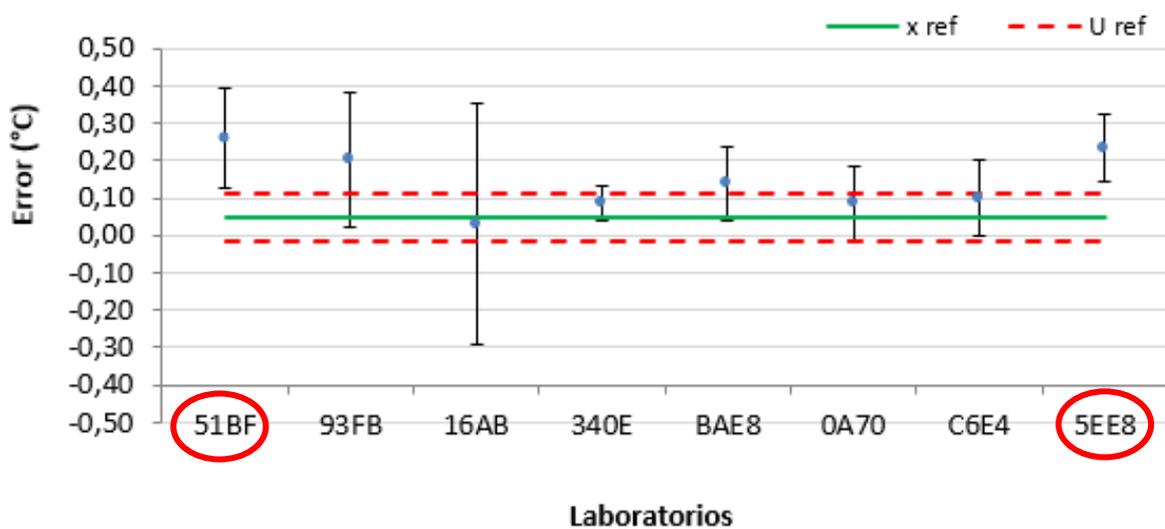


Figura 10. Resultados para T= 20 °C: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023

Tomando en cuenta los resultados mostrados en la Figura 10, obtenidos según lo reportado por los participantes, para las mediciones a una temperatura nominal de 20 °C, realizan las siguientes:

1. Seis de los ocho laboratorios participantes que midieron a una temperatura nominal de 20 °C, obtuvieron resultados dentro de la incertidumbre de referencia asignada por el laboratorio de Temperatura del IBMETRO.
2. El participante 51BF y 5EE8, están por fuera de la incertidumbre de referencia.
3. En el caso de los ocho laboratorios, el 93FB y BAE8 aunque no se ajustaron al valor de la referencia, su incertidumbre reportada sí quedó dentro de la incertidumbre de la referencia.
4. El laboratorio 16AB, reporta una incertidumbre de medición, un poco en que cinco veces, a la incertidumbre de referencia; en segundo lugar, con mayor incertidumbre, se tiene el laboratorio 93FB, que reporta una incertidumbre, un poco mayor que 2 a 3 veces, a la incertidumbre de referencia; mientras que los otros participantes con

mayores incertidumbres, reportaron incertidumbres alrededor de dos a una vez mayor, respecto a la incertidumbre de referencia.

5. Uno de los ocho laboratorios, el 340E, con las menores incertidumbres, muy cerca a la incertidumbre de referencia, se recomienda que puedan revisar la planilla de presupuesto de incertidumbre.

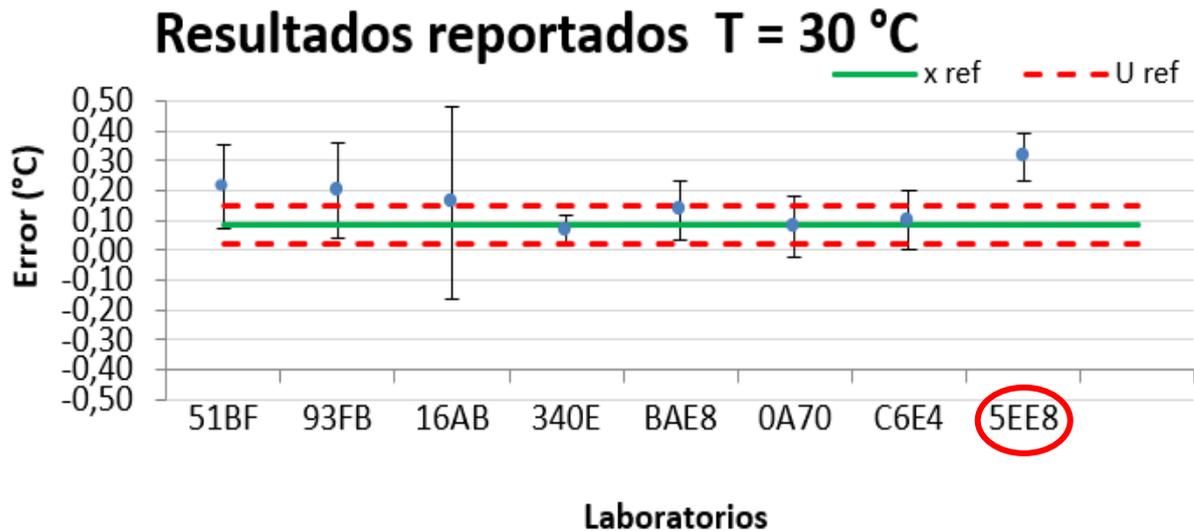


Figura 11. Resultados para T= 30 °C: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023

Tomando en cuenta los resultados mostrados en la Figura 11, obtenidos según lo reportado por los participantes, para las mediciones a una temperatura nominal de 30 °C, realizan las siguientes:

1. Siete de los ocho laboratorios participantes que midieron a una temperatura nominal de – 30 °C, obtuvieron resultados dentro de la incertidumbre de referencia asignada por el laboratorio de Temperatura del IBMETRO.
2. El participante 5EE8, están por fuera de la incertidumbre de referencia.
3. En el caso de dos ocho laboratorios, los 51BF, 93FB y 16AB, aunque no se ajustaron al valor de la referencia, su incertidumbre reportada sí quedó dentro de la incertidumbre de la referencia.
4. El laboratorio 16AB, reporta una incertidumbre de medición, un poco mayor en cinco veces, a la incertidumbre de referencia; en segundo lugar, con mayor incertidumbre, se tiene el laboratorio 93FB, que reporta una incertidumbre, un poco mayor que 2 a 3 veces, a la incertidumbre de referencia; mientras que los otros participantes con mayores incertidumbres, reportaron incertidumbres alrededor de dos a una vez mayor, respecto a la incertidumbre de referencia.

5. Uno de los ocho laboratorios, el 340E, con las menores incertidumbres, muy cerca a la incertidumbre de referencia, se recomienda que puedan revisar la planilla de presupuesto de incertidumbre.

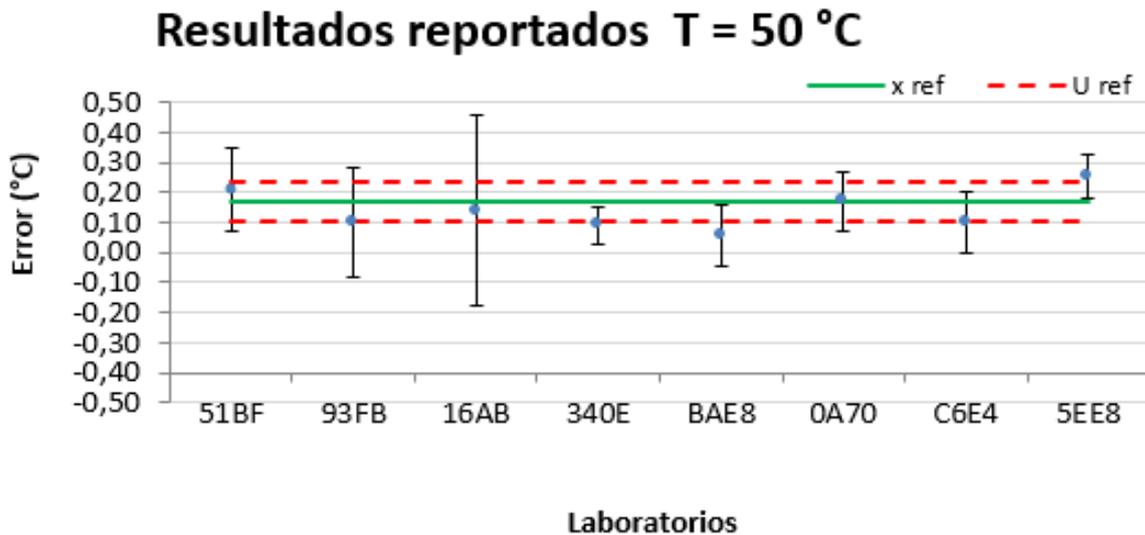


Figura 12. Resultados para T= 50 °C: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023

Tomando en cuenta los resultados mostrados en la Figura 12, obtenidos según lo reportado por los participantes, para las mediciones a una temperatura nominal de 50 °C, realizan las siguientes:

1. Todos los laboratorios participantes midieron a una temperatura nominal de 50 °C y obtuvieron resultados dentro de la incertidumbre de referencia asignada por el laboratorio de Temperatura del IBMETRO.
2. Ninguno de los participantes, está por fuera de la incertidumbre de referencia.
3. En el caso de los ocho laboratorios, el 340E, BAE8, C6E4 y 5EE8, aunque no se ajustaron al valor de la referencia, su incertidumbre reportada sí quedó dentro de la incertidumbre de la referencia.
4. El laboratorio 16AB, reporta una incertidumbre de medición, un poco mayor en cinco veces, a la incertidumbre de referencia; en segundo lugar, con mayor incertidumbre, se tiene el laboratorio 93FB, que reporta una incertidumbre, un poco mayor que 2 a 3 veces, a la incertidumbre de referencia; mientras que los otros participantes con mayores incertidumbres, reportaron incertidumbres alrededor de dos a una vez mayor, respecto a la incertidumbre de referencia.
5. Uno de los ocho laboratorios, el 340E, con las menores incertidumbres, muy cerca a la incertidumbre de referencia, se recomienda que puedan revisar la planilla de presupuesto de incertidumbre.

Resultados reportados T = 80 °C

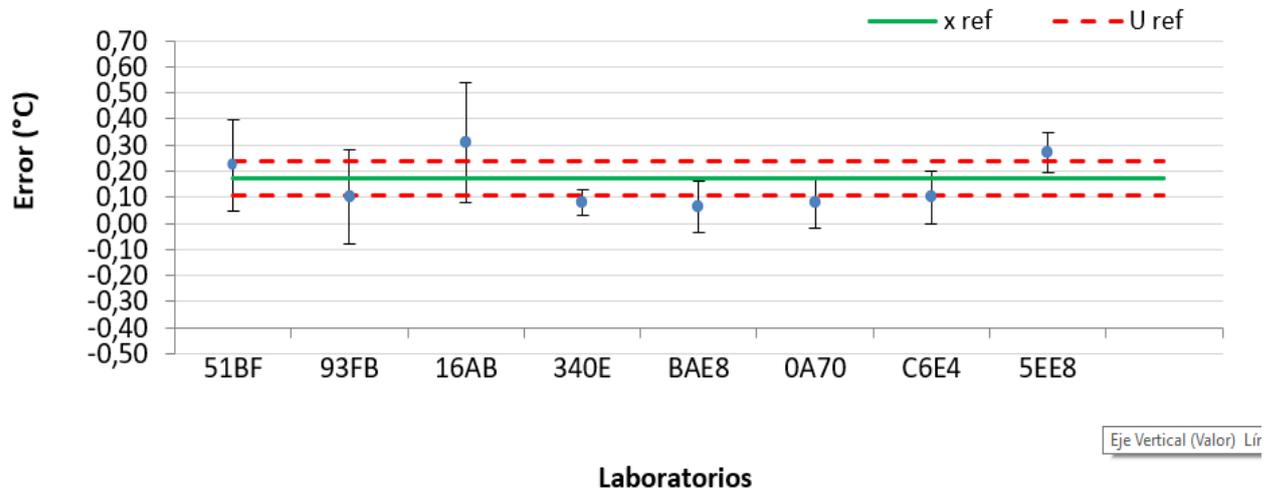


Figura 13. Resultados para T= 80 °C: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023

Tomando en cuenta los resultados mostrados en la Figura 13, obtenidos según lo reportado por los participantes, para las mediciones a una temperatura nominal de 80 °C, realizan las siguientes:

1. Todos los laboratorios participantes midieron a una temperatura nominal de 80 °C y obtuvieron resultados dentro de la incertidumbre de referencia asignada por el laboratorio de Temperatura del IBMETRO.
2. Ninguno de los participantes, está por fuera de la incertidumbre de referencia.
3. En el caso de los ocho laboratorios, el 16AB, 340E, BAE8, 0A70 y 5EE8, aunque no se ajustaron al valor de la referencia, su incertidumbre reportada sí quedó dentro de la incertidumbre de la referencia.
4. El laboratorio 16AB, reporta una incertidumbre de medición, un poco mayor que cinco veces, a la incertidumbre de referencia; en segundo lugar, con mayor incertidumbre, se tiene el laboratorio 93FB, que reporta una incertidumbre, un poco mayor en 2 a 3 veces, a la incertidumbre de referencia; mientras que los otros participantes con mayores incertidumbres, reportaron incertidumbres alrededor de dos a una vez mayor, respecto a la incertidumbre de referencia.
5. Uno de los ocho laboratorios, el 340E, con las menores incertidumbres, muy cerca a la incertidumbre de referencia, se recomienda que puedan revisar la planilla de presupuesto de incertidumbre.

Resultados reportados T = 100 °C

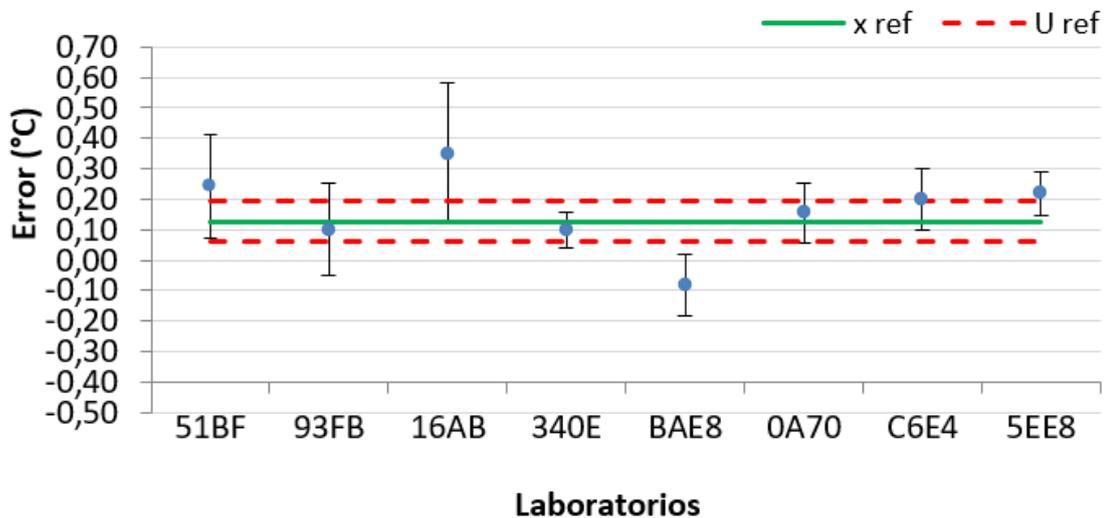


Figura 14. Resultados para T= 100 °C: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023

Tomando en cuenta los resultados mostrados en la Figura 14, obtenidos según lo reportado por los participantes, para las mediciones a una temperatura nominal de 100 °C, realizan las siguientes:

1. Todos los laboratorios participantes que midieron a una temperatura nominal de 100 °C, obtuvieron resultados dentro de la incertidumbre de referencia asignada por el laboratorio de Temperatura del IBMETRO.
2. El participante BAE8, está por fuera de la incertidumbre de referencia.
3. En el caso de dos de los diez laboratorios, el 51BF, 16AB, C6E4 y 5EE8, aunque no se ajustaron al valor de la referencia, su incertidumbre reportada sí quedó dentro de la incertidumbre de la referencia.
4. El laboratorio 16AB, reporta una incertidumbre de medición, un poco mayor que cinco veces, a la incertidumbre de referencia; en segundo lugar, con mayor incertidumbre, se tiene el laboratorio 93FB, que reporta una incertidumbre, un poco mayor en 2 a 3 veces, a la incertidumbre de referencia; mientras que los otros participantes con mayores incertidumbres, reportaron incertidumbres alrededor de dos a una vez mayor, respecto a la incertidumbre de referencia.
5. Uno de los ocho laboratorios, el 340E, con las menores incertidumbres, muy cerca a la incertidumbre de referencia, se recomienda que puedan revisar la planilla de presupuesto de incertidumbre.

Resultados reportados T = 150 °C

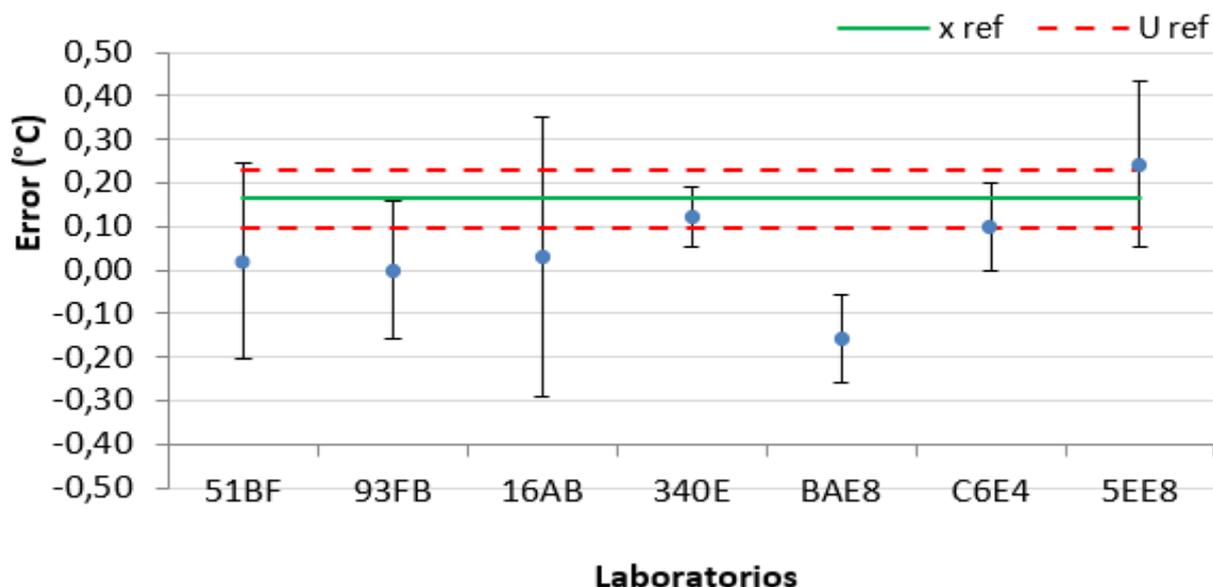


Figura 15. Resultados para T= 150 °C: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023

Tomando en cuenta los resultados mostrados en la Figura 15, obtenidos según lo reportado por los participantes, para las mediciones a una temperatura nominal de 150 °C, realizan las siguientes:

1. Siete de los ocho laboratorios participantes que midieron a una temperatura nominal de -20 °C , obtuvieron resultados dentro de la incertidumbre de referencia asignada por el laboratorio de Temperatura del IBMETRO.
2. El participante BAE8, está por fuera de la incertidumbre de referencia.
3. En el caso de dos de los diez laboratorios, el 16AB, BAE8, 0A70 y 5EE8, aunque no se ajustaron al valor de la referencia, su incertidumbre reportada sí quedó dentro de la incertidumbre de la referencia.
4. El laboratorio 16AB, reporta una incertidumbre de medición, un poco mayor que cinco veces, a la incertidumbre de referencia; en segundo lugar, con mayor incertidumbre, se tiene el laboratorio 93FB, que reporta una incertidumbre, un poco mayor en 2 a 3 veces, a la incertidumbre de referencia; mientras que los otros participantes con mayores incertidumbres, reportaron incertidumbres alrededor de dos a una vez mayor, respecto a la incertidumbre de referencia.
5. Uno de los ocho laboratorios, el 340E, con las menores incertidumbres, muy cerca a la incertidumbre de referencia, se recomienda que puedan revisar la planilla de presupuesto de incertidumbre.

Resultados reportados T = 200 °C

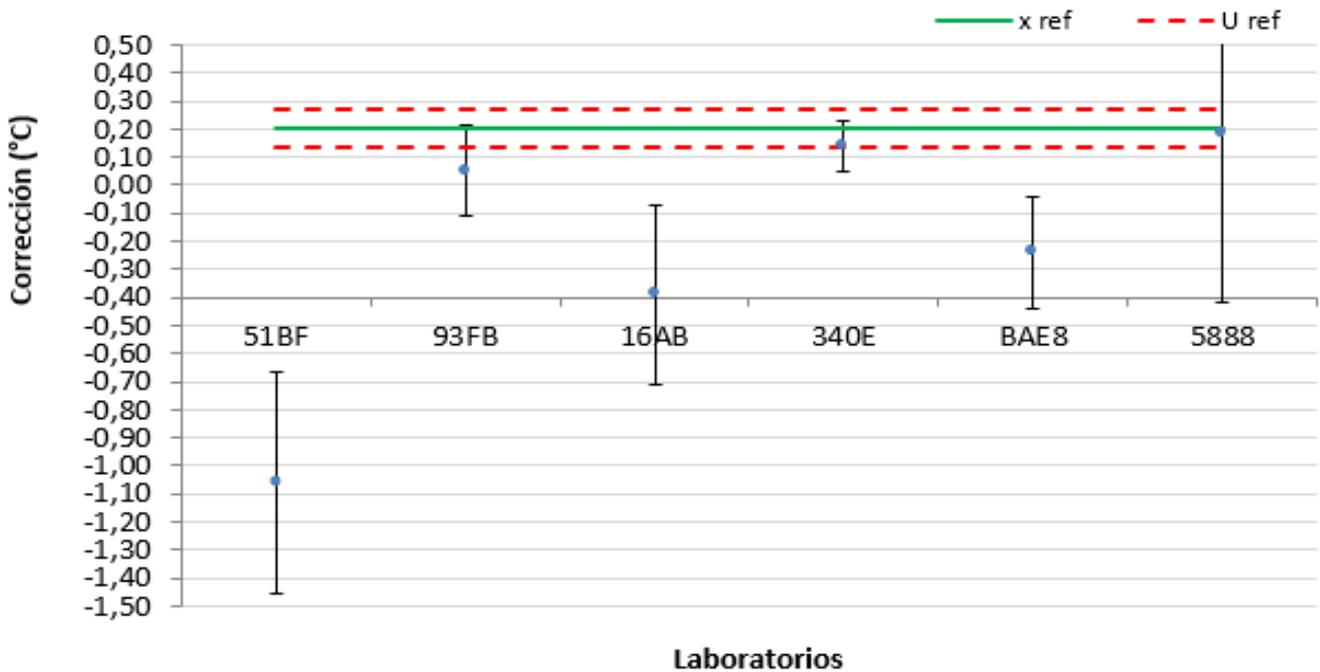


Figura 16. Resultados para T= 100 °C: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023

Tomando en cuenta los resultados mostrados en la Figura 16, obtenidos según lo reportado por los participantes, para las mediciones a una temperatura nominal de 200 °C, realizan las siguientes:

1. Siete de los ocho laboratorios participantes que midieron a una temperatura nominal de 200 °C, obtuvieron resultados dentro de la incertidumbre de referencia asignada por el laboratorio de Temperatura del IBMETRO.
2. El participante 51BF, 16AB y BAE8 está por fuera de la incertidumbre de referencia. ○ ○ ○
3. En el caso de dos de los diez laboratorios, el 93FB, aunque no se ajustaron al valor de la referencia, su incertidumbre reportada sí quedó dentro de la incertidumbre de la referencia.
4. El laboratorio 16AB, reporta una incertidumbre de medición, un poco mayor que cinco veces, a la incertidumbre de referencia; en segundo lugar, con mayor incertidumbre, se tiene el laboratorio 93FB, que reporta una incertidumbre, un poco mayor en 2 a 3 veces, a la incertidumbre de referencia; mientras que los otros participantes con mayores incertidumbres, reportaron incertidumbres alrededor de dos a una vez mayor, respecto a la incertidumbre de referencia.

5. Uno de los ocho laboratorios, el 340E, con las menores incertidumbres, muy cerca a la incertidumbre de referencia, se recomienda que puedan revisar la planilla de presupuesto de incertidumbre.

11. EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO

11.1. METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS PARTICIPANTES

Para la evaluación del desempeño de los participantes se utilizó un error normalizado (EN), definido en las normas ISO/IEC 17043:2010. "Evaluación de la Conformidad – Requisitos generales para los Ensayos de Aptitud y estimado de acuerdo con la ecuación:

$$E_{N,i} = \frac{x_i - x_{ref}}{\sqrt{U_i^2 + U_{ref}^2}}$$

x_i es el valor del ítem de ensayo reportado por el participante i ;

x_{ref} es el valor asignado del ítem de ensayo, definido por el proveedor;

U_i es la incertidumbre expandida de las mediciones del participante i , con un factor de cobertura $k = 2$;

U_{ref} es la incertidumbre expandida del valor asignado, con un factor de cobertura $k = 2$;

EN_i es el error normalizado del participante i .

Criterios de aceptación para el error normalizado se muestran a continuación:

Criterio	Resultado
$ E_{N,i} \leq 1$	Satisfactorio
$ E_{N,i} > 1$	Insatisfactorio

Tabla 5. Los criterios de aceptación para el error normalizado.

11.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS PARTICIPANTES

Los resultados de la evaluación del desempeño de los participantes se exponen en el presente informe de forma conjunta, dado que todos los participantes utilizaron el mismo método de calibración.

De forma general, Todos los participantes obtuvieron un resultado satisfactorio en los tres alcances, sin embargo, algunos participantes obtuvieron resultados insatisfactorios, los cuales se detallan en las siguientes tablas y gráficas.

Donde:

Satisfactorio



Insatisfactorio



Resultados estudio de error normalizado por los participantes para el alcance de - 20 °C A 200 °C

Tabla 6 . Valores de referencia reportados por el **PROVEEDOR**

Temperatura indicada	Error	U k=2
°C	°C	°C
-20,00	-0,02100	0,06487
-10,00	-0,02180	0,06487
0,00	0,02930	0,06488
20,00	0,04760	0,06487
30,00	0,08420	0,06487
50,00	0,16800	0,06487
80,00	0,17250	0,06488
100,00	0,12750	0,06508
150,00	0,16420	0,06571
200,00	0,20080	0,06792

Tabla 7. Resultado estudio de error normalizado por **51BF**

Temperatura indicada	Error	U k=2	Error normalizado	Resultado estudio de error normalizado
°C	°C	°C		
-20,00	0,187	0,120	1,53	Insatisfactorio
-10,00	0,015	0,127	0,26	Satisfactorio
0,00	0,026	0,121	0,02	Satisfactorio
20,00	0,261	0,133	1,44	Insatisfactorio
30,00	0,212	0,139	0,83	Satisfactorio
50,00	0,212	0,141	0,28	Satisfactorio
80,00	0,220	0,175	0,25	Satisfactorio
100,00	0,243	0,169	0,64	Satisfactorio
150,00	0,020	0,226	0,61	Satisfactorio
200,00	-1,058	0,394	3,15	Insatisfactorio

Tabla 8. Resultado estudio de error normalizado por **93FB**

Temperatura indicada	Error	U k=2	Error normalizado	Resultado estudio de error normalizado
°C	°C	°C		
-20,00	0,00	0,16	0,12	Satisfactorio
-10,00	0,00	0,16	0,13	Satisfactorio
0,00	0,00	0,16	0,17	Satisfactorio
20,00	0,20	0,18	0,80	Satisfactorio
30,00	0,20	0,16	0,67	Satisfactorio
50,00	0,10	0,18	0,36	Satisfactorio
80,00	0,10	0,18	0,38	Satisfactorio
100,00	0,10	0,15	0,17	Satisfactorio

150,00	0,00	0,16	0,95	Satisfactorio
200,00	0,05	0,16	0,87	Satisfactorio

Tabla 9. Resultado estudio de error normalizado por **16AB**

Temperatura indicada	Error	U k=2	Error normalizado	Resultado estudio de error normalizado
°C	°C	°C		
-20,00	0,18	0,32	0,62	Satisfactorio
-10,00	0,27	0,32	0,89	Satisfactorio
0,00	0,15	0,32	0,37	Satisfactorio
20,00	0,03	0,32	0,05	Satisfactorio
30,00	0,16	0,32	0,23	Satisfactorio
50,00	0,14	0,32	0,09	Satisfactorio
80,00	0,31	0,23	0,58	Satisfactorio
100,00	0,35	0,23	0,93	Satisfactorio
150,00	0,03	0,32	0,41	Satisfactorio
200,00	-0,39	0,32	1,81	Insatisfactorio

Tabla 10. Resultado estudio de error normalizado por **340E**

Temperatura indicada	Error	U k=2	Error normalizado	Resultado estudio de error normalizado
°C	°C	°C		
-20,00	-0,07	0,07	0,52	Satisfactorio
-10,00	-0,07	0,06	0,55	Satisfactorio
0,00	0,08	0,05	0,60	Satisfactorio
20,00	0,09	0,05	0,48	Satisfactorio
30,00	0,07	0,05	0,20	Satisfactorio
50,00	0,09	0,06	0,85	Satisfactorio
80,00	0,08	0,05	1,14	Insatisfactorio
100,00	0,10	0,06	0,34	Satisfactorio
150,00	0,12	0,07	0,46	Satisfactorio
200,00	0,14	0,09	0,55	Satisfactorio

Tabla 11. Resultado estudio de error normalizado por **BAE8**

Temperatura indicada	Error	U k=2	Error normalizado	Resultado estudio de error normalizado
°C	°C	°C		
-20,00	0,133	0,1	1,29	Insatisfactorio
-10,00	-0,075	0,1	0,45	Satisfactorio
0,00	-0,091	0,1	1,01	Insatisfactorio
20,00	0,137	0,1	0,75	Satisfactorio
30,00	0,135	0,1	0,43	Satisfactorio
50,00	0,057	0,1	0,93	Satisfactorio
80,00	0,064	0,1	0,91	Satisfactorio
100,00	-0,084	0,1	1,77	Insatisfactorio
150,00	-0,157	0,1	2,68	Insatisfactorio

200,00	-0,239	0,2	2,08	Insatisfactorio
---------------	--------	-----	-------------	------------------------

Tabla 12. Resultado estudio de error normalizado por **0A70**

Temperatura indicada	Error	U k=2	Error normalizado	Resultado estudio de error normalizado
°C	°C	°C		
-20,00	-0,120	0,1	0,83	Satisfactorio
-10,00	-0,213	0,1	1,60	Insatisfactorio
0,00	0,101	0,1	0,60	Satisfactorio
20,00	0,085	0,1	0,32	Satisfactorio
30,00	0,078	0,1	0,05	Satisfactorio
50,00	0,170	0,1	0,02	Satisfactorio
80,00	0,079	0,1	0,78	Satisfactorio
100,00	0,154	0,1	0,23	Satisfactorio

Tabla 13. Resultado estudio de error normalizado por **C6E4**

Temperatura indicada	Error	U k=2	Error normalizado	Resultado estudio de error normalizado
°C	°C	°C		
-20,00	-0,100	0,1	0,66	Satisfactorio
-10,00	-0,200	0,1	1,49	Insatisfactorio
0,00	-0,100	0,1	1,08	Insatisfactorio
20,00	0,100	0,1	0,44	Satisfactorio
30,00	0,100	0,1	0,13	Satisfactorio
50,00	0,100	0,1	0,57	Satisfactorio
80,00	0,100	0,1	0,61	Satisfactorio
100,00	0,200	0,1	0,61	Satisfactorio
150,00	0,100	0,1	0,54	Satisfactorio

Tabla 14. Resultado estudio de error normalizado por **5EE8**

Temperatura indicada	Error	U k=2	Error normalizado	Resultado estudio de error normalizado
°C	°C	°C		
-20,00	0,099	0,08	1,18	Insatisfactorio
-10,00	-0,001	0,07	0,22	Satisfactorio
0,00	0,098	0,08	0,67	Satisfactorio
20,00	0,231	0,09	1,63	Insatisfactorio
30,00	0,312	0,08	2,24	Insatisfactorio
50,00	0,256	0,07	0,90	Satisfactorio
80,00	0,271	0,08	0,97	Satisfactorio
100,00	0,219	0,07	0,93	Satisfactorio
150,00	0,243	0,19	0,39	Satisfactorio
200,00	0,185	0,60	0,03	Satisfactorio

Figura 17. Resultado de evaluación de desempeño para T= -20 °C: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023.

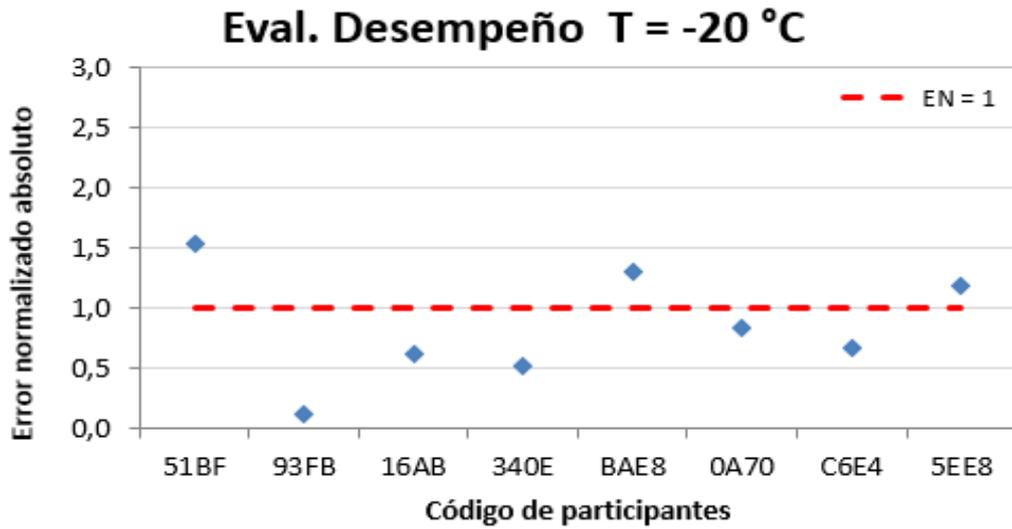


Figura 18. Resultado de evaluación de desempeño para T= -10 °C: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023.

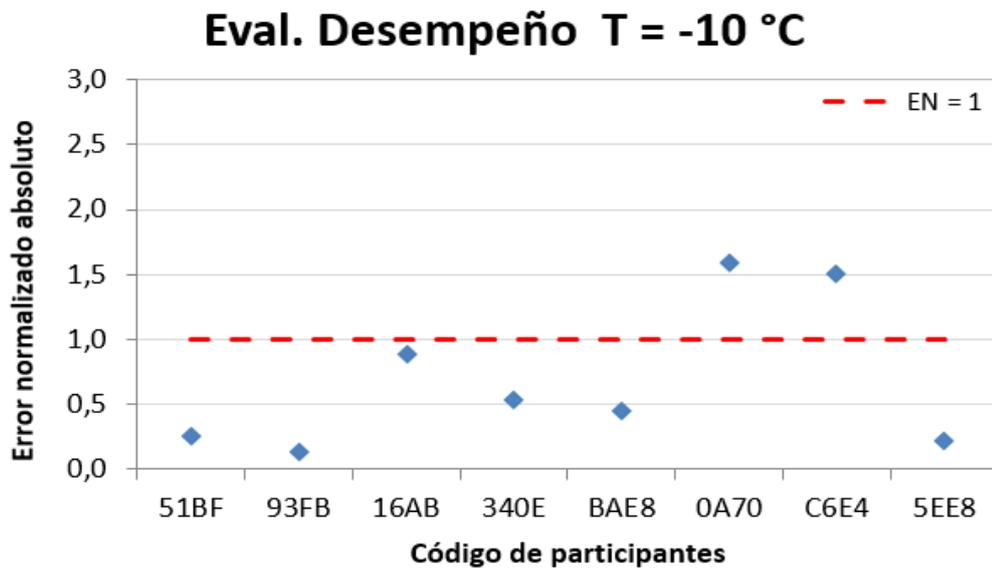


Figura 19. Resultado de evaluación de desempeño para T= 0 °C: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023.

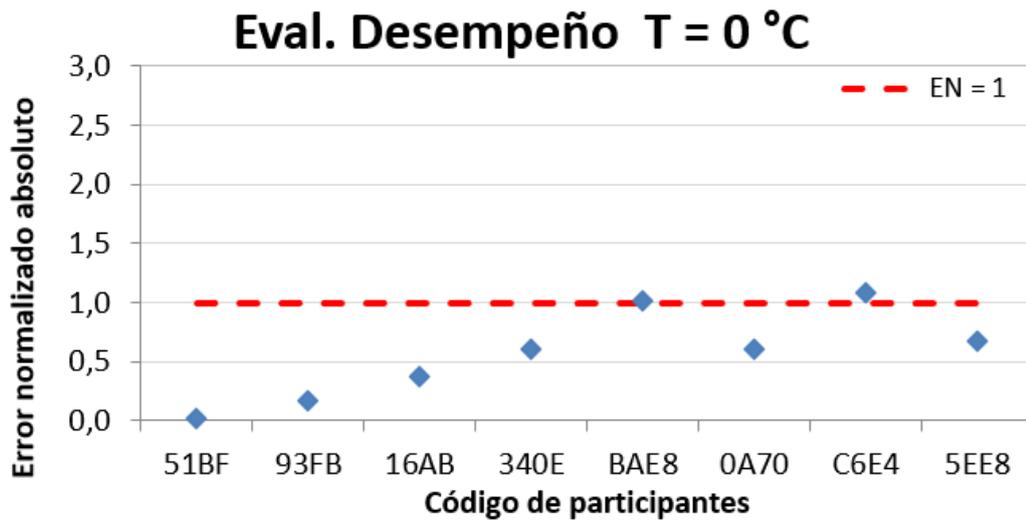


Figura 20. Resultado de evaluación de desempeño para T= 20 °C: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023.

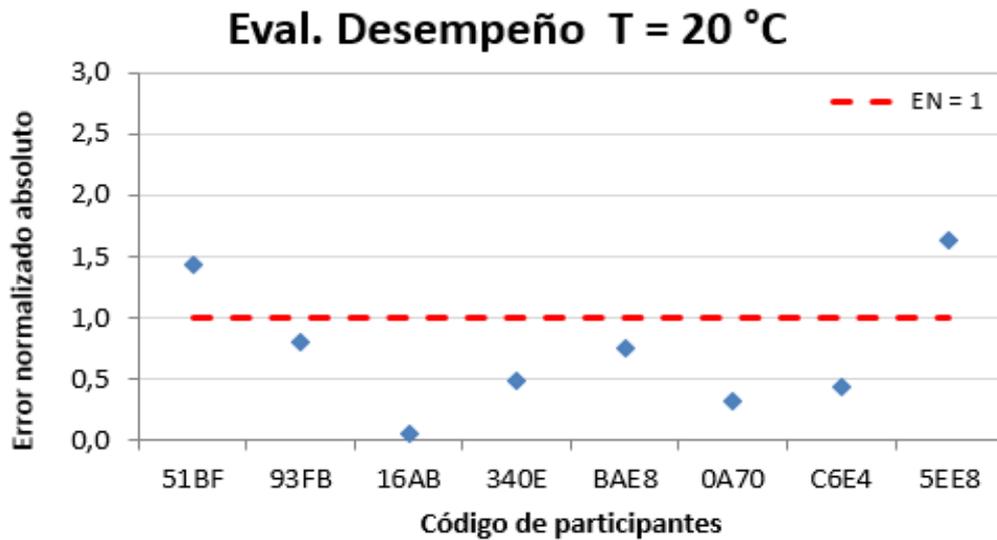


Figura 21. Resultado de evaluación de desempeño para T= 30 °C: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023.

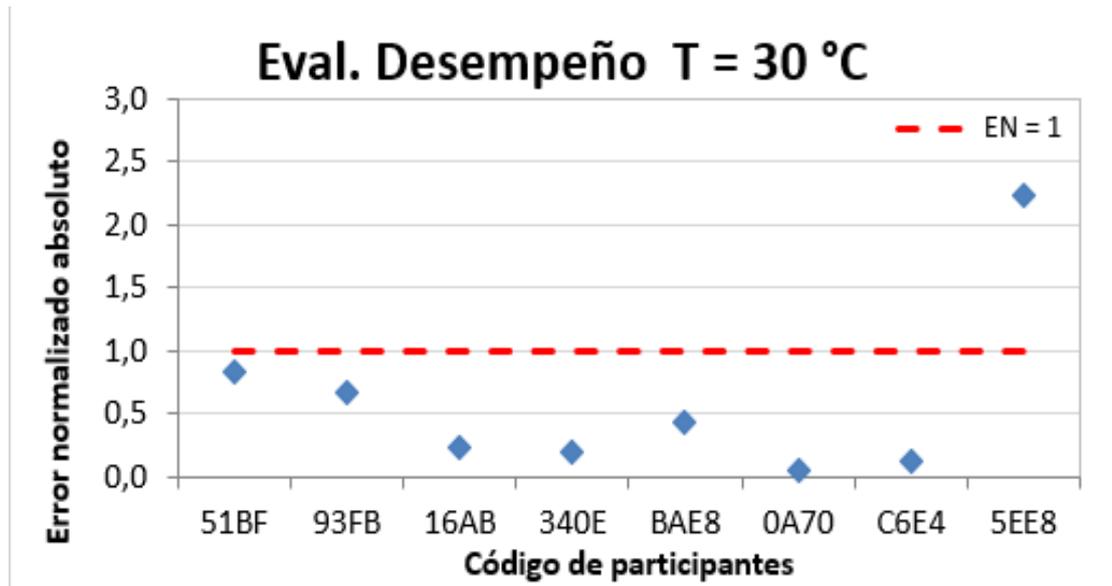


Figura 22. Resultado de evaluación de desempeño para T= 50 °C: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023.

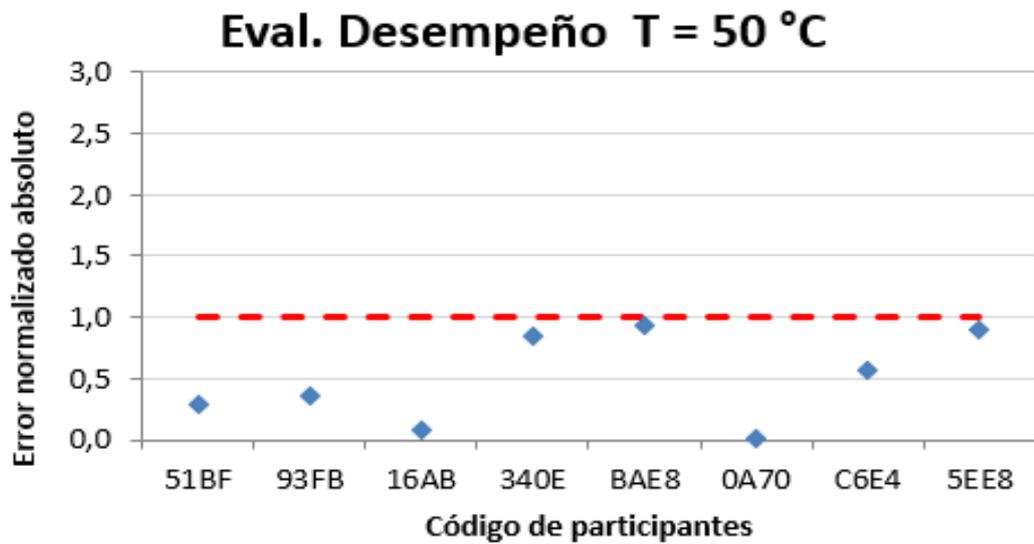


Figura 23. Resultado de evaluación de desempeño para T= 80 °C: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023.

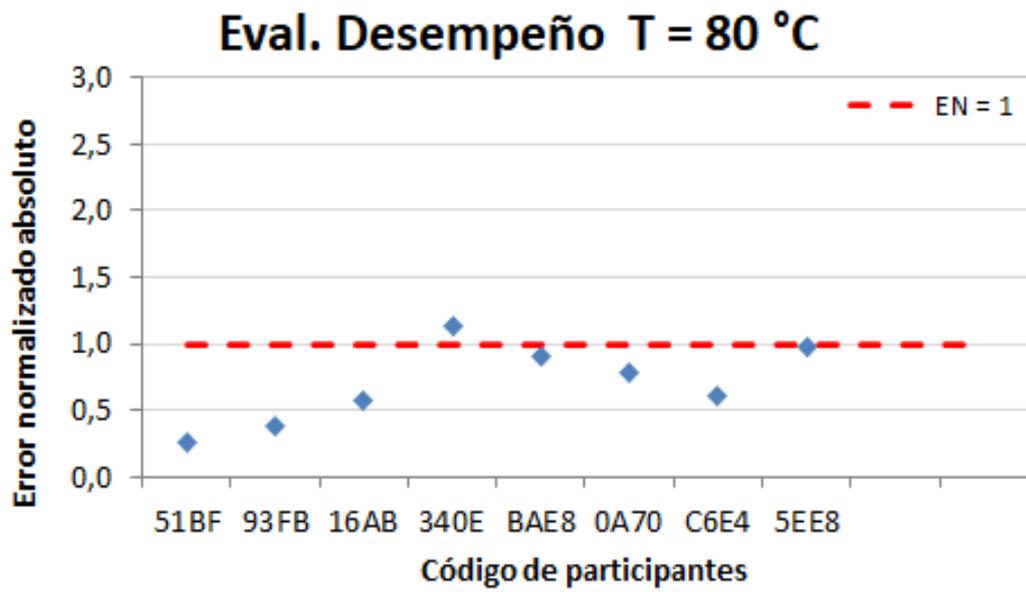


Figura 24. Resultado de evaluación de desempeño para T= 100 °C: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023.

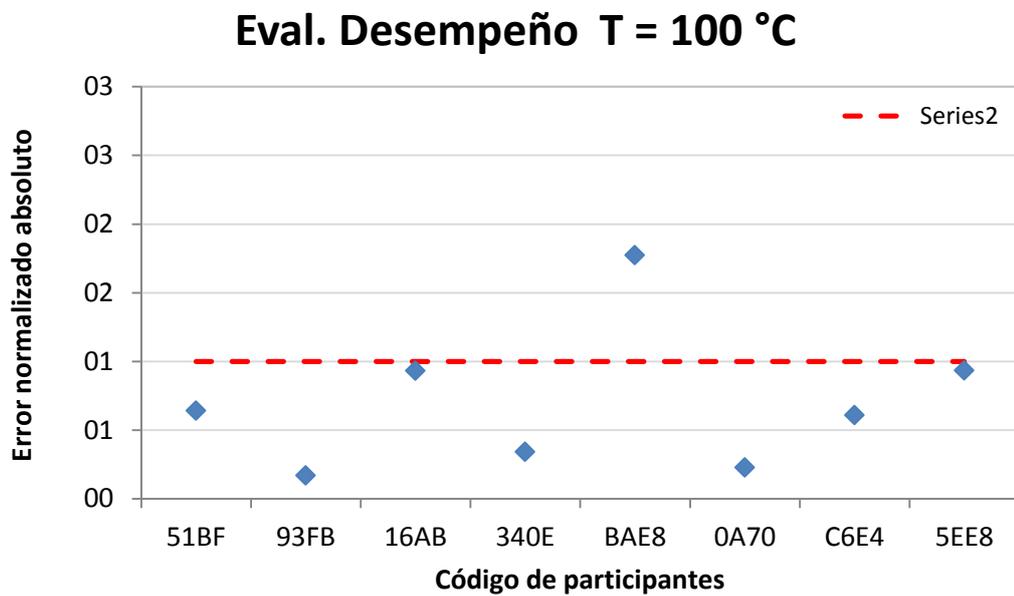


Figura 25. Resultados de evaluación de desempeño para T= 150 °C: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023.

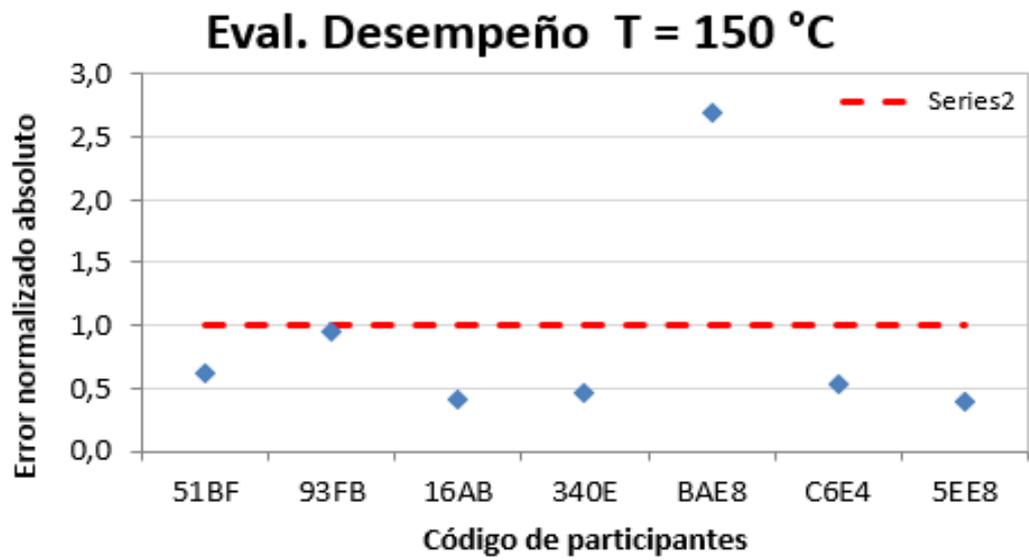
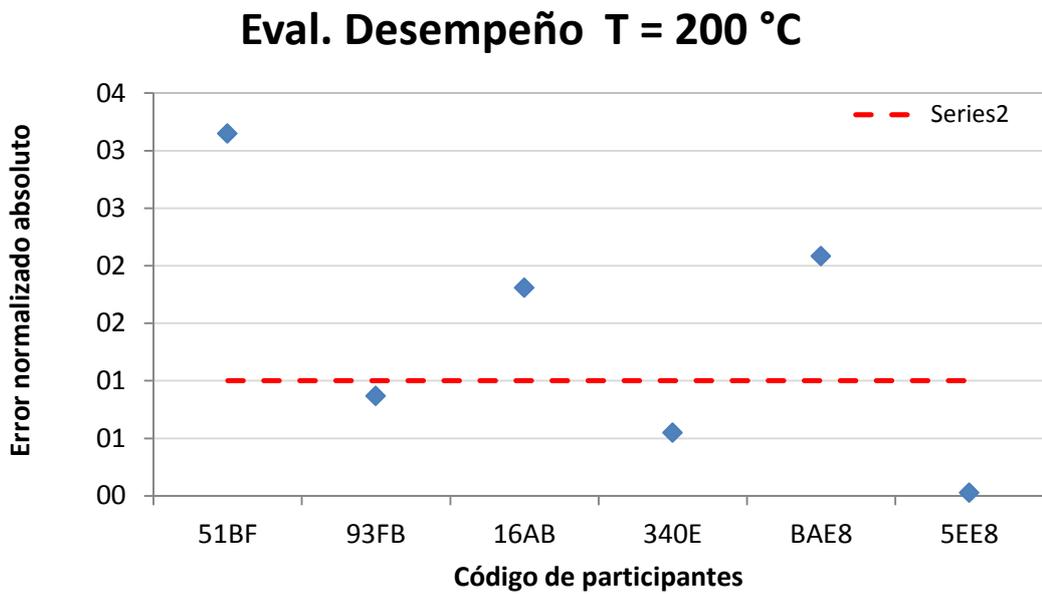


Figura 26. Resultados de evaluación de desempeño para T= 200 °C: Laboratorio de temperatura del IBMETRO, 2023.



12. CONCLUSIONES

La evaluación del desempeño individual de los laboratorios participantes permite identificar áreas de competencia para realizar ensayos o mediciones específicas y realizar un seguimiento al desempeño de laboratorios que han participado en esta prueba, a través de las acciones de mejora identificadas, con la finalidad, que esta actividad se constituya en una herramienta rutinaria para asegurar la calidad de los resultados.

En el punto de hielo, que es el punto más reproducible, entre los puntos de calibración disponibles para este ensayo de aptitud, se demostró que la estabilidad del ítem de ensayo IBM011040209 fue aceptable, así también el análisis en el punto de hielo nos ayudó a determinar el comportamiento y posibles desviaciones que pueda tener alrededor de su alcance este sensor de temperatura, por lo que los datos obtenidos del proceso de comparación, se consideran válidos para analizar los resultados reportados por los participantes y la capacidad de medición de cada participante. Por otra parte, en el ítem de ensayo IBM011040210, se demostró un comportamiento inestable en el punto de hielo, ya finalizando el ensayo de aptitud. Por lo que se decidió realizar todos los análisis estadísticos solo con el ítem de ensayo IBM011040209.

Mediante el error normalizado, se evaluó el desempeño de ocho laboratorios participantes, en la calibración de termómetros digitales con un alcance desde -20 °C a 200 °C con una precisión de hasta $\pm 0,3$ °C, por el método de comparación directa con un termómetro patrón en medios isotérmicos; obteniéndose uno de los ocho participantes evaluados, resultados satisfactorios de desempeño en todos los puntos de calibración. Los restantes participantes, siete de los ocho, obtuvieron resultados insatisfactorios en al menos un punto de calibración evaluado. En general, los participantes demostraron un buen desempeño en este proceso de intercomparación con las mediciones registradas del laboratorio de Temperatura de IBMETRO.

Se recomienda que los laboratorios participantes que han obtenido resultados insatisfactorios puedan realizar un análisis crítico en la evaluación de los resultados, teniendo en cuenta la incertidumbre estándar del valor asignado u otro parámetro que usen en sus controles internos de calidad.

Es muy importante que los laboratorios puedan seguir participando activamente en rondas anuales de este Ensayo de Aptitud, de esta manera se proporciona una herramienta al laboratorio para vigilar y controlar sus procedimientos de análisis con el fin de establecer el control sobre sus mediciones y reportar resultados confiables.

El Instituto Boliviano de Metrología, agradece a todos los laboratorios participantes por el cumplimiento de los plazos del cronograma y por el interés permanente mostrado durante esta actividad.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ISO/IEC 17043:2010. "Evaluación de la Conformidad – Requisitos generales para los Ensayos de Aptitud".

ISO/IEC 17025 (2017). General requirements for the competence of calibration and testing laboratories.

IUPAC Technical Report (2006). The international harmonized protocol for the proficiency testing of analytical chemistry laboratories.

ISO 13528 (2015). Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons

ILAC G13 (2007). Guidelines for the Requirement for the Competence of Providers Proficiency Testing Schemes.-*

Guía para la expresión de la incertidumbre de medida. BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, OIML. Organización Internacional de Normalización, impresa en Suiza, ISBN 92-67-10188-9, primera edición, 1993. Corregida y reimpressa en 1995.
