



RED NACIONAL DE METROLOGÍA
UNIDAD DE COORDINACIÓN Y SUPERVISIÓN
LABORATORIO CUSTODIO DE PATRONES NACIONALES
MAGNITUD TEMPERATURA AMBIENTAL
INFORME A

COMPARACIÓN NACIONAL

HTc-22
(Participantes con Cámara Climática)

CALIBRACIONES DE UN TERMOHIGRÓMETRO DIGITAL

Rango de medición: 10 °C a 45 °C.

Medio de Generación: Cámara climática.

Marzo 2022 – diciembre 2022

ENSAYO DE APTITUD – TEMPERATURA AMBIENTAL

Marcial Espinoza. Antonio Monsalve. Manuel Sepúlveda F.
Laboratorio Custodio de Patrones Nacionales (LCPN-HUMEDAD RELATIVA), Chile.
Empresa Nacional de Aeronáutica - ENAER, Av. José Miguel Carrera N° 11087.
Teléfonos 56 (2) 2383 2082, 56 (2) 2383 1966,
E-mails marcial.espinoza@enaer.cl antonio.monsalve@enaer.cl Manuel.sepulveda@enaer.cl

Resumen: El Laboratorio Custodio de Patrones Nacionales - Humedad Relativa de ENAER y el área de metrología del Instituto Nacional de Normalización INN Pertenece a la Red Nacional de Metrología realizan el Ensayo de Aptitud 2022. Para ello se ha elegido un instrumento que permite cubrir un rango que pueda ser calibrado por la mayoría de los laboratorios acreditados por el INN en la magnitud temperatura ambiental y otros laboratorios de calibración no-acreditados, las características del instrumento a utilizar fueron acordadas en taller de cierre del ensayo H-21. La comparación se llevó a cabo desde marzo de 2022 a diciembre de 2022. Para la comparación se utilizó como patrón de comparación un Medidor de Humedad y temperatura digital, marca DeltaOhm, Modelo: HD35EDL14Bntv, con un alcance de medición entre 10 °C a 45 °C, clase de exactitud del $\pm 0,3$ °C y una resolución de 0,1 °C. El instrumento fue facilitado por el LCPN-Humedad de ENAER Chile, la actividad se realizó dentro del marco de cooperación con el INN y de la Red de Metrología de Chile.

INTRODUCCION

La cadena de trazabilidad de las mediciones de la industria debe realizarse con niveles adecuados de incertidumbre de acuerdo a las necesidades propias de cada país. La participación en las comparaciones entre los laboratorios de Metrología, permite asegurar el grado de equivalencia de las mediciones entre los laboratorios acreditados por la RNM con una diseminación correcta de las mediciones. Por lo anterior se puede decir que la solidez y la confianza en las mediciones, tanto en el ámbito Nacional como en el Internacional, se fortalece con las comparaciones entre laboratorios.

Los resultados que aquí se presentan corresponden a los obtenidos en el Ensayo de Aptitud 2022 íntegramente realizada entre los laboratorios de Humedad Relativa nacionales y el LCPNR-HR Humedad Relativa de ENAER designado oficialmente laboratorio custodio del patrón nacional de Chile. La participación en esta comparación de los Laboratorios del país permite conocer la compatibilidad de las mediciones y la competencia del personal acreditado en los laboratorios integrantes de la Red de Metrología, supervisada por el INN.

OBJETIVO

Realizar una comparación en el ámbito metroológico de la magnitud de Temperatura ambiental entre los laboratorios de calibración de Chile, con el fin de estimar los niveles de concordancia para la magnitud entre los laboratorios participantes, incluyendo desviación e incertidumbre asociada.

DATOS GENERALES

Laboratorios participantes

Los participantes para este ensayo de aptitud 2022 son:

Laboratorio	Empresa	Contacto	Información
1	CIDE-USACH	Roberto Figueroa Muñoz	Roberto.figueroa@usach.cl
2	SERVINCAL CHILE SpA.	Humberto Escobar	Humberto.escobar@servincal.cl
3	SMI	Romina Gaete	Rgaete@smilab.cl
4	DTS	-----	chormazabal@dts.cl
5	VETO y Cia. Ltda	-----	Encargado.sgc@veto.cl
6	CESMEC	Paulo Bustos Astorga	Bustos.paulo@bureauveritas.com
7	VIGNOLA (LC 078)	Raul Reyes Acevedo	rreyes@vignola.cl
8	LABORATORIO DAVIS	Hernan Ramirez	hramirez@davislab.cl
9	IDIC	Silvana Ferj A.	Ricardo.munoz@idic.cl
10	EXACTIMET	Junior Aparicio	Junior.aparicio@exactimet.cl
LCPNR-HR (ENAER)		Marcial Espinoza Marchant	marcial.espinoza@enaer.cl
		Antonio Monsalve Venegas	antonio.monsalve@enaer.cl
		Manuel Sepúlveda Fernandoy	Manuel.sepulveda@enaer.cl

Tabla 1. Empresas participantes.

Fechas para realizar las mediciones.

El equipo circuló de acuerdo con el siguiente cronograma:

<i>Empresa</i>	<i>Fecha de realización de mediciones</i>
LCPNR-HR (ENAER)	17/03/2022 – 23/03/2022
DTS	13/06/2022 – 17/06/2022
SERVINCAL CHILE SPA.	20/06/2022 – 24/06/2022
SMI	28/06/2022 – 01/07/2022
CESMEC	04/07/2022 – 08/07/2022
LCPNR-HR (ENAER)	11/07/2022 – 15/07/2022
VETO	18/07/2022 – 22/07/2022
LABORATORIO DAVIS	25/07/2022 -29/07/2022
IDIC	01/08/2022 -05/08/2022
EXACTIMET SPA	08/08/2022 – 12/08/2022
LCPNR-HR (ENAER)	05/09/2022-09/09/2022
VIGÑOLA (Temperatura)	12/09/2022-20-09-2022
CIDE-USACH	21/09/2022-27/09/2022
LCPNR-HR (ENAER)	16/12/2022-23/12/2022

Tabla 2. Fechas de realización de la comparación

Esquema del desarrollo de la Comparación

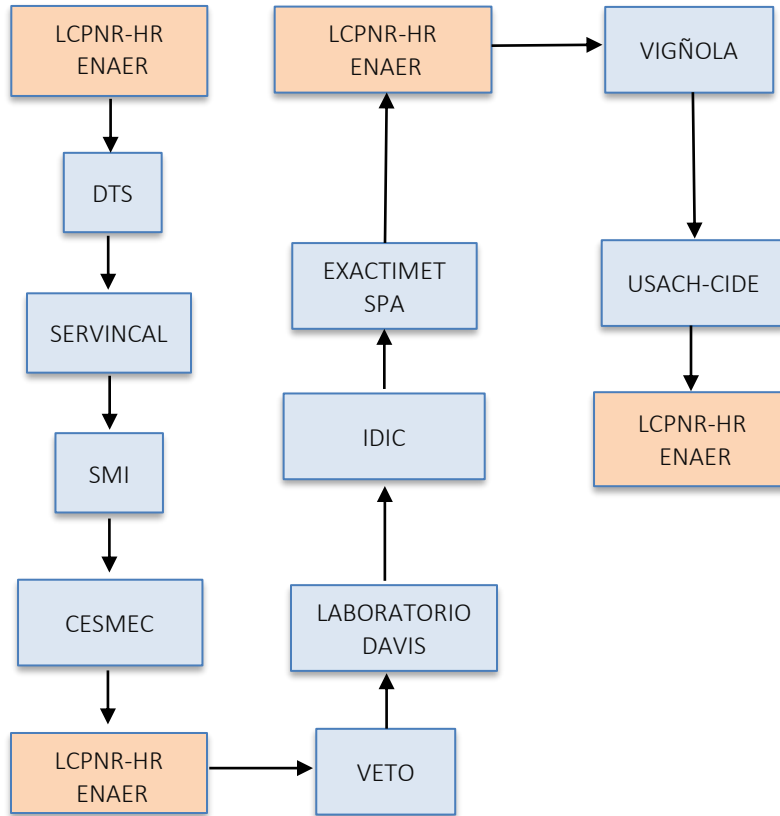


Figura 1. Esquema Ensayo de Aptitud.

El INN recopila los resultados de los laboratorios participantes asignándole un código a cada uno de ellos y los hace llegar al LCPNR-HR de ENAER el 22 de noviembre de 2022.

En diciembre de 2022 el LCPNR-HR de ENAER emite un informe que contiene el análisis y conclusiones de la comparación con los resultados obtenidos por los laboratorios participantes y se hace llegar este informe al INN (**INFORME A**).

Patrón viajero de comparación

Medidor de Humedad y temperatura digital

El instrumento elegido como patrón viajero de comparación fue facilitado por LCPNR-HR de ENAER. En particular se utilizó un Medidor de humedad y temperatura digital, cuyas características se detallan en la tabla 3.

Marca	Modelo	Clase de Exactitud	Alcance	Resolución
DELTAOHM	HD35EDL14bNTV.U	± 1,8 %HR: (0 a 85) %HR ± 2.5%RH (85...100%RH) @ T=15...35 °C	0 %HR a 100 %HR	0,1 %
		± 0,3°C in the range 0...+70°C, ± 0,4°C outside.	-40 a 105 °C	0,1 °C

Tabla 3. Patrón Viajero de comparación



Figura 2. Patrón viajero usado en la comparación H-22 para participantes con cámara climática.

Puntos de calibración

Para el ensayo de aptitud 2021 se acordó realizar con los laboratorios participantes los siguientes puntos de calibración:

Humedad relativa

Humedad Relativa de referencia en la cámara	Puntos de medición en Temperatura Ambiental (°C)			
50 %HR	10	20	30	45

Referencia: Protocolo de Ensayo de Aptitud Nacional 2022.

Patrón Nacional

Como patrón de referencia el LCPN-HR de ENAER utilizó un Generador de Humedad de dos Presiones.

LCPNR-HR de ENAER.						
Nombre	Tipo	Marca	Modelo	N° de serie	Alcance de medición (°C)	Incertidumbre expandida, k=2 %HR
Estándar Primario	Generador de Humedad por dos Presiones	Thunder Scientific	2500S-LT	0502478	0 a 70	No menor que 0,3 °C

Tabla 4. Características del patrón de referencia utilizado por el laboratorio piloto.

RESULTADOS

Comportamiento del patrón de comparación

El patrón viajero fue calibrado por el LCPNR-HR de ENAER en 4 ocasiones según el cronograma descrito en la tabla 2. Para las tres calibraciones realizadas, el mismo procedimiento, estándar de referencia y equipamiento fueron usados.

La siguiente fotografía muestra el montaje para la calibración:



Figura 3. Montaje para la calibración del patrón viajero.

El LCPN-HR de ENAER realizó un estudio del comportamiento del patrón de comparación a partir de las calibraciones efectuadas.

Los datos obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Humedad Cámara (°C)	Calibración inicial marzo 2022				Calibración intermedia julio 2022				Calibración intermedia septiembre 2022				Calibración Final diciembre 2022			
	T_{Patron}	$T_{(DeltaOhm)}$	E_1	U_1	T_{Patron}	$T_{(DeltaOhm)}$	E_2	U_2	T_{Patron}	$T_{(DeltaOhm)}$	E_3	U_3	RH Patron	$T_{(DeltaOhm)}$	E_4	U_4
50	10,0	10,1	0,1	0,3	10,0	10,2	0,2	0,3	10,0	10,2	0,2	0,3	10,0	10,2	0,2	0,3
	20,0	20,0	0,0	0,3	20,1	20,1	0,0	0,3	20,1	20,1	0,0	0,3	20,1	20,1	0,0	0,3
	30,0	30,1	0,1	0,3	30,0	30,0	0,0	0,3	30,0	29,9	-0,1	0,3	29,9	29,9	0,0	0,3
	45,0	45,0	0,0	0,3	45,0	45,0	0,0	0,3	45,1	44,8	-0,3	0,3	45,0	44,8	-0,2	0,3

(Nota: La Incertidumbre en esta tabla corresponde a la del Laboratorio Nacional de Humedad Relativa *sin incluir la deriva del patrón viajero*)

Tabla 5. Resultados de calibraciones realizadas por el LCPNR-HR de ENAER al patrón viajero durante el ensayo de aptitud.

En el siguiente gráfico se presenta el error de medición encontrado por el Laboratorio Piloto para el patrón viajero a partir de las 04 mediciones realizadas a lo largo de la comparación.

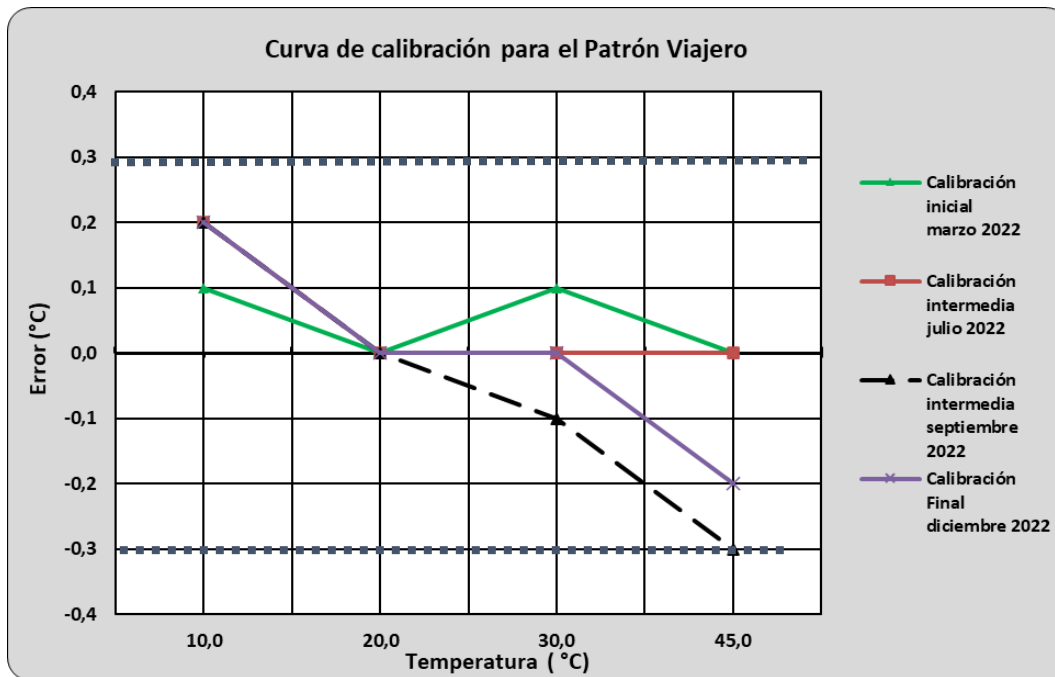


Gráfico 1. Error de medición encontrado para el patrón viajero en las calibraciones realizadas por el LCPNR-HR de ENAER. (Las líneas de puntos corresponden a la exactitud del instrumento)

Error promedio e incertidumbre expandida del Laboratorio Piloto

Con los datos de la tabla N°5 podemos realizar la siguiente gráfica:

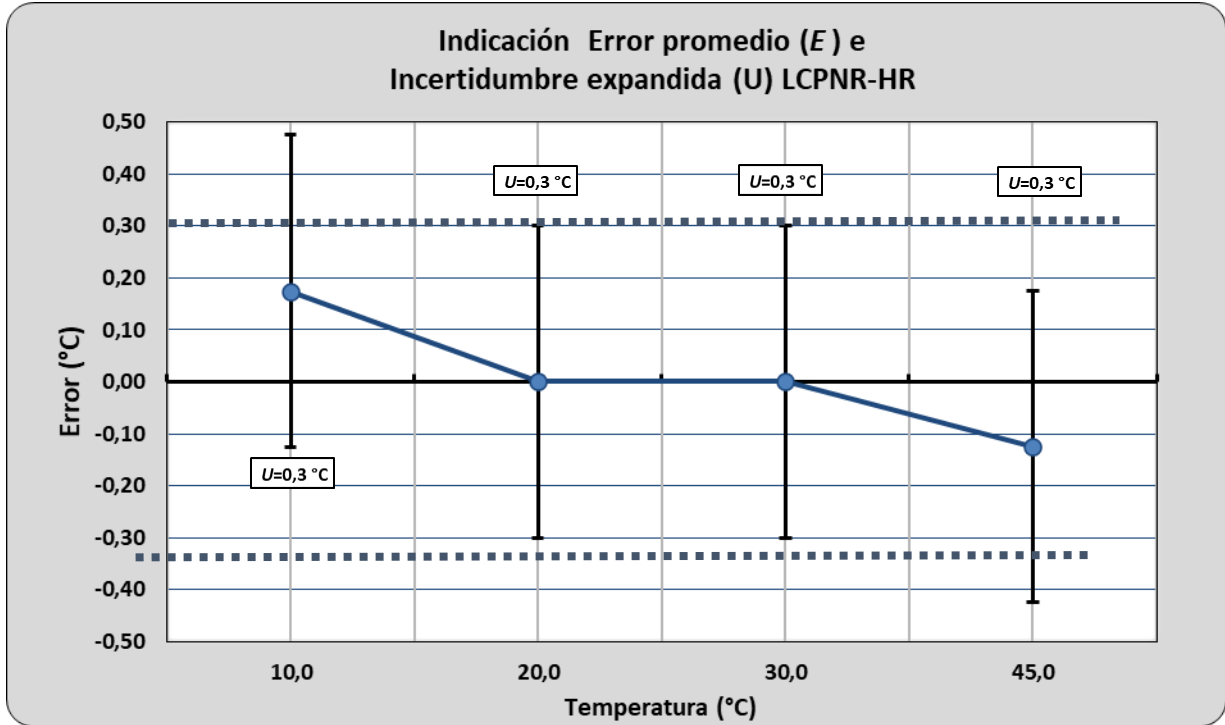


Gráfico 2. Error promedio, E, e incertidumbre expandida, U (k=2, 95%) obtenida por el LCPNR-HR ENAER.

(Las líneas de puntos corresponden a la exactitud del instrumento)

a) Estudio de deriva (Drift) del patrón viajero

La deriva del patrón viajero puede ser estimada en cada punto de comparación como la diferencia entre los errores de dos calibraciones sucesivas. En la tabla 6 se presentan los errores y las derivas entre las siguientes calibraciones:

- calibración inicial (marzo 2022) e intermedia (julio 2022) (d₁₋₂)
- calibración intermedia (julio 2022) y (septiembre 2022) (d₂₋₃)
- Calibración intermedia (septiembre 2022) y final (diciembre 2022) (d₃₋₄)

Temperatura Nominal (°C)	Patrón Viajero (Vaisala)								
	<i>E</i> ₁	<i>E</i> ₂	<i>d</i> ₁₋₂	<i>E</i> ₂	<i>E</i> ₃	<i>d</i> ₂₋₃	<i>E</i> ₃	<i>E</i> ₄	<i>d</i> ₃₋₄
10	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,1	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,1	-0,1	0,0	0,1
45	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	-0,3	-0,2	0,1

minima deriva	0,0
maxima deriva	0,3

Nota: E1 = Error encontrado en la calibración inicial (marzo 2022)
 E2 = Error encontrado en la calibración intermedia (julio 2022)
 E3 = Error encontrado en la calibración intermedia (septiembre 2022)
 E4 = Error encontrado en la calibración final (diciembre 2022)

Tabla 6. Resultados de las derivas entre calibraciones sucesivas.

Se encuentra como deriva máxima de 0,3 °C. (valores absolutos).

Para efectos de esta comparación se considerará como componente adicional al presupuesto de incertidumbre de referencia del laboratorio piloto la deriva del patrón viajero, para ello se considerará la mayor deriva encontrada entre dos calibraciones sucesivas (0,3 °C) y será evaluada como una distribución rectangular tipo B, de esta forma la contribución por deriva del patrón será:

$$u_{\text{deriva}} = \frac{d}{\sqrt{3}} \tag{1}$$

$$u_{\text{deriva}} = (0,3/\sqrt{3}) = 0,17 \text{ °C.}$$

Valor de referencia e Incertidumbre de referencia

Los valores de error e incertidumbre de referencia, E_{ref} y U_{ref} , son de suma importancia en una comparación ya que son los valores con los cuales se comparan los resultados obtenidos por los laboratorios participantes.

$$E_{ref(LCPN-HR)} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (2)$$

$$U_{ref(LCPN-HR)} = \max(U_1: U_n) \quad (3)$$

Para el cálculo de la incertidumbre de referencia para el ensayo de aptitud se agregó una componente de incertidumbre de tipo B debido a la posibilidad de deriva del patrón, según la ecuación (4).

$$U_{ref} = 2 \times \sqrt{\left(\frac{U}{k}\right)^2 + \left(\frac{d}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (4)$$

Temperatura Nominal °C	U mediciones LCPNR-HR (°C)				U máxima (LCPNR-HR) °C	Deriva Patron viajero °C	Incertidumbre por deriva patron Viajero	Incertidumbre de Referencia (°C)
	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄				
10,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,17	0,46
20,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,17	0,46
30,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,17	0,46
45,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,17	0,46

Tabla 7. Cálculo de la incertidumbre de referencia del LCPNR-HR.

Se considera como contribución a la incertidumbre de referencia la deriva del patrón viajero encontrada durante el ejercicio de comparación. Esta contribución asciende a 0,17 °C, siendo la mayor contribución dentro del presupuesto de incertidumbre de la referencia, En el análisis de los datos se encontró una gran diferencia entre la calibración inicial y segunda medición del laboratorio piloto, posteriormente las mediciones se estabilizaron.

Debido a que se desconoce las fechas en que midió cada laboratorio participante, se incluyó la deriva total en la referencia, para el análisis de cada participante, con el fin de cubrir todas las posibles causas de errores de medición producto de la influencia de esta fuente.

En el siguiente gráfico se muestran los resultados de error promedio del laboratorio piloto con los valores de incertidumbre de referencia respectivos con la consideración adicional por deriva del patrón.

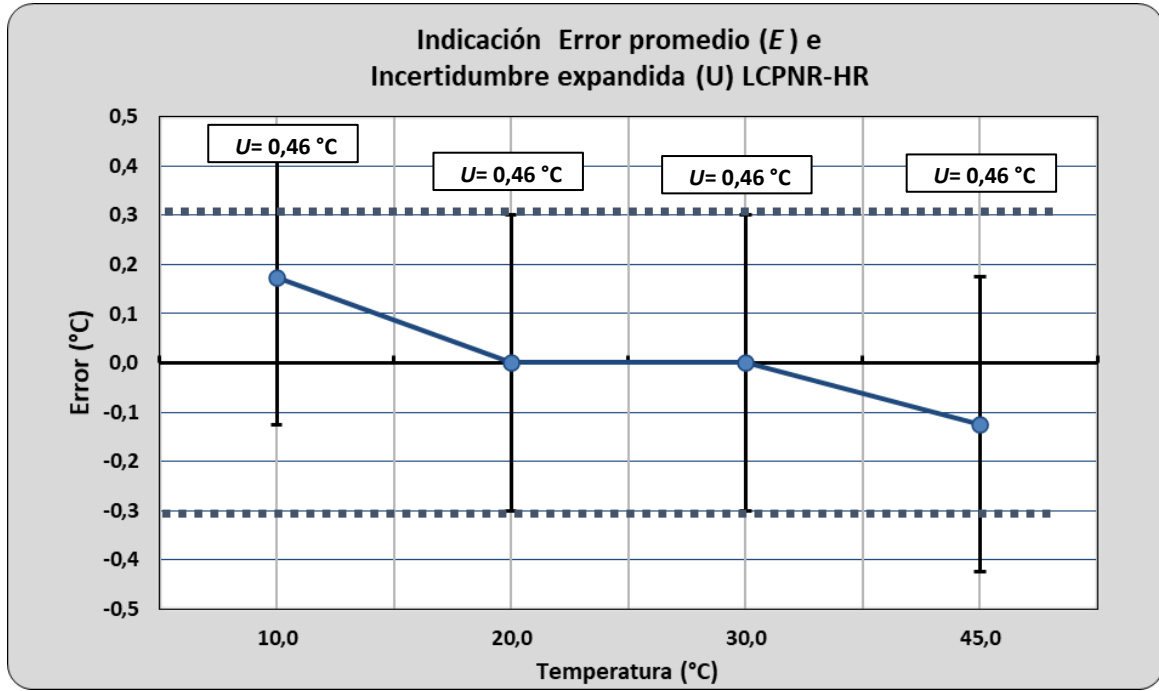


Gráfico 3. Error promedio, E , e incertidumbre expandida, U ($k=2$, 95%) obtenida por el LCPNR-HR de ENAER.
(Las líneas de puntos corresponden a la exactitud del instrumento).

Datos de las mediciones

A continuación, se presentan los resultados de los laboratorios participantes:

Error Promedio de los participantes

Valor Nominal (°C)	Error Promedio LCPNR-HR	Datos Error Promedio Laboratorios (°C)								
		HTc-22-201	HTc-22-202	HTc-22-203	HTc-22-205	HTc-22-206	HTc-22-207	HTc-22-208	HTc-22-209	HTc-22-210
10,0	0,17	0,04	0,03	-0,10	-----	-0,12	0,3	0,04	0,1	0,0
20,0	0,00	0,03	-0,05	-0,31	0,0	-0,08	0,1	0,06	0,0	0,0
30,0	0,00	0,10	-0,08	-0,44	0,0	0,00	-----	-0,16	0,1	-0,1
45,0	-0,13	0,23	0,56	-0,31	0,0	-0,09	-0,3	-----	-0,2	-----

Tabla 7. Error promedio de los laboratorios participantes.

Gráfico Error de cada Participante con respecto al error obtenido por el Laboratorio Piloto

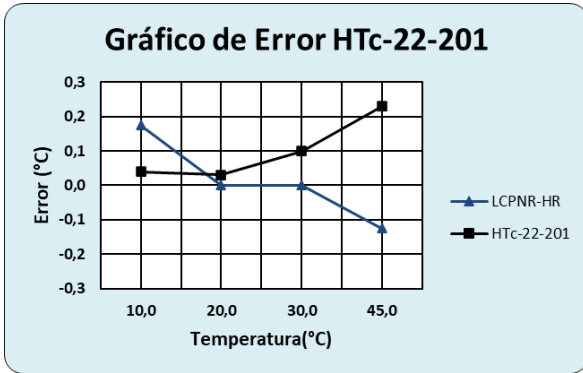


Gráfico (a)

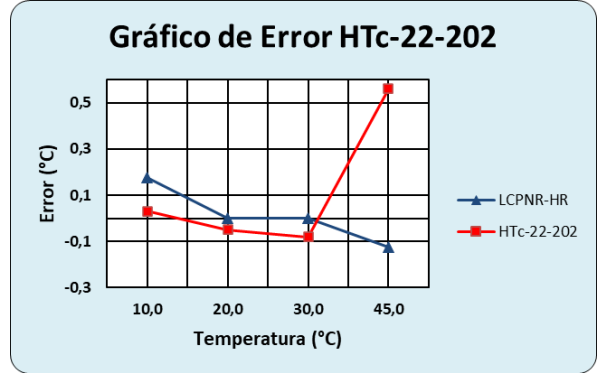


Gráfico (b)

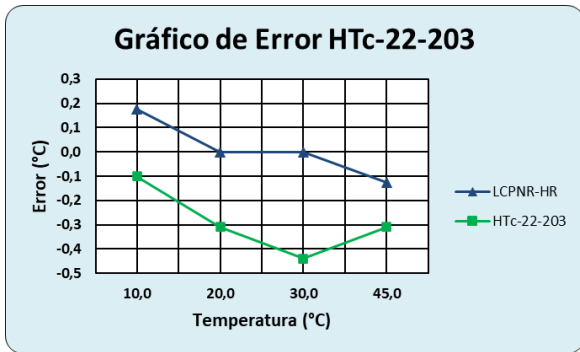


Gráfico (c)

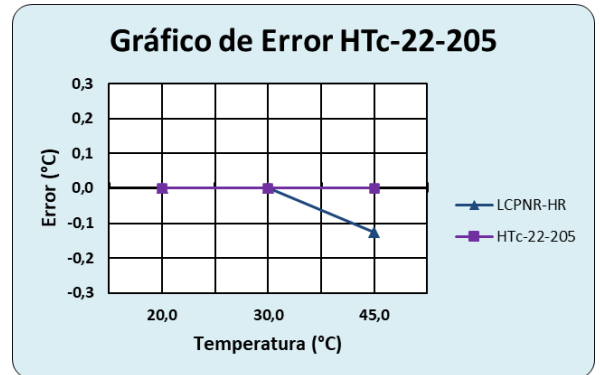


Gráfico (d)

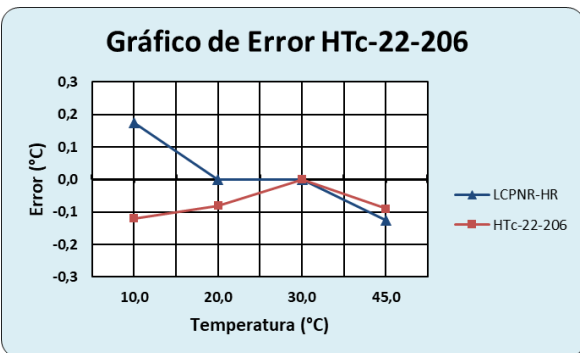


Gráfico (e)

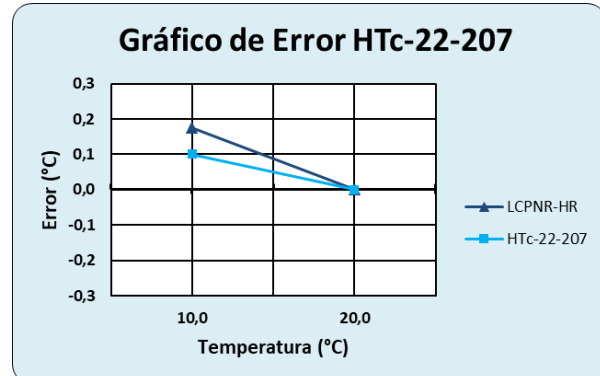


Gráfico (f)

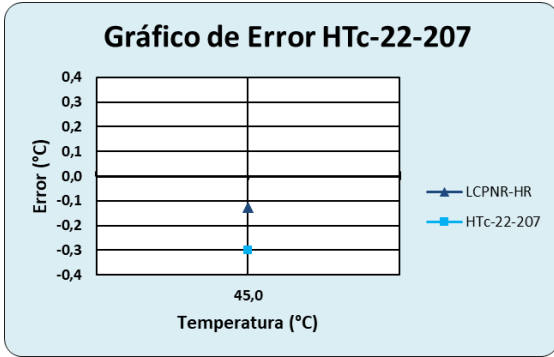


Gráfico (g)

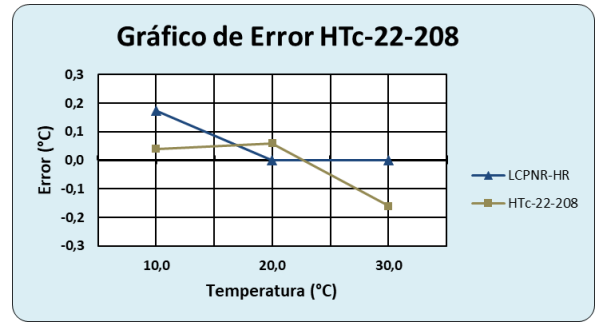


Gráfico (h)

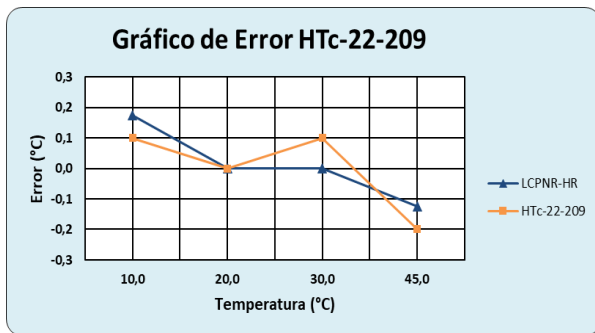


Gráfico (g)

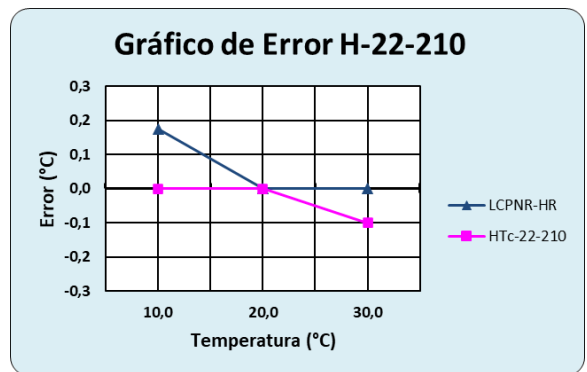


Gráfico (h)

Gráfico 4. Error Individual de cada participante con respecto a LCPNR-HR de ENAER.

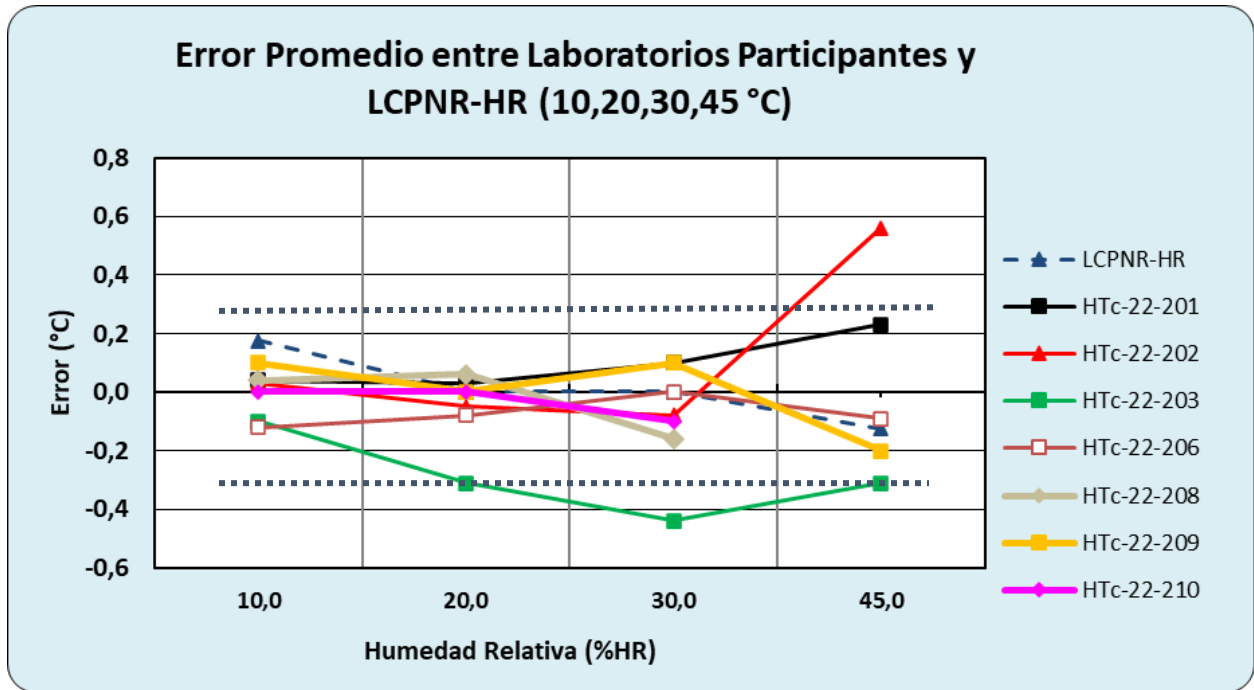


Gráfico 5A. Error promedio de laboratorios participantes.
(Las líneas de puntos corresponden a la exactitud del instrumento).

Nota: los laboratorios participantes HTc-22-205, HTc-22-207 se graficaron en página 14 de este informe.

Incertidumbre de los participantes

Datos Incertidumbre Promedio Laboratorios										
°C	LCPNR-HR (U_ref)	HTc-22-201	HTc-22-202	HTc-22-203	HTc-22-205	HTc-22-206	HTc-22-207	HTc-22-208	HTc-22-209	HTc-22-210
10,0	0,46	0,72	0,47	0,49	-----	0,40	1,1	0,39	0,3	0,18
20,0	0,46	0,81	0,47	0,56	0,4	0,40	1,1	0,37	0,3	0,17
30,0	0,46	0,67	0,47	0,64	0,5	0,40	-----	0,37	0,3	0,16
45,0	0,46	0,77	0,47	0,72	0,5	0,40	1,1	-----	0,4	-----

Tabla 8. Datos de la incertidumbre expandida, *U*, obtenidos por los participantes.

En los gráficos 6, 7, 8 y 9 se presentan los resultados de error promedio obtenido por cada participante y su respectiva incertidumbre de medición en cada punto de humedad relativa medido. En cada gráfico se destaca en color verde el intervalo cubierto por la incertidumbre del laboratorio piloto.

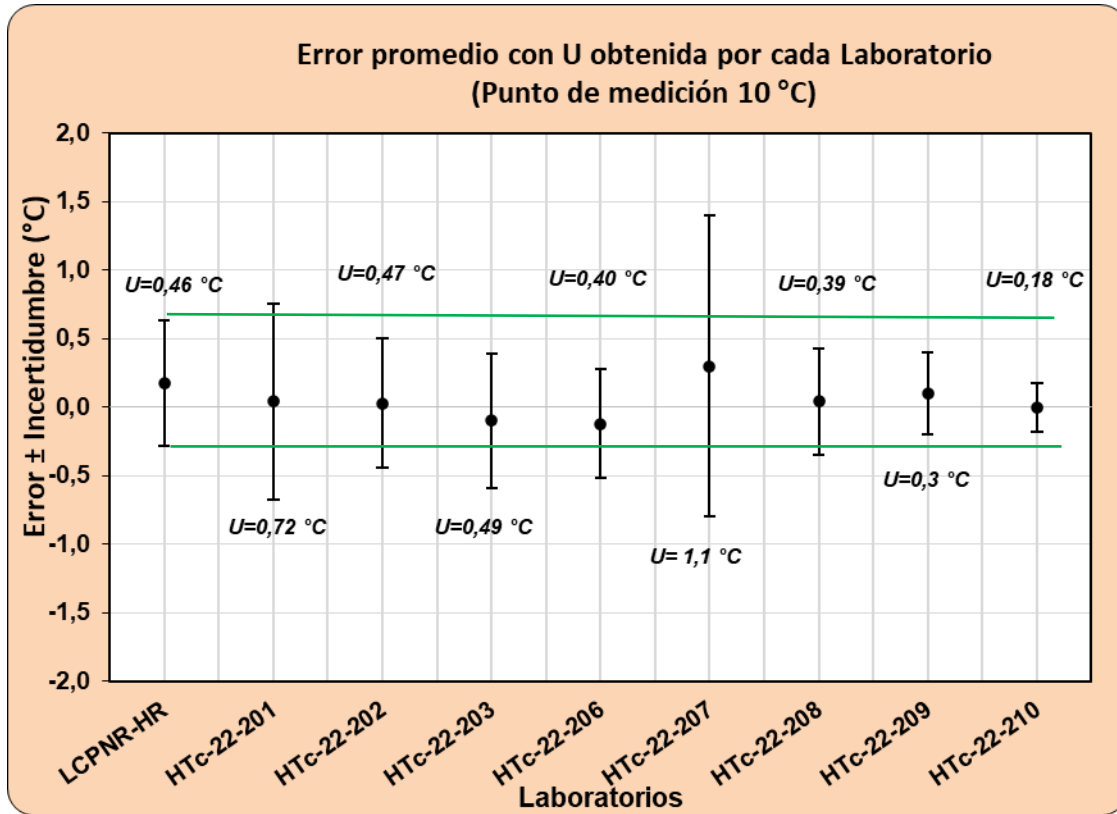


Gráfico 6. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (10 °C).

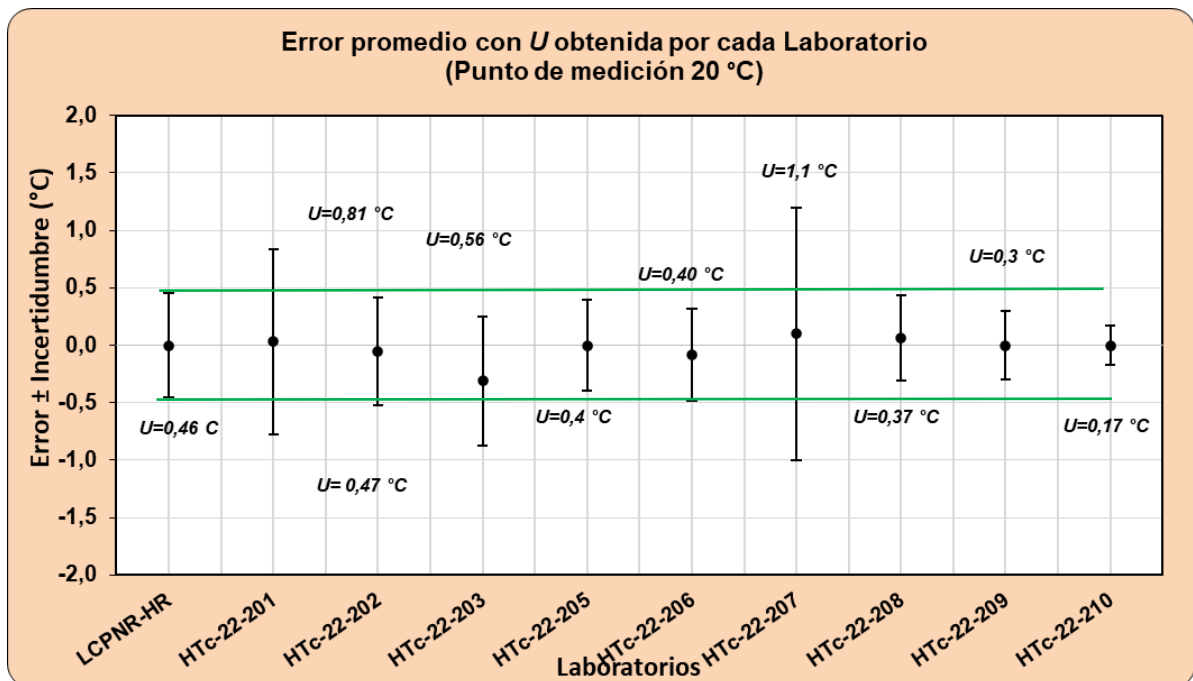


Gráfico 7. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (20 °C).

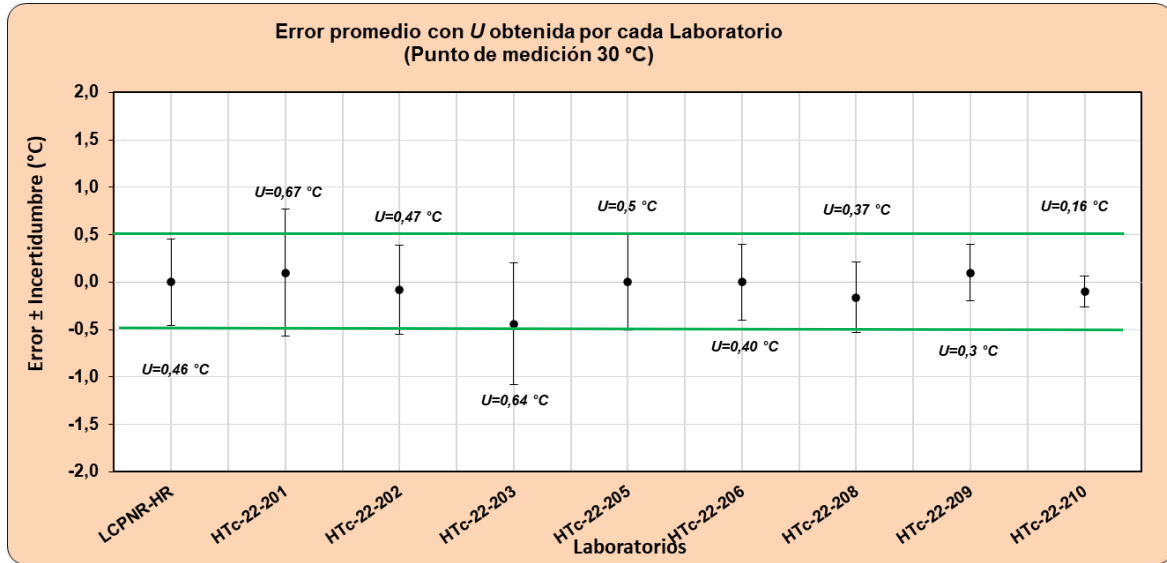


Gráfico 8. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (30 °C).

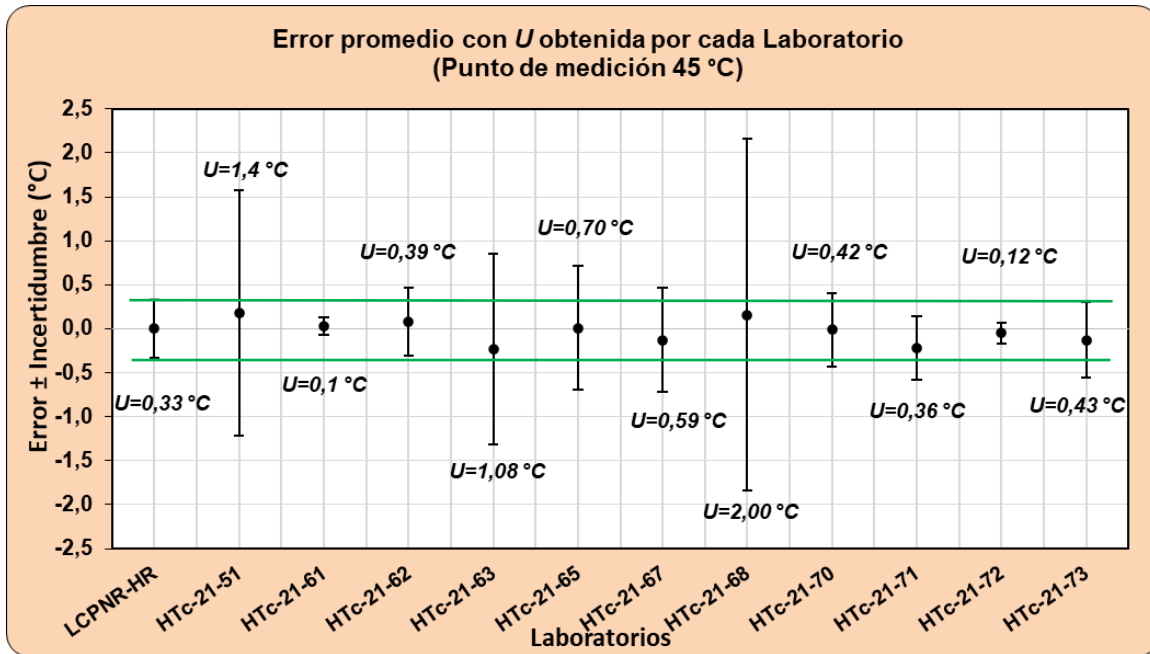


Gráfico 9. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (45 °C).

Evaluación de los resultados

Desempeño de los laboratorios

Los resultados obtenidos por los laboratorios se analizaron mediante el criterio de comparaciones del error normalizado E_n . El error normalizado es definido en las normas sobre comparaciones y utilizado en otras comparaciones. El error normalizado se calcula mediante la ecuación (5), que se aplica para cada punto de medición examinado del laboratorio analizado y el respectivo valor de referencia.

$$E_n = \frac{E_{lab} - E_{ref}}{\sqrt{(U_{lab})^2 + (U_{ref})^2}} \quad (5)$$

E_n = Error normalizado.

E_{lab} = Error de la medición que obtiene el laboratorio participante.

E_{ref} = Error de la medición de referencia (LCPNR-HR de ENAER).

U_{lab} = Incertidumbre expandida (k=2) del error de la medición del laboratorio participante.

U_{ref} = Incertidumbre expandida (k=2) de referencia (LCPNR-HR de ENAER).

El Error Normalizado determina el desempeño de acuerdo al siguiente criterio:

$ E_n \leq 1.0$	Resultado satisfactorio
$ E_n > 1.0$	Resultado NO satisfactorio

En la tabla 9 se tienen los resultados de los errores normalizados calculados para los laboratorios participantes

(Para una mayor claridad se mostrarán nuevamente las tablas 7 y 8).

CUADRO DE DATOS PARA LA OBTENCIÓN DEL ERROR NORMALIZADO DE CADA LABORATORIO

Error Promedio de los participantes

Valor Nominal (°C)	Error Promedio LCPNR-HR	Datos Error Promedio Laboratorios (°C)								
		HTc-22-201	HTc-22-202	HTc-22-203	HTc-22-205	HTc-22-206	HTc-22-207	HTc-22-208	HTc-22-209	HTc-22-210
10,0	0,17	0,04	0,03	-0,10	-----	-0,12	0,3	0,04	0,1	0,0
20,0	0,00	0,03	-0,05	-0,31	0,0	-0,08	0,1	0,06	0,0	0,0
30,0	0,00	0,10	-0,08	-0,44	0,0	0,00	-----	-0,16	0,1	-0,1
45,0	-0,13	0,23	0,56	-0,31	0,0	-0,09	-0,3	-----	-0,2	-----

Tabla 7. Error promedio de los laboratorios participantes.

Incertidumbre de los participantes

Datos Incertidumbre Promedio Laboratorios										
°C	LCPNR-HR (U_ref)	HTc-22-201	HTc-22-202	HTc-22-203	HTc-22-205	HTc-22-206	HTc-22-207	HTc-22-208	HTc-22-209	HTc-22-210
10,0	0,46	0,72	0,47	0,49	-----	0,40	1,1	0,39	0,3	0,18
20,0	0,46	0,81	0,47	0,56	0,4	0,40	1,1	0,37	0,3	0,17
30,0	0,46	0,67	0,47	0,64	0,5	0,40	-----	0,37	0,3	0,16
45,0	0,46	0,77	0,47	0,72	0,5	0,40	1,1	-----	0,4	-----

Tabla 8. Datos de la incertidumbre expandida, *U*, obtenidos por los participantes.

Cálculo de Error Normalizado

Valor Nominal (°C)	Calculo de Error Normalizado por Laboratorio.								
	HTc-22-201	HTc-22-202	HTc-22-203	HTc-22-205	HTc-22-206	HTc-22-207	HTc-22-208	HTc-22-209	HTc-22-210
10,0	0,16	0,22	0,41	-----	0,48	0,10	0,22	0,14	0,36
20,0	0,03	0,08	0,43	0,00	0,13	0,08	0,10	0,00	0,00
30,0	0,12	0,12	0,56	0,00	0,00	-----	0,27	0,18	0,21
45,0	0,40	1,04	0,22	0,18	0,06	0,15	-----	0,12	-----

Tabla 9. Datos del error normalizado de los laboratorios participantes (en los cálculos se han considerado más dígitos de los mostrados en las tablas).

En los gráficos tabulados a continuación se presenta el error normalizado obtenido por cada laboratorio participante en los puntos de medición informados.

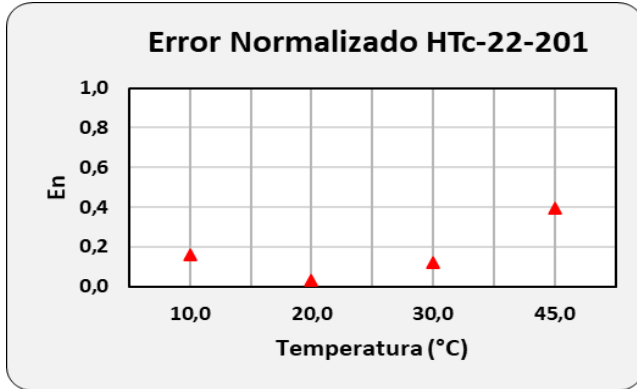


Gráfico (a)

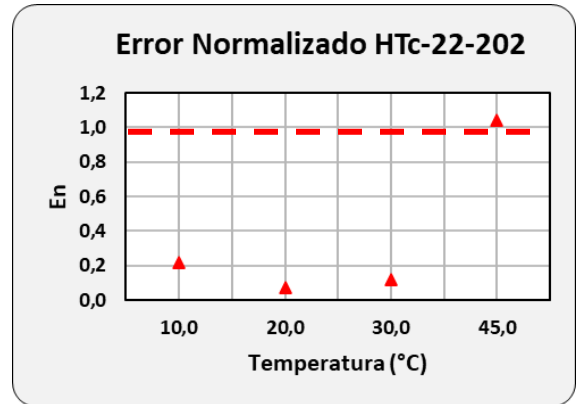


Gráfico (b)

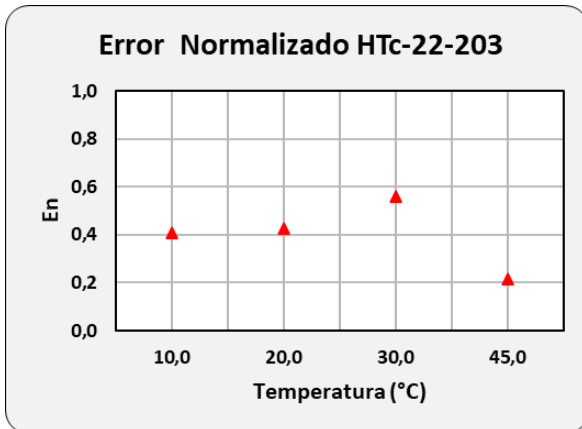


Gráfico (c)

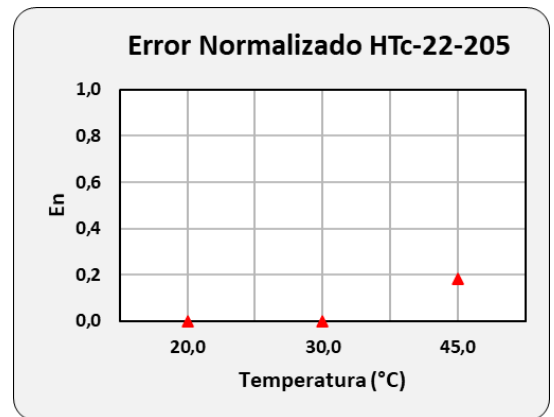


Gráfico (d)

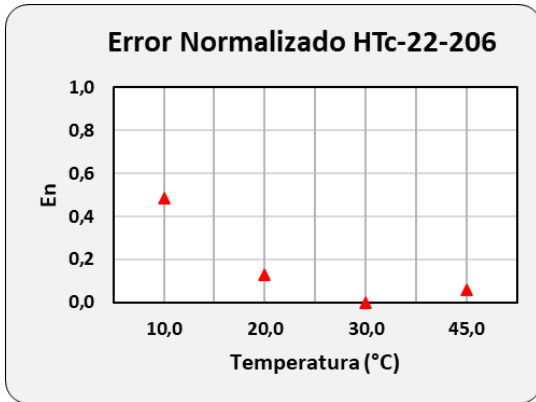


Gráfico (e)

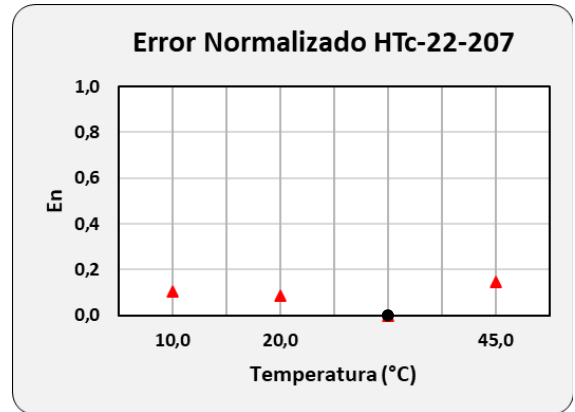


Gráfico (f)

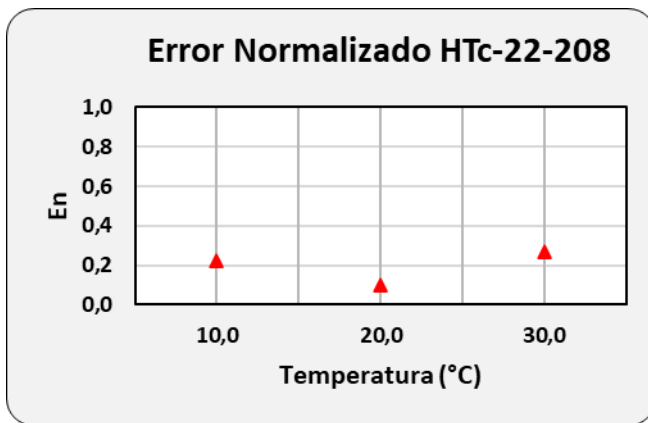


Gráfico (g)

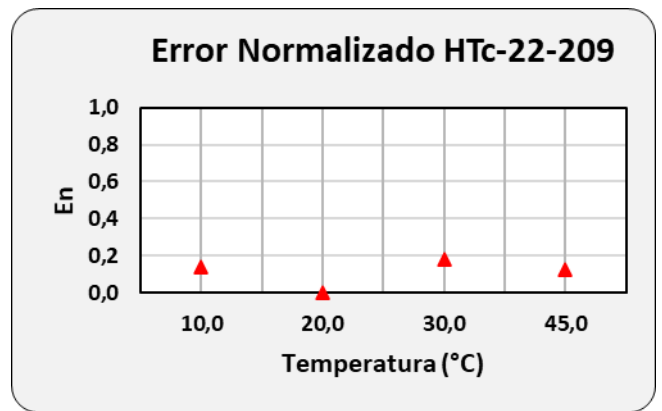


Gráfico (h)

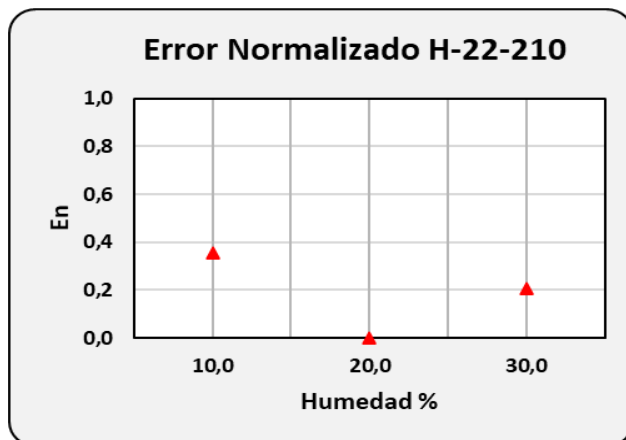


Gráfico (g)

Gráfico (i)

Gráfico 12. Errores normalizados individuales de cada laboratorio participante.

ANALISIS DE LOS VALORES E INCERTIDUMBRE REPORTADOS POR CADA LABORATORIO

La tabla 10 resume la evaluación de cada laboratorio participante en la comparación nacional HRC-20.

Para la evaluación se estudian los cálculos de error de medición y presupuesto de incertidumbre informados por los participantes. En la ecuación (6) se tienen las componentes del presupuesto de incertidumbre para humedad relativa.

$$U_{EXP} = k \sqrt{u^2[t_p] + u^2[t_{ibc}] + u^2[\delta(t)_{hist}] + u^2[\delta(t)_{instb}] + u^2[\delta(t)_{inho}] + u^2[\delta(t_p)_{der}]} \quad (6)$$

#	LABORATORIO PARTICIPANTE	Error	$[t_p]$	$\delta(t_p)_{der}$	$[t_{IBC}]$		$\delta(t)_{hist}$	$\delta(t)_{instb}$	$\delta(t)_{inho}$	U_{exp} (°C)	MCM (°C)
					REP	URES					
1	HTc-22-201	ok	ok	*	ok	ok	*	ok	ok	(0,67 a 0,67)	1,0
2	HTc-22-202	ok	ok	ok	ok	ok	ok	*	*	(0,47)	0,5
3	HTc-22-203	*	ok	*	ok	ok	ok	ok	ok	(0,49 a 0,72)	0,5
4	HTc-22-205	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	(0,4 a 0,5)	0,5
5	HTc-22-206	ok	ok	ok	ok	ok	ok	*	*	(0,4)	0,1
6	HTc-22-207	*	ok	ok	ok	ok	ok	*	*	(1,1)	0,8
7	HTc-22-208	ok	ok	*	ok	ok	ok	ok	ok	(0,37 a 0,39)	0,15
8	HTc-22-209	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	(0,3 a 0,4)	0,6
9	HTc-22-210	*	ok	*	ok	ok	*	ok	ok	(0,16 a 0,18)	0,18

Tabla 10. Observaciones a los cálculos realizados por cada laboratorio

Nota: * indica que existen diferencias entre lo informado y lo calculado por el LCPN-R-HR con los datos recibidos

Participante HTc-22-201

- Se recomienda presentar los valores del patrón en el certificado de calibración y del IBC con una resolución adecuada al instrumento bajo calibración (IBC).

Humedad del vapor de agua en la cámara climática <i>Relative humidity of the air inside the chamber</i> in % HR	Valor de referencia Temperatura <i>Temperature reference value</i> in °C	Temperatura equipo bajo calibración <i>Temperature calibration object</i> in °C	Error de la Medición <i>Measurement error</i> in °C	Incertidumbre de la medición (k=2) <i>Measuring uncertainty (k=2)</i> in °C
50,8	10,06	10,10	0,04	0,72
51,6	20,17	20,20	0,03	0,81
51,2	30,20	30,30	0,10	0,67
51,6	44,97	45,20	0,23	0,77

En este caso la resolución del IBC es de 0,1 °C.

- Se sugiere revisar el valor de deriva de su patrón por representar un aporte importante dentro del presupuesto de incertidumbre de acuerdo a lo siguiente:

PATRONES UTILIZADOS EN EL MEDIO TÉRMICO						
Patron	Fabricante	Modelo	Alcance	Resolución	Incertidumbre Expandida	Fecha de Calibración
Medidor de humedad y temperatura digital			(-10 a 60°C) / (0 a 100 %HR)	0,01	0,71 % HR / 0,32 °C	

10 °C @ 50 %HR.	$u [\delta(t)_{der}]$
Valor	0,24
Divisor	1,732
Valor/Divisor	0,14
Resultado ²	0,02

- Presenta un valor de histéresis en el IBC de forma diferente a lo indicado en protocolo de mediciones en temperatura ambiental de acuerdo a lo siguiente:

PROTOCOLO DE CALIBRACION					
Set Point	20 °C @ 50 %HR.			Observaciones	
CONDICIONES AMBIENTALES					
T° Inicial		%HR Inicial			
T° Final		% HR Final			
Lectura Nº	Hora	LECTURA DEL PATRON Standard reading		LECTURA DEL IBC IBC reading	
		t (°C)	% HR	t (°C)	% HR
1	10:03	20,13	52,12	20,20	52,1
2	10:04	20,14	52,15	20,20	52,2
3	10:05	20,15	52,12	20,20	52,1
4	10:06	20,16	52,15	20,20	52,1
5	10:07	20,15	52,14	20,20	52,1
6	10:08	20,16	52,12	20,20	52,1
7	10:09	20,15	52,15	20,20	52,1
8	10:10	20,14	52,12	20,20	52,2
9	10:11	20,16	52,15	20,20	52,1
10	10:12	20,15	52,14	20,20	52,1
Promedio		20,15	52,14	20,20	Promedio
Valor de Corrección		0,02	-0,55		
Promedio Corregido		20,17	51,59		

PROTOCOLO DE CALIBRACION					
Set Point	20 °C @ 50 %HR.			Observaciones	
CONDICIONES AMBIENTALES					
T° Inicial		%HR Inicial		HISTERESIS	
T° Final		% HR Final			
Lectura Nº	Hora	LECTURA DEL IBC			
		ASCENDENTE t (°C)	DESCENDENTE t (°C)		
1	16:11	20,20	20,30		
2	16:12	20,20	20,30		
3	16:13	20,20	20,30		
4	16:14	20,20	20,30		
5	16:15	20,30	20,30		
6	16:16	20,30	20,40		
7	16:17	20,20	20,30		
8	16:18	20,20	20,30		
9	16:19	20,20	20,40		
10	16:20	20,30	20,30		
Promedio		20,23	20,32		
Histerisis		0,09			

9.4. Análisis de la incertidumbre en la calibración de medidores de temperatura Ambiental

La incertidumbre combinada se puede calcular usando la ley de propagación de incertidumbres.

$$U_{EXP} = k \sqrt{u^2 [t_p] + u^2 [t_{ibc}] + u^2 [\delta(t)_{hiz}] + u^2 [\delta(t)_{instb}] + u^2 [\delta(t)_{inlo}] + u [\delta(t_p)_{dev}]}$$

Dado que la determinación de las fuentes de incertidumbre se hace de manera independiente, la ecuación anterior no considera los efectos de correlación.

Fuente de Incertidumbre	Símbolo	Descripción	Distribución	Divisor	Coefficiente de Sensibilidad
Histéresis del instrumento bajo calibración (IBC).	$u[\delta(t)_{hiz}]$	<p>Incertidumbre por histéresis, se obtiene de exponer el higrómetro a su punto más bajo de operación, luego a su punto más alto y finalmente regresarlo a su condición inicial.</p> $\delta(t)_{hiz} = (t_{ac} - t_{de})$	Rectangular	$\sqrt{12}$	1

Participante HTc-22-202

- Presenta el mismo valor de contribución por incertidumbre por inhomogeneidad y por inestabilidad en todos los puntos de calibración (0,16 °C). Se recomienda mejorar esta evaluación en orden al estudio de la cámara generadora de temperatura utilizada en las calibraciones.

Participante HTc-22-203

- Presenta error en el cálculo de la desviación en el IBC de acuerdo a lo siguiente:

Punto de calibración (°C)	Error de medición Informada (°C)	Error de medición Correcta (°C)
45	-0,44	-0,46

- Presenta una deriva de su patrón de 0,0% en los puntos de calibración de 10 °C, 20 °C, 30 °C y 45 °C.
Se recomienda evaluar este componente de incertidumbre.

20 °C @ 50 %HR.	<i>u [t_{IBC}]</i>						
	<i>u [HR_p]</i>	<i>u [δ(t)_{rep}]</i>	<i>u_{resolucion}</i>	<i>u [δ(t)_{his}]</i>	<i>u [δ(t)_{instb}]</i>	<i>u [δ(t)_{inho}]</i>	<i>u [δ(t)_{der}]</i>
Valor	0,30	0,000	0,1	0,200	0,270	0,280	0,00
Divisor	2,0	1,000	3,464	3,464	1,732	1,732	1,732
Valor/Divisor	0,15	0,000	0,029	0,058	0,156	0,162	0,000
Resultado ²	0,02	0,000	0,000833	0,0033	0,02	0,03	0,00
						Suma.Resultados ²	0,077
					<i>u[(t)(k=1)]</i>	Raiz(Suma.Resultados ²)	0,278
					<i>U[(t)(k=2)]</i>	2(Raiz(Suma.Resultados ²))	0,56

Participante HTc-22-205

- Sin observaciones.

Participante HTc-22-206

- Se recomienda presentar los valores del patrón en el certificado de calibración y del IBC con una resolución adecuada al instrumento bajo calibración (IBC).

Humedad del vapor de agua en la cámara climática <i>Relative humidity of the air inside the chamber</i> in % HR	Valor de referencia Temperatura <i>Temperature reference value</i> in °C	Temperatura equipo bajo calibración <i>Temperature calibration object</i> in °C	Error de la Medición <i>Measurement error</i> in °C	Incertidumbre de la medición (k=2) <i>Measuring uncertainty (k=2)</i> in °C
50,2	10,10	9,98	-0,12	0,40
50,1	20,18	20,10	-0,08	0,40
50,0	30,13	30,13	0,00	0,40
50,1	44,99	44,90	-0,09	0,40

En este caso la resolución del IBC es de 0,1 °C.

- Presenta el mismo valor de contribución por incertidumbre por inhomogeneidad y por inestabilidad en todos los puntos de calibración (0,20 °C). Se recomienda mejorar esta evaluación en orden al estudio de la cámara generadora de temperatura utilizada en las calibraciones.

Participante HTc-22-207

- Presenta error en el cálculo de la desviación en el IBC de acuerdo a lo siguiente:

Punto de calibración (°C)	Error de medición Informada (°C)	Error de medición Correcta (°C)
45	-0,3	-0,2

- Presenta el mismo valor de contribución por incertidumbre por inhomogeneidad y por inestabilidad en todos los puntos de calibración (0,65°C y 0,05°C). Se recomienda mejorar esta evaluación en orden al estudio de la cámara generadora de temperatura utilizada en las calibraciones.

Participante HTc-22-208

- Se sugiere revisar el valor de deriva de su patrón por representar un aporte importante dentro del presupuesto de incertidumbre de acuerdo a lo siguiente:

PATRONES UTILIZADOS EN EL MEDIO TÉRMICO						
Patron	Fabricante	Modelo	Alcance	Resolución	Incertidumbre Expandida	Fecha de Calibración
Termohigrómetro	<input type="text"/>	<input type="text"/>	(0 a 50) °C (10 a 95) % HR	0,01 °C 0,01 %HR	0,11 °C 0,9 % HR	<input type="text"/>

10 °C @ 50 %HR.	$u [\delta(t)_{der}]$
Valor	0,13
Divisor	1,732
Valor/Divisor	0,075
Resultado ²	0,0056

Participante HTc-22-209

- Sin observaciones.

Participante HTc-22-210

- Presenta error en el cálculo de la desviación en el IBC de acuerdo al reporte final de calibración de acuerdo a lo siguiente:

Punto de calibración (°C)	Error de medición Informada (°C)	Error de medición Correcta (°C)
10	0,0	-0,04
20	0,0	-0,01
30	-0,1	-0,06

- Se recomienda presentar los valores del patrón con una resolución de acuerdo a la resolución del instrumento bajo calibración (IBC).

Valor de referencia Temperatura <i>Temperature reference value</i> in °C	Temperatura equipo bajo calibración <i>Temperature calibration object</i> in °C	Error de la Medición <i>Measurement error</i> in °C	Incertidumbre de la medición (k=2) <i>Measuring uncertainty (k=2)</i> in °C
10,34	10,3	0,0	0,18
20,21	20,2	0,0	0,17
30,16	30,1	-0,1	0,16

- Se sugiere revisar el valor de deriva de su patrón por representar un aporte importante dentro del presupuesto de incertidumbre de acuerdo a lo siguiente:

PATRONES UTILIZADOS EN EL MEDIO TÉRMICO						
Patron	Fabricante	Modelo	Alcance	Resolución	Incertidumbre Expandida	Fecha de Calibración
TERMOHIGROMETRO			10 a 95 %hr 0 a 50 °C	0,01%hr 0,01 °C	0,46 %hr 0,05 °C	

10 °C @ 50 %HR.	$u [\delta(t)_{der}]$
Valor	0,05
Divisor	1,732
Valor/Divisor	0,029
Resultado ²	0,0008

- Presenta un valor de histéresis en el IBC no siendo respaldado en su planilla de valores en formato Excel de acuerdo a lo siguiente:

PROTOCOLO DE CALIBRACION					
Set Point	10 °C @ 50 %HR.				Observaciones
CONDICIONES AMBIENTALES					
T° Inicial	23,3	%HR Inicial	44		
T° Final	23,3	%HR Final	44,7		
Lectura Nº	Hora	LECTURA DEL PATRON		LECTURA DEL IBC	
		Standard reading		IBC reading	
		t (°C)	% HR	t (°C)	% HR
1	18:11	10,31	53,52	10,3	50,1
2	18:12	10,31	53,51	10,3	50,1
3	18:13	10,32	53,50	10,3	50,1
4	18:14	10,34	53,45	10,3	50,1
5	18:15	10,34	53,40	10,3	50,1
6	18:16	10,37	53,36	10,3	50,0
7	18:17	10,37	53,36	10,4	50,0
8	18:18	10,35	53,24	10,4	49,9
9	18:19	10,36	53,29	10,4	49,9
10	18:20	10,35	50,48	10,4	50,1

PROTOCOLO DE CALIBRACION					
Set Point	CONDICIONES AMBIENTALES				Observaciones
T° Inicial	%HR Inicial			HISTERESIS	
T° Final	%HR Final				
Lectura N°	Hora	LECTURA DEL PATRON Standard reading		LECTURA DEL IBC IBC reading	
		t (°C)	% HR	t (°C)	% HR
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

y el laboratorio reporta lo siguiente:

10 °C @ 50 %HR.	$u [\delta(t)_{his}]$
Valor	0,100
Divisor	3,464101615
Valor/Divisor	0,029
Resultado ²	0,00083

- El laboratorio no fue evaluado en el error normalizado en el punto de Calibración de 45,0 °C debido a que no se cumplió con lo solicitado en el protocolo de mediciones de acuerdo a lo siguiente:

Ensayo para Cámara climática

Humedad de referencia en la cámara	Temperatura ambiental			
	Puntos de medición en Temperatura ambiental (°C)			
50 % HR	10	20	30	45

Nota: Los puntos de comparación se acordaron en la reunión del taller de cierre de Humedad relativa con fecha 28 de diciembre de 2021.

ATENCIÓN: Al final de las 10 mediciones, el valor medio corregido de la indicación del patrón del laboratorio debe indicar el valor nominal con una tolerancia de:

Cámara Climática : ± 2%HR y 0,3 °C.

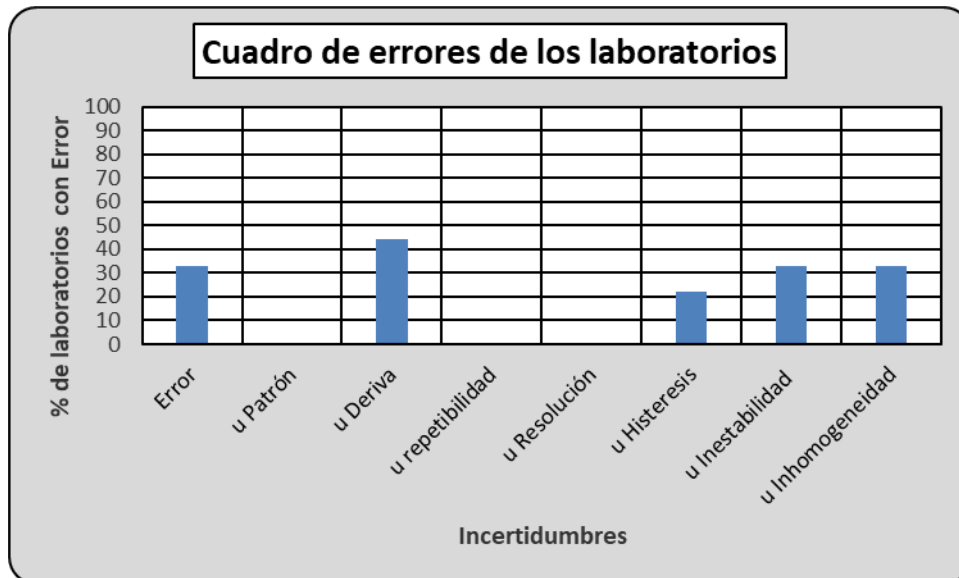
Sales higroscópicas : ± 3%HR y 0,5 °C.

Punto de calibración (°C)	Punto de calibración Informado (°C)	Tolerancia de desviación (°C)	Diferencia entre punto nominal y de calibración °C
45,0	40,0	+/- 0,3	-5,0

CONCLUSIONES RONDA HTc-22

- De los resultados obtenidos por los laboratorios participantes en este ejercicio de acuerdo al criterio de cálculo de Error normalizado “**Ronda HTc-22**” integrantes de la RNM de Chile, se obtiene el siguiente Resultado:
- Resultado **SATISFACTORIO** en un 88,9 % equivalente a 8 participantes.
- Resultado **INSATISFACTORIO** en un 11,1 % equivalente a 1 participantes. (Punto de medición 45 °C, Error normalizado: 1,04).

A pesar de este resultado y por los análisis realizados a cada laboratorio participante se pueden visualizar lo siguiente:



AGRADECIMIENTOS

Se agradece la disposición de participación en esta comparación a los 9 laboratorios Participantes que presentaron resultados en este ensayo de aptitud HTc-22 y la activa participación de la División de Metrología del INN.

REFERENCIAS

- (1) Guide to the Expression of uncertainty in measurement JCGM 100:2008 BIPM
- (2) The International System of Units. Bureau International des poids et mesures 9^oedition, 2019.
- (3) Lineamientos generales y procedimiento del ensayo de Aptitud LCPNR-HR ENAER 2016.
- (4) GUIDE ISO/IEC 17043 Proficiency testing by interlaboratory comparisons.
- (5) Norma ISO 17025 Requisitos Generales para la competencia de Laboratorios de Calibración y Ensayo.
- (6) DKD-R 5-7 (Calibración de cámaras climáticas).
- (7) http://www.metrologia.cl/medios/Determ_incert_estab_grad_histeresis.pdf