



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

INFORME B

COMPARACIÓN NACIONAL

HTc-19
(Participantes con cámara climática)

CALIBRACIONES DE UN TERMOHIGROMETRO DIGITAL

Rango de medición: 10°C a 45°C.

Medio de Generación: Cámara climática.

Agosto 2019 – Diciembre 2019

ENSAYO DE APTITUD – HUMEDAD RELATIVA

Marcial Espinoza. Antonio Monsalve. Carolina Martínez
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 carolina.martinez@enaer.cl

Resumen: El Laboratorio Custodio de Patrones Nacionales - Humedad Relativa de ENAER y el área de metrología del Instituto Nacional de Normalización INN Perteneiente a la Red Nacional de Metrología realizan el Ensayo de Aptitud 2019. 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-18. La comparación se llevó a cabo desde agosto de 2019 a diciembre de 2019. Para la comparación se utilizó como patrón de comparación un termohigrómetro digital, el alcance de medición es de -20°C a 60°C, clase de exactitud del $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ y una resolución de $0,01^{\circ}\text{C}$. El instrumento fue facilitado por el LCPNR-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 2019 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 ésta 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 metrológico de la magnitud temperatura ambiental entre los laboratorios de calibración de Chile, con el fin de estimar los niveles de concordancia en las mediciones de temperatura entre los laboratorios participantes y el laboratorio piloto LCPNR-HR de ENAER, incluyendo un estudio en la desviación de la medición e incertidumbre asociada.

DATOS GENERALES

Laboratorios participantes

Al ensayo de aptitud 2019 lograron incorporarse 10 laboratorios participantes en la magnitud Humedad Relativa.

Laboratorio	Empresa	Contacto	Información
1	SMI	Romina Gaete Barrau	rgaete@smilab.cl
2	VETO	Hernán Ramírez V.	Jefe.calibraciones@veto.cl
3	DTS	Sebastián Morgado	smorgado@dts.cl
4	CESMEC	Miguel Mariangel G.	mmariangel@cesmec.cl
5	SERVINCAL CHILE SPA.	Eduardo Reyes	eduardo.reyes@servincal.cl
6	CALMANREP	Eduardo Román T.	eroman@calmanrep.cl
7	IDIC	Ricardo Muñoz	ricardo.munoz@idic.cl
8	USACH-CIDE	Roberto figueroa	Roberto.figueroa@usach.cl
9	SOLMEE EIRL	Domingo De Negri Q.	domingo.denegri@gmail.com
10	EXACTIMET	Junior J. Aparicio G.	Junior.aparicio@exactimet.cl
LCPNR-HR (ENAER)		Marcial Espinoza Marchant	marcial.espinoza@enaer.cl
		Antonio Monsalve Venegas	antonio.monsalve@enaer.cl

Tabla 1. Empresas participantes.

Fechas para realizar las mediciones.

El equipo circuló de acuerdo con el siguiente cronograma:

Laboratorio	Empresa	Fecha Tentativa
1	LCPNR-HR (ENAER)	26/08/19 – 30/08/19
2	SMI	02/09/19 – 06/09/19
3	VETO	09/09/19 – 16/09/19
4	DTS	17/09/19 – 27/09/19
5	CESMEC	30/09/19 – 04/10/19
6	SERVINCAL CHILE SPA.	07/10/19 – 11/10/19
1	LCPNR-HR (ENAER)	14/10/19 – 18/10/19
7	CALMANREP EIRL	21/10/19 – 25/10/19
8	IDIC	28/10/19 – 05/11/19
9	USACH-CIDE	06/11/19 – 12/11/19
10	SOLMEE EIRL	13/11/19 – 19/11/19
11	EXACTIMET	20/11/19 – 26/11/19
1	LCPNR-HR (ENAER)	27/11/19 – 03/12/19

Tabla 2. Fechas de realización de la comparación

Esquema del desarrollo de la Comparación

El siguiente esquema explica el desarrollo de la actividad:

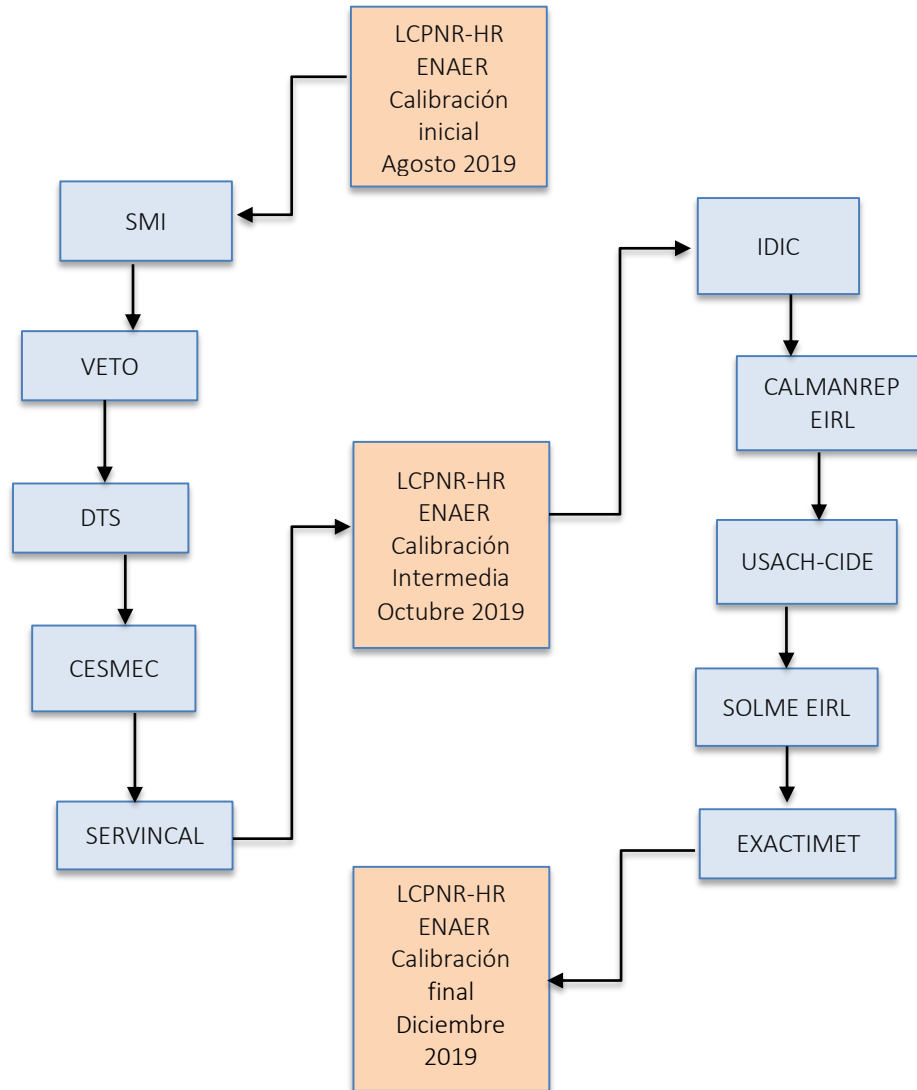


Figura 1. Esquema Ensayo de Aptitud.

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 en noviembre de 2019.

El 04 de mayo de 2020 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 B)

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	Número de Serie	Clase de Exactitud	Alcance	Resolución
Vaisala	Indicador: MI70 Sensor: HMP76	Indicador: P3120001 Sensor: P3340214	± 1,0 %HR	0 %HR a 90 %HR	0,01 %
			± 1,7 %HR	90 %HR a 100 %HR	
			± 0,2 °C	-20 a 60 °C	0,01 °C

Tabla 3. Patrón Viajero de comparación



Figura 2. Patrón viajero usado en la comparación H-19 para participantes con cámara climática

Puntos de calibración

Para el ensayo de aptitud 2019 se acordó realizar con los laboratorios participantes los siguientes puntos de calibración:

Temperatura ambiental

Humedad relativa de referencia en la cámara	Puntos de medición en temperatura ambiental (°C)			
59%HR	10	20	30	45

Referencia: Protocolo de Ensayo de Aptitud Nacional (Julio 2019).

Patrón Nacional

Como patrón de referencia el LCPNR-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 °C
Estándar Primario	Generador de Humedad por dos Presiones	Thunder Scientific	2500S-LT	0502478	0 a 70	No menor que 0,3

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 3 ocasiones según el cronograma descrito en la tabla 2. Para las tres calibraciones realizadas, el mismo procedimiento, patrón 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 LCPNR-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:

HR _{cámara} %HR	Calibración Inicial				Calibración Intermedia				Calibración Final			
	T _{Patron}	T _{VAISALA}	E ₁	U ₁	T _{Patron}	T _{VAISALA}	E ₂	U ₂	T _{Patron}	T _{VAISALA}	E ₃	U ₃
59	10,00	9,96	0,04	0,30	10,00	9,93	0,07	0,30	10,00	9,95	0,05	0,30
	20,01	19,98	0,03	0,30	20,04	20,01	0,03	0,30	20,04	19,98	0,06	0,30
	30,00	29,96	0,03	0,30	29,99	29,96	0,03	0,30	30,00	29,99	0,01	0,30
	45,00	44,92	0,08	0,30	45,00	44,97	0,03	0,30	45,01	45,00	0,01	0,33

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

En el gráfico 1 se presenta el error de medición encontrado por el LCPNR-HR de ENAER para el patrón viajero a partir de las mediciones realizadas a lo largo de la comparación.

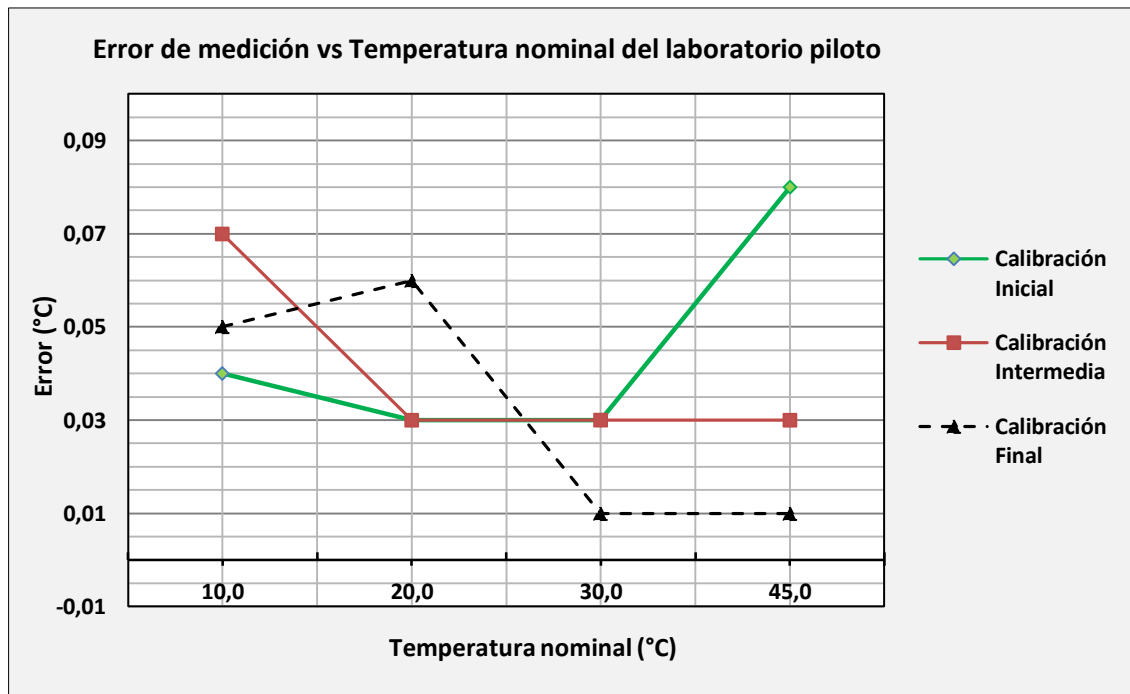


Gráfico 1. Error de medición encontrado para el patrón viajero en las calibraciones realizadas por el LCPNR-HR de ENAER

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 calibraciones inicial e intermedia (d_{1-2}) y entre la calibración intermedia y final (d_{2-3}).

<i>T</i> <i>Nominal</i>	<i>Patrón Viajero (Vaisala)</i>					
	E_1	E_2	d_{1-2}	E_2	E_3	d_{2-3}
10	0,04	0,07	-0,03	0,07	0,05	0,02
20	0,03	0,03	0,00	0,03	0,06	-0,03
30	0,03	0,03	0,00	0,03	0,01	0,02
45	0,08	0,03	0,05	0,03	0,01	0,02

Tabla 6. Resultados de las derivas entre calibraciones sucesivas. En color amarillo se tiene la máxima deriva encontrada, mientras que en color azul se indica el mínimo valor de deriva.

Se encuentra como deriva mínima para el patrón viajero 0°C, correspondiendo este valor a la diferencia entre los errores de las calibraciones inicial e intermedia, en el punto de calibración de 20°C. Mientras que la deriva máxima alcanza el valor de 0,05°C, el que se obtiene de la diferencia entre los errores de las calibraciones inicial e intermedia, en el punto de calibración 45°C.

Para efectos de esta comparación se considerará como componente adicional al presupuesto de incertidumbre una posible deriva del patrón viajero, en particular se utilizó la mayor deriva encontrada entre dos calibraciones sucesivas (0,05°C) y evaluada como una distribución rectangular tipo B, la evaluación entonces es:

$$u_{\text{deriva}} = \frac{d}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

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. Para esta comparación, el error de referencia asociado al laboratorio piloto corresponderá al promedio de los errores de medición encontrados durante las calibraciones realizadas, mientras que para el valor de incertidumbre de referencia se considerará el máximo valor calculado en las calibraciones

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

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

En el gráfico 2 se presenta el error promedio con su incertidumbre de calibración obtenida por el LCPNR-HR de ENAER.

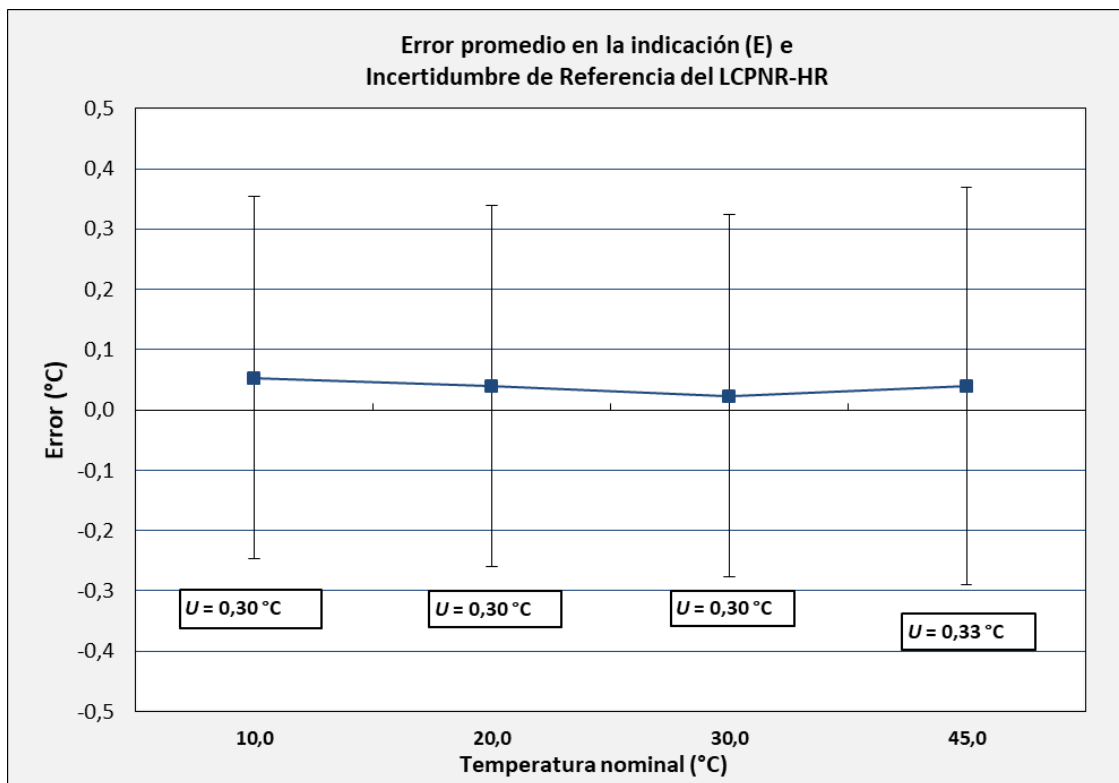


Gráfico 2. Error promedio con su respectiva incertidumbre expandida, U ($k=2$, 95%) para cada punto de temperatura ambiental medido por el LCPNR-HR de ENAER.

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

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

En el gráfico 3 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.

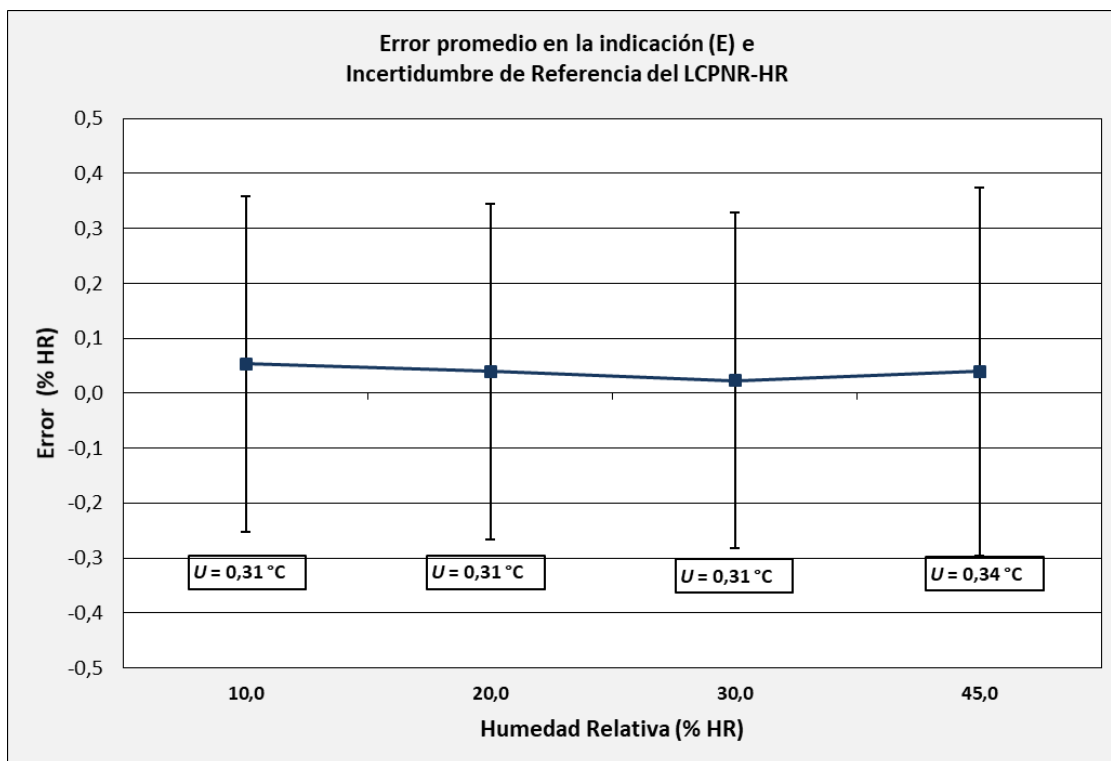


Gráfico 3. Error promedio, E , e incertidumbre del laboratorio de referencia, U ($k=2$, 95%), con consideración adicional por deriva del patrón viajero.

Datos de las mediciones

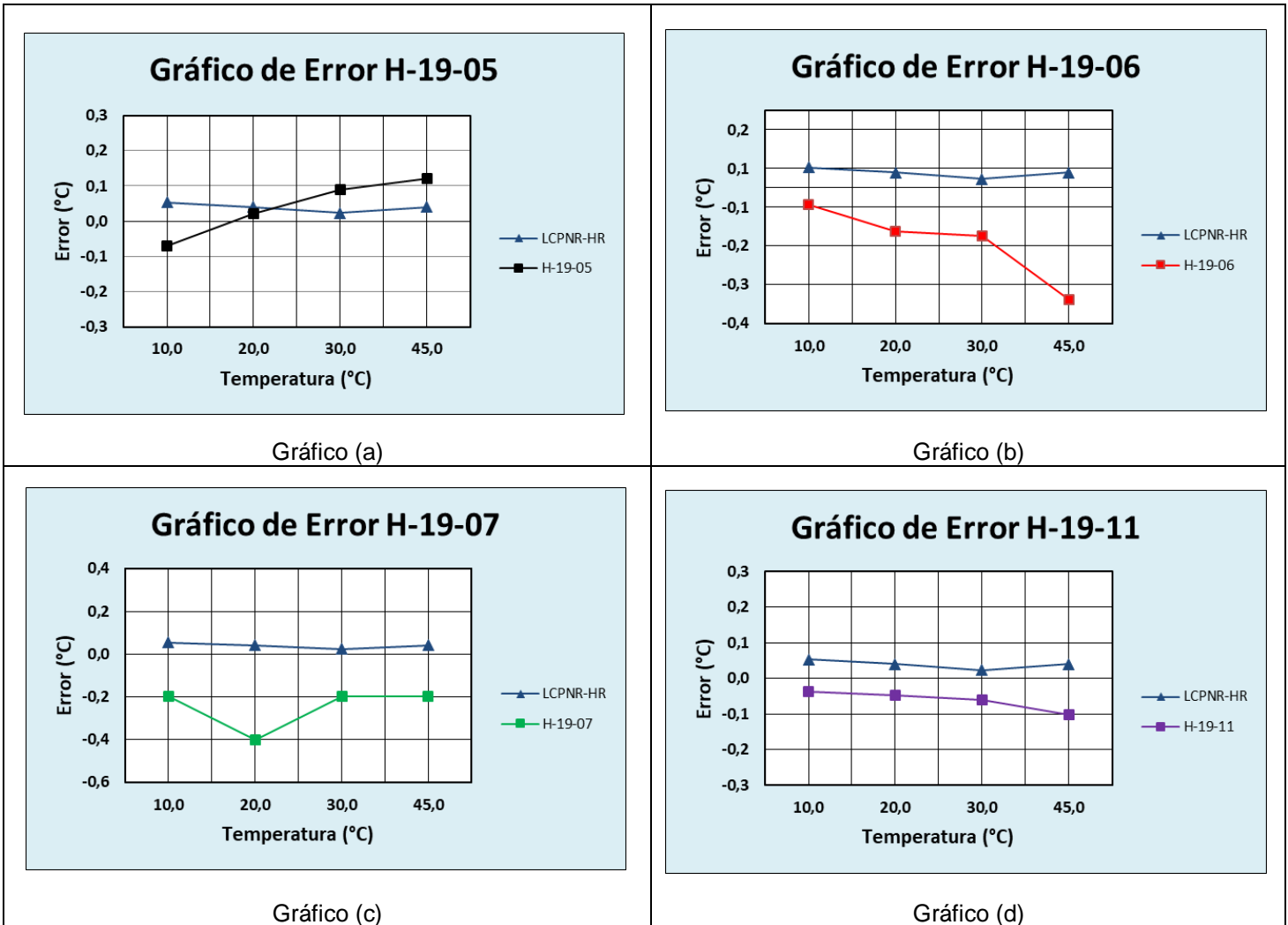
En la tabla 7 se presentan los resultados de error promedio obtenidos en la comparación por los laboratorios participantes y en la tabla 8 se encuentran las incertidumbres de medición de los participantes para los diferentes puntos de temperatura ambiental.

Error Promedio de los participantes

Valor Nominal (°C)	Error Promedio LCPNR-HR	Datos Error Promedio Laboratorios (°C)									
		H-19-05	H-19-06	H-19-07	H-19-11	H-19-15	H-19-30	H-19-40 (Nota 1)	H-19-45	H-19-57	H-19-73
10,0	0,05	-0,07	-0,04	-0,2	-0,04	0,01	-	*	0,00	-0,21	-0,30
20,0	0,04	0,02	-0,11	-0,4	-0,05	0,00	-0,04	*	-	-0,10	-0,10
30,0	0,02	0,09	-0,13	-0,2	-0,06	-0,03	-0,05	*	0,13	0,07	-0,13
45,0	0,04	0,12	-0,29	-0,2	-0,10	-0,05	-0,10	*	0,09	0,19	0,04

Tabla 7. Error promedio de los laboratorios participantes. (Nota 1: El laboratorio no envió los datos para la comparación.)

En los gráficos tabulados a continuación se presenta una comparación entre el error medio obtenido por cada participante y el mismo obtenido por el laboratorio piloto para cada punto de medición.



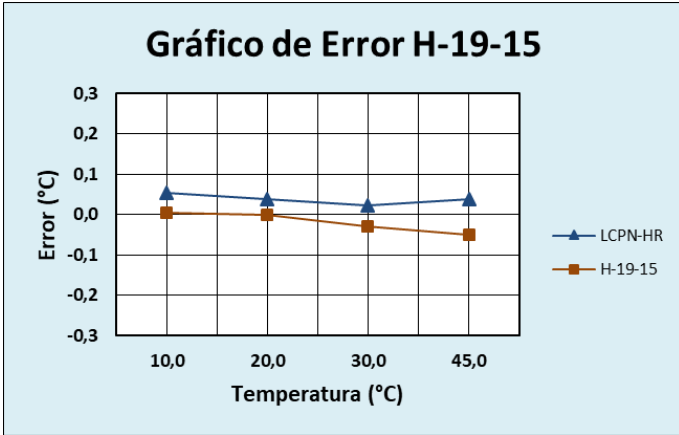


Gráfico (e)

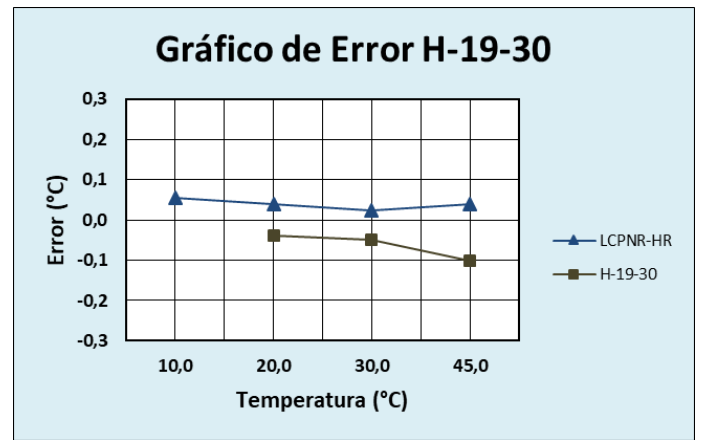


Gráfico (f)

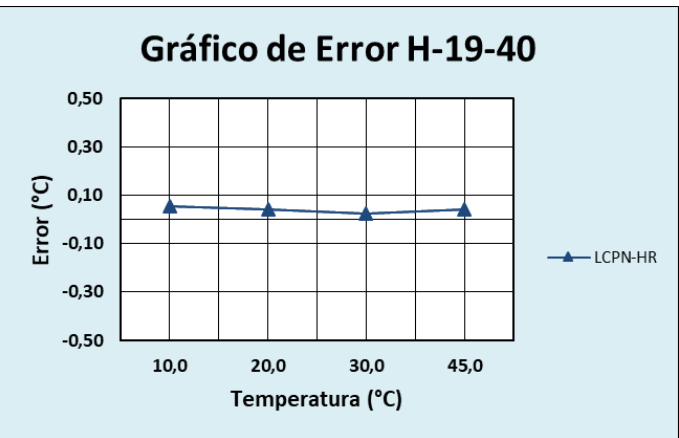


Gráfico (g)

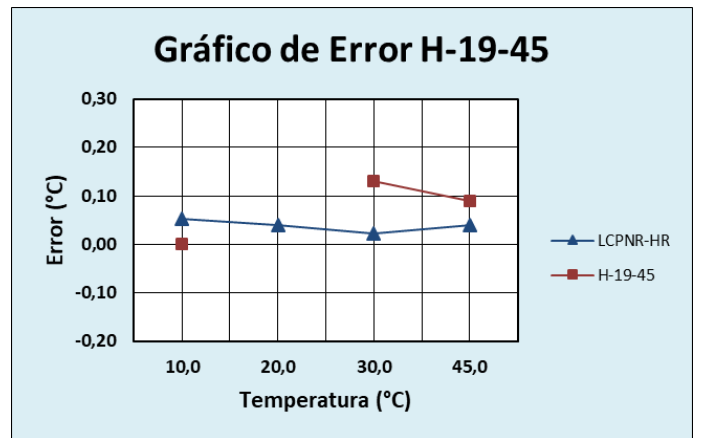


Gráfico (h)

Nota: El Laboratorio no entregó datos de calibración.

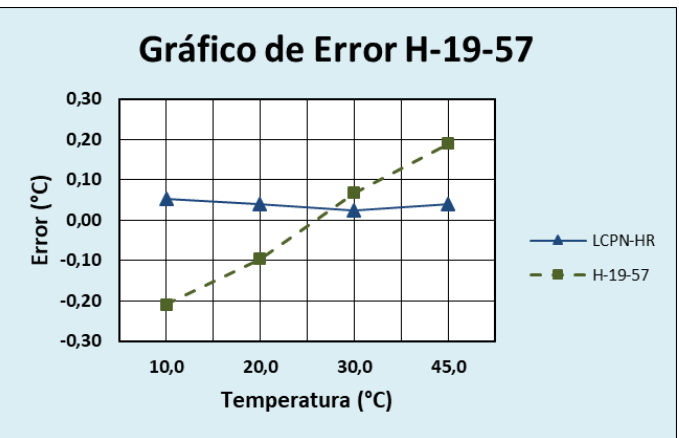


Gráfico (g)

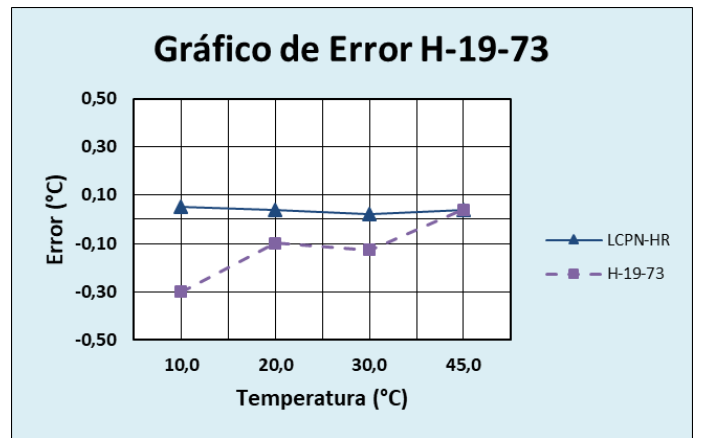


Gráfico (h)

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

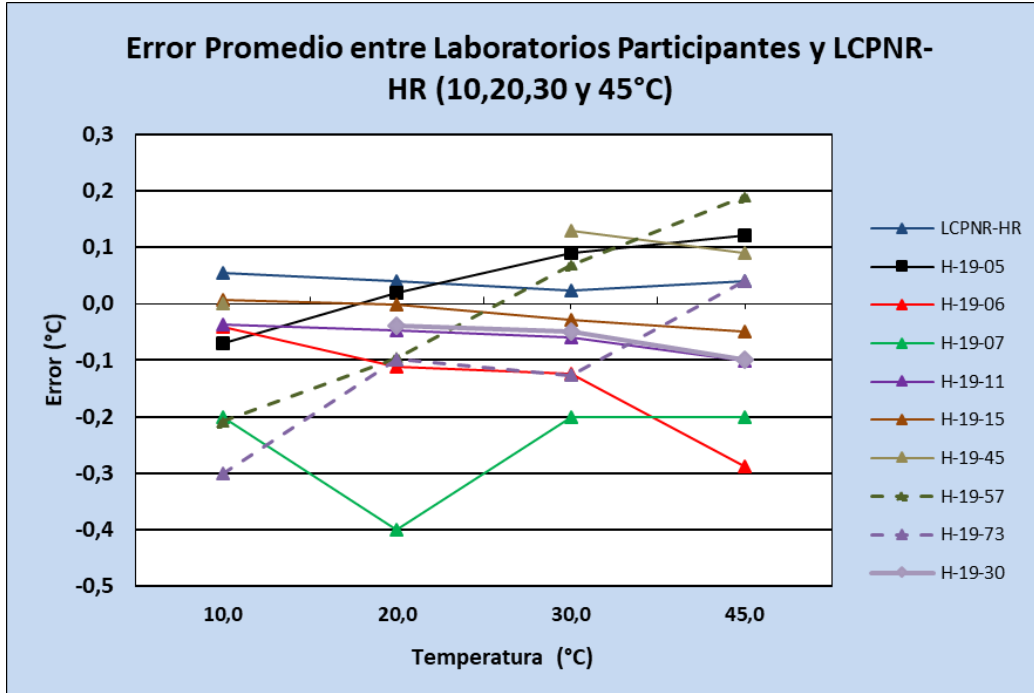


Gráfico 5. Error promedio de laboratorios participantes.

Incertidumbre de los participantes

Valor Nominal (°C)	Incertidumbre LCPNR-HR (k=2)	Incertidumbre de los laboratorios participantes (°C)									
		H-19-05	H-19-06	H-19-07	H-19-11	H-19-15	H-19-30	H-19-40 (Nota 1)	H-19-45	H-19-57	H-19-73
10,0	0,31	0,69	0,50	1,7	0,27	0,08	-	*	0,10	1,1	0,37
20,0	0,31	0,40	0,64	1,7	0,27	0,10	0,38	*	-	1,0	0,32
30,0	0,31	0,64	0,64	1,7	0,27	0,15	0,38	*	0,08	1,0	0,32
45,0	0,34	0,59	0,64	1,7	0,30	0,11	0,38	*	0,09	1,0	0,37

Tabla 8. Datos de la incertidumbre expandida, U , obtenidos por los participantes. (Nota 1: El laboratorio no envió los datos para la comparación.)

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.

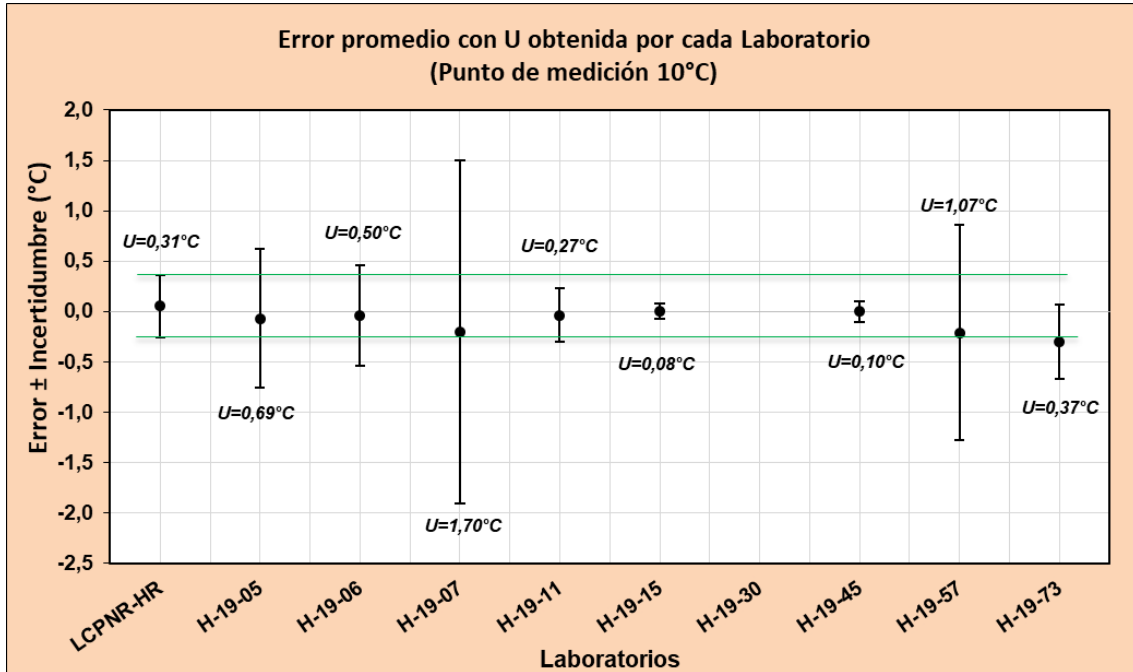


Gráfico 6. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (10°C).

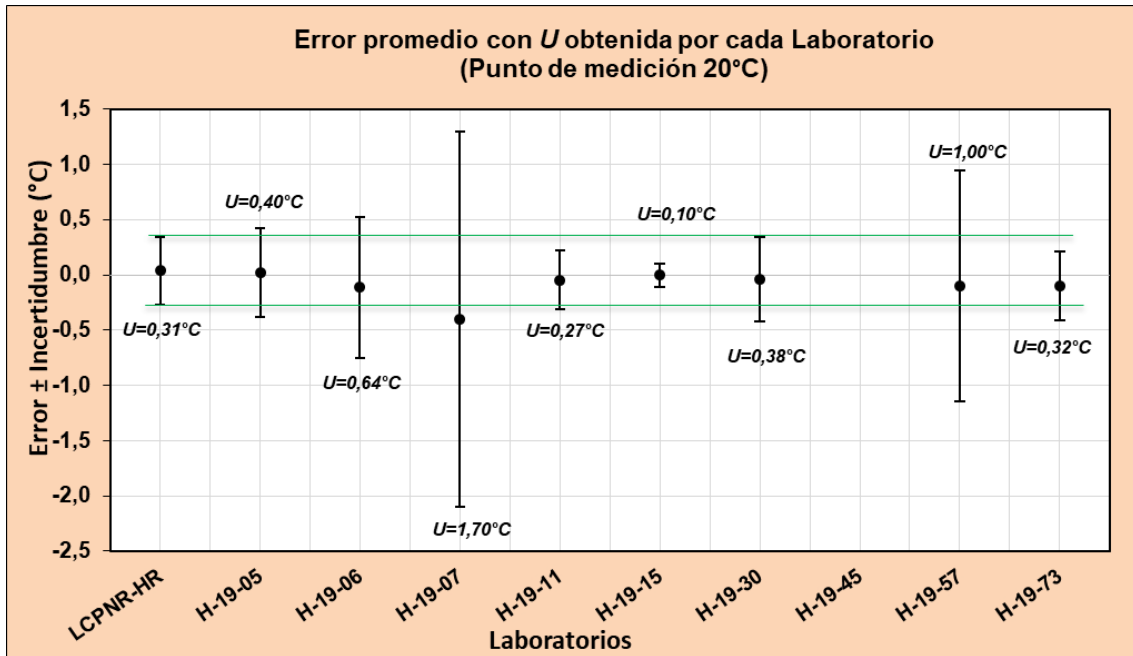


Gráfico 7. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (20°C).

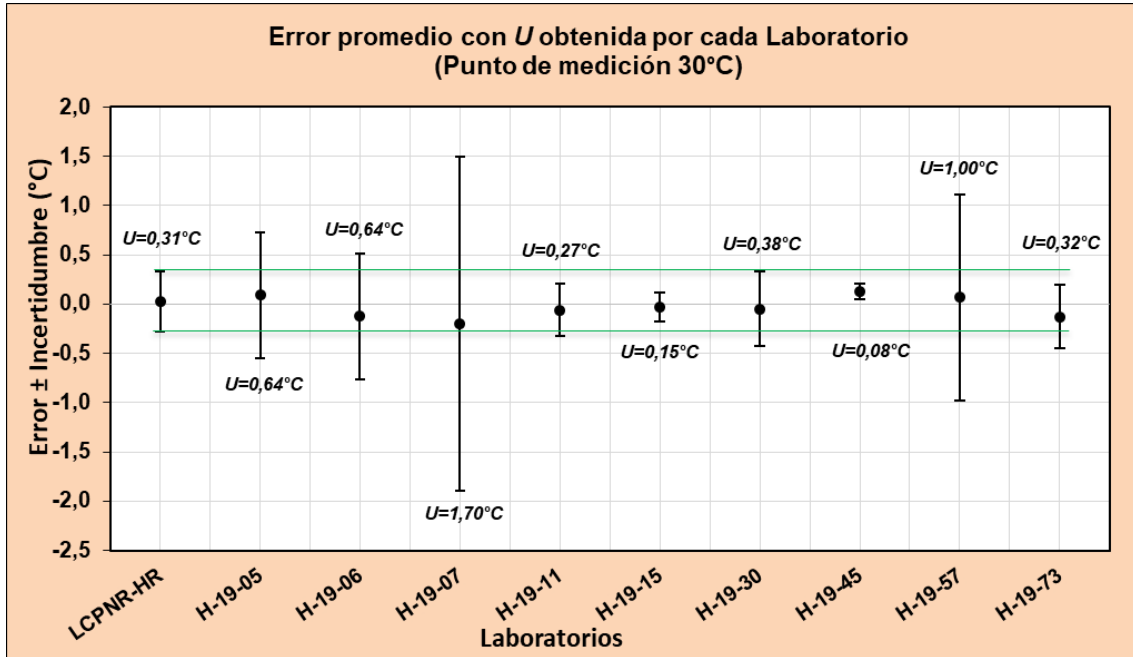


Gráfico 8. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (30°C).

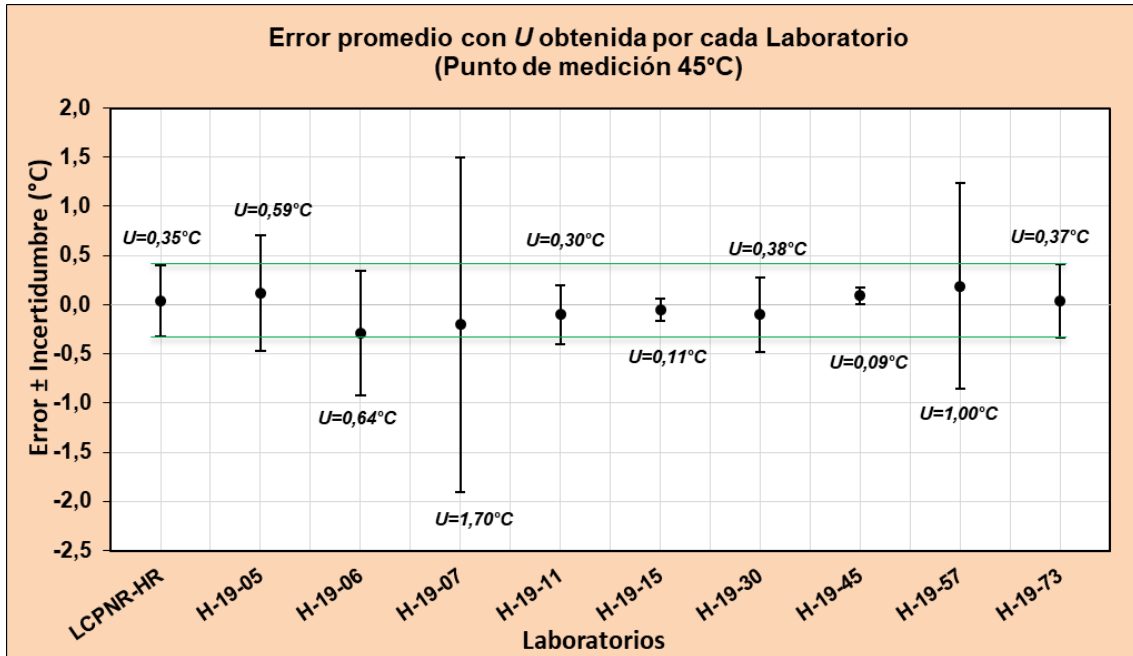


Gráfico 9. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (45°C).

El gráfico 10 muestra el punto de calibración en temperatura ambiental con mayor dispersión entre los resultados de los participantes, correspondiente en este caso al punto 45°C, mientras que en el gráfico 11 se tiene el punto 30°C donde se encontró la menor dispersión entre los resultados de los participantes.

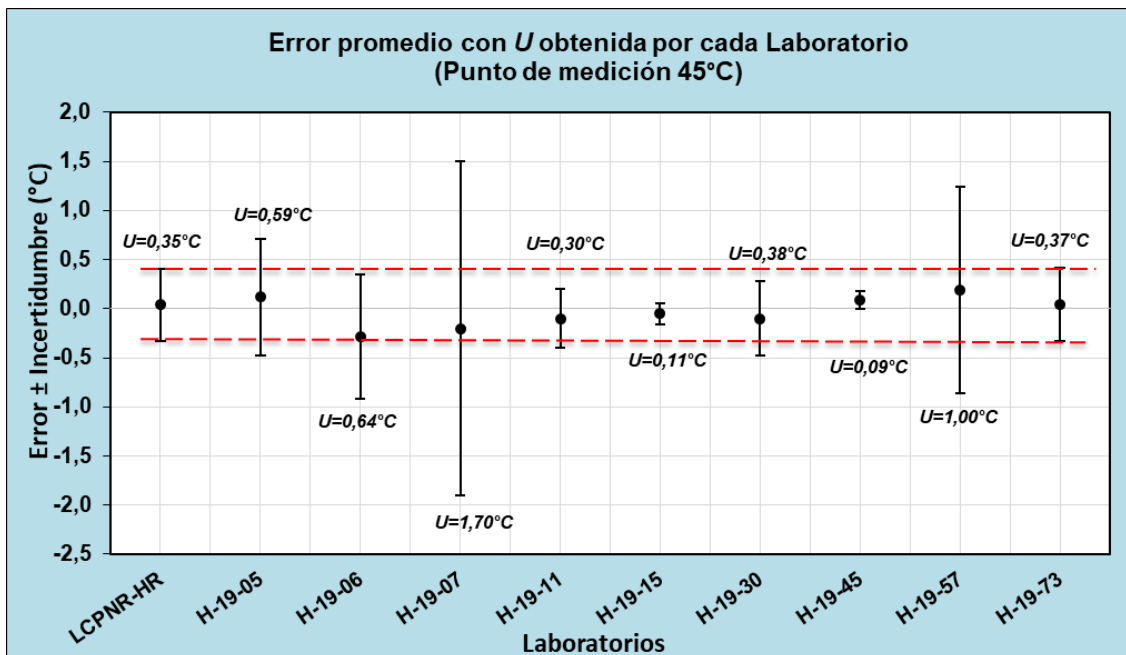


Gráfico 10. Datos de error promedio E , con incertidumbre expandida, U , en el punto de medición con mayor dispersión.

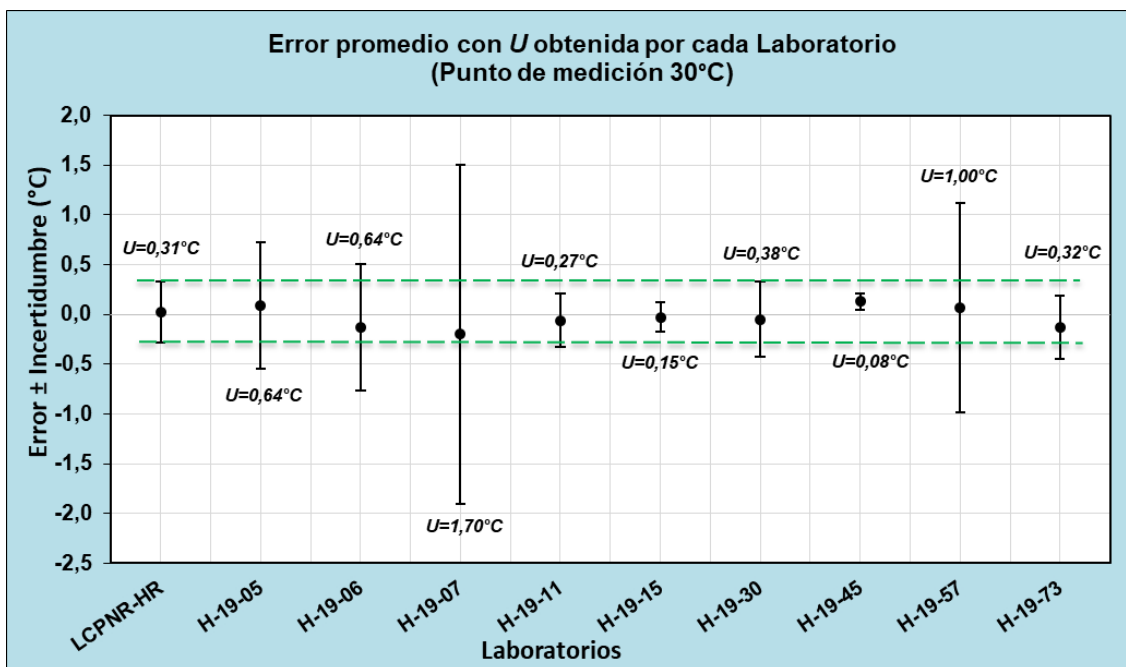


Gráfico 11. Datos de error promedio E , con incertidumbre expandida, U , en el punto de menor dispersión

Evaluación de los resultados

Desempeño de los laboratorios

Los resultados obtenidos por los laboratorios se analizaron de acuerdo con el criterio de comparaciones del error normalizado E_n . El error normalizado se calcula mediante la ecuación (5), que se aplica para cada punto de medición examinado.

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

E_n = Error normalizado.

E_{lab} = Error de la medición informado por el laboratorio participante.

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

U_{lab} = Incertidumbre expandida (k=2) informada por el laboratorio participante.

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

De acuerdo con este criterio se considera que los resultados informados por los laboratorios participantes son compatibles con los resultados obtenidos por el laboratorio piloto cuando el error normalizado toma valores menores o iguales a uno, mientras que errores normalizados mayores a uno reflejan resultados incompatibles y no satisfactorios para efectos de la comparación:

$$\begin{aligned} |E_n| &\leq 1.0 && \text{Resultado satisfactorio} \\ |E_n| &> 1.0 && \text{Resultado NO satisfactorio} \end{aligned}$$

En la tabla 9 se tienen los resultados de los errores normalizados calculados para los laboratorios participantes a partir de la información de las tablas 7 y 8.

Valor Nominal (°C)	CALCULO DE ERROR NORMALIZADO POR LABORATORIO									
	H-19-05	H-19-06	H-19-07	H-19-11	H-19-15	H-19-30	H-19-40 (Nota 1)	H-19-45	H-19-57	H-19-73
10,0	0,16	0,16	0,15	0,23	0,15	-	*	0,17	0,24	0,74
20,0	0,04	0,22	0,25	0,22	0,13	0,16	*	-	0,12	0,32
30,0	0,09	0,21	0,13	0,20	0,15	0,15	*	0,34	0,04	0,34
45,0	0,12	0,46	0,14	0,31	0,26	0,28	*	0,14	0,14	0,00

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 muestran los errores normalizados obtenidos para cada participante.

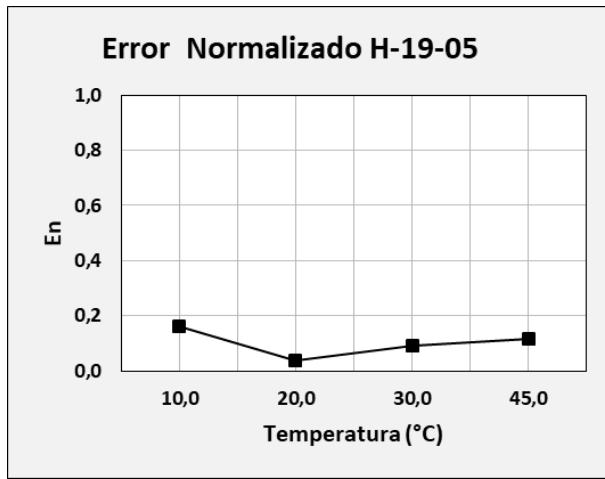


Gráfico (a)

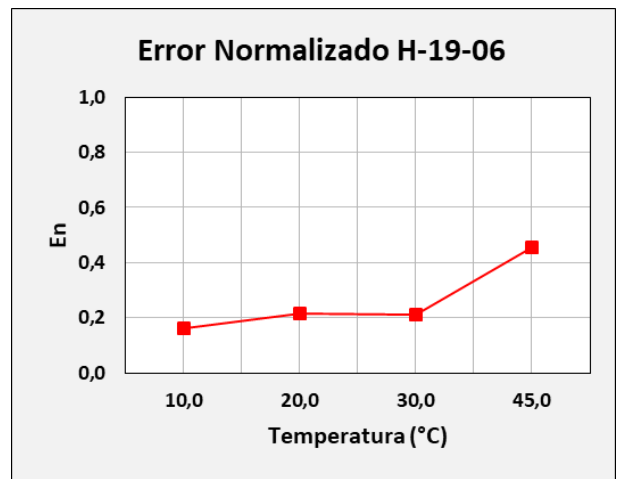


Gráfico (b)

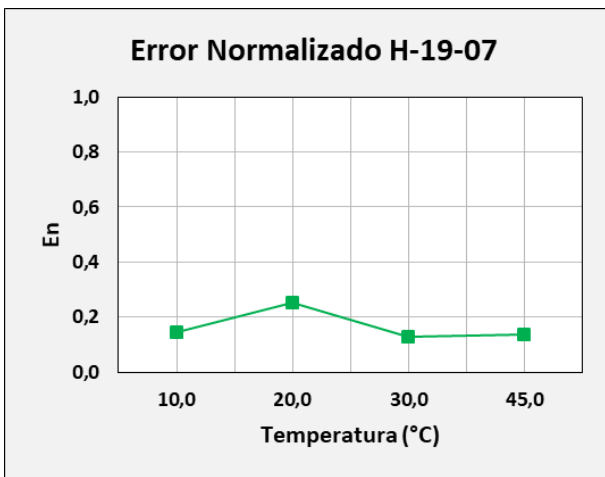


Gráfico (c)

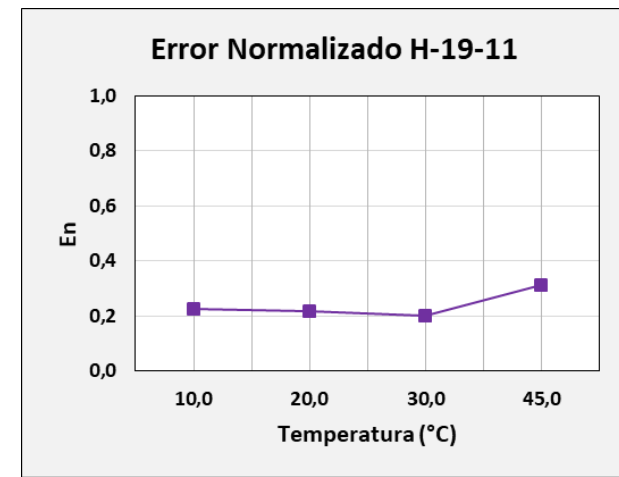


Gráfico (d)

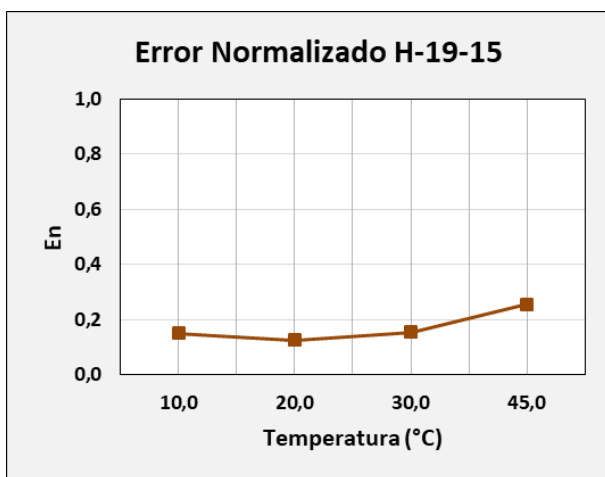


Gráfico (e)

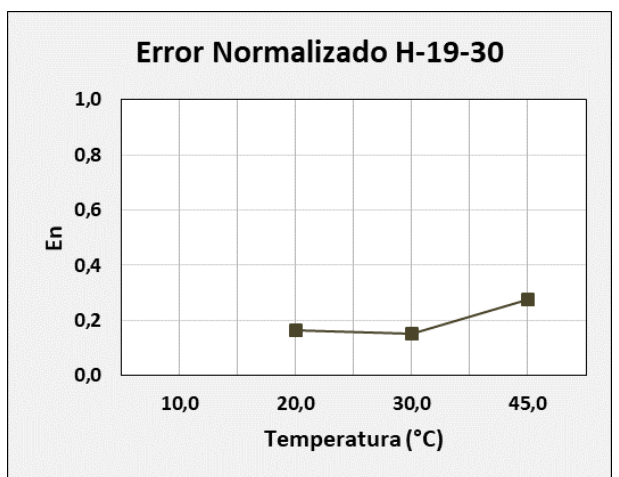
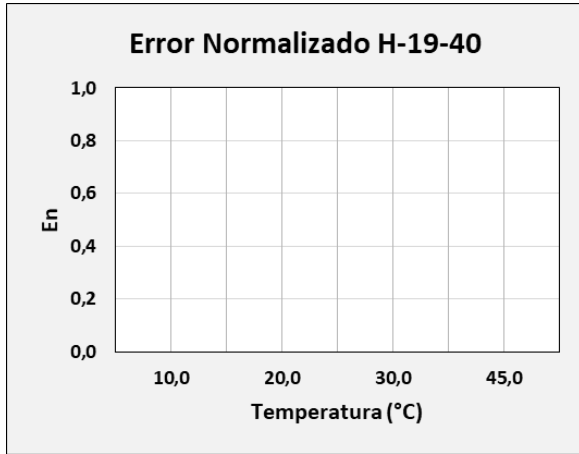


Gráfico (f)



Nota: El laboratorio no envió los datos para la comparación

Gráfico (g)

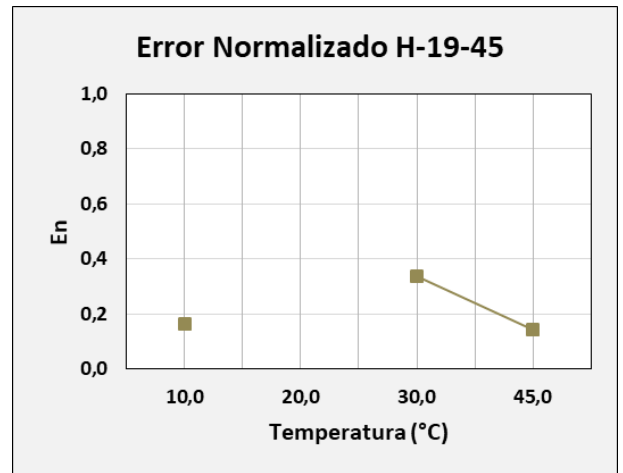


Gráfico (h)

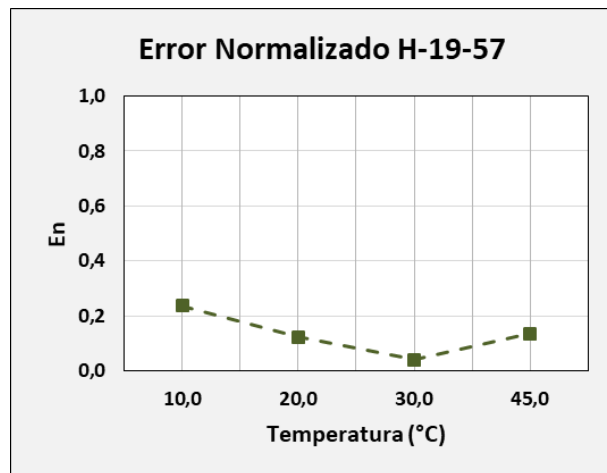


Gráfico (g)

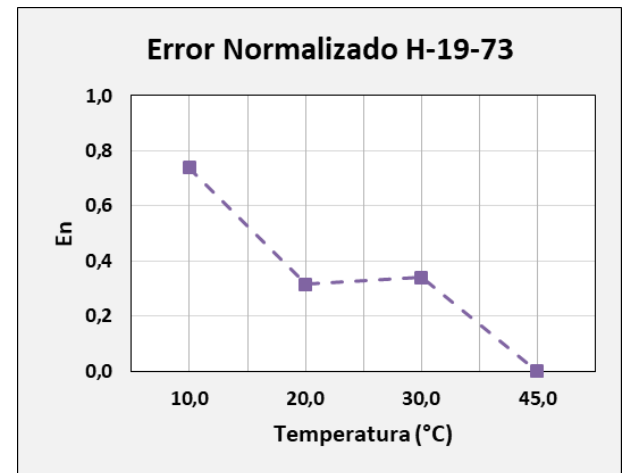


Gráfico (h)

Gráfico 12. Errores normalizados individuales de cada laboratorio participante.

En los siguientes gráficos 13, 14, 15 y 16 se puede ver el error normalizado (E_n) por cada punto de calibración.

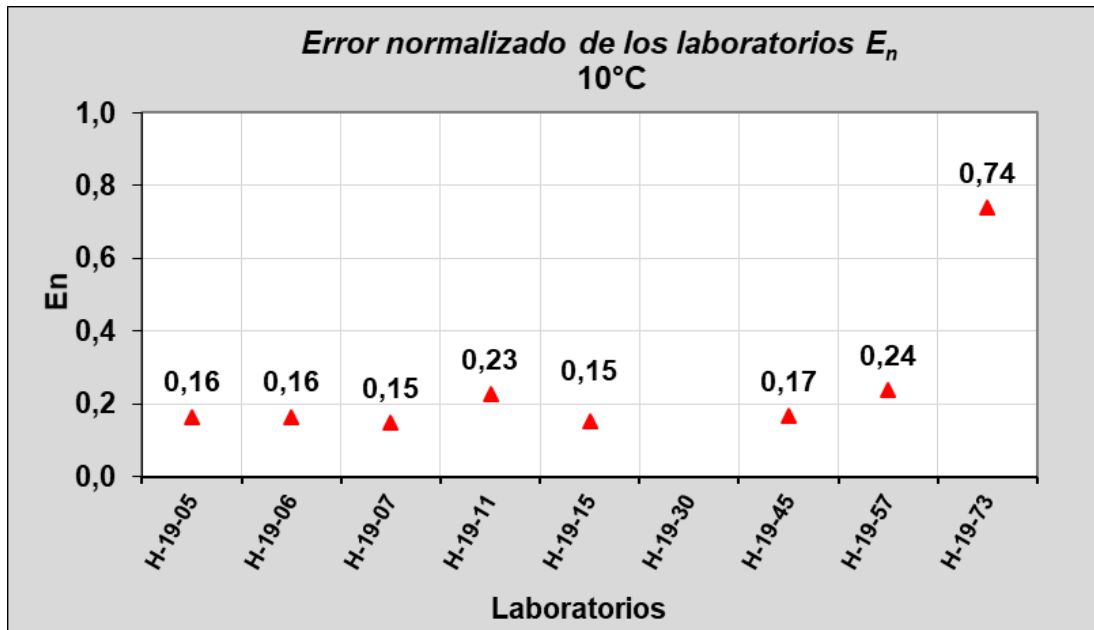


Gráfico 13. Errores normalizados en el punto de calibración 10°C.

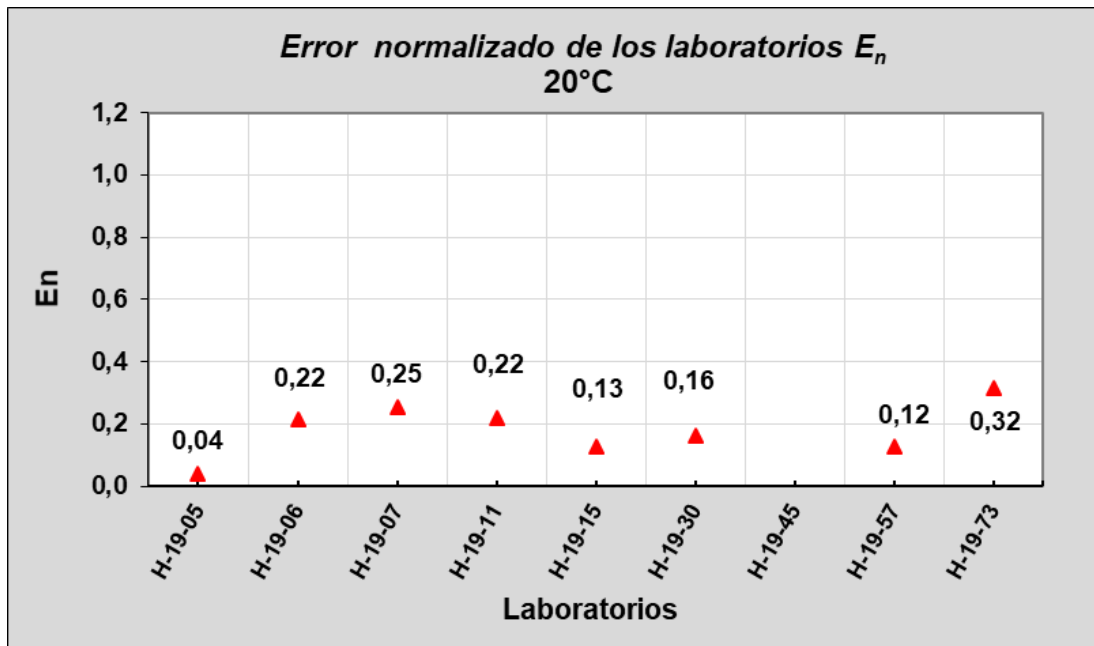


Gráfico 14. Errores normalizados en el punto de calibración 20°C.

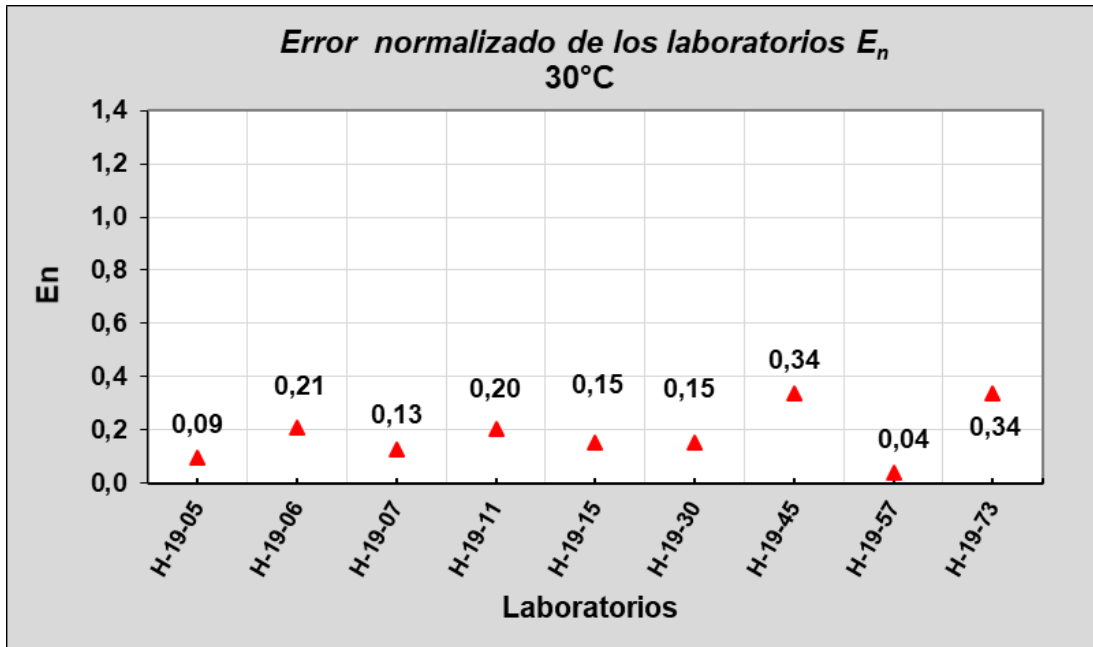


Gráfico 15. Errores normalizados en el punto de calibración 30°C.

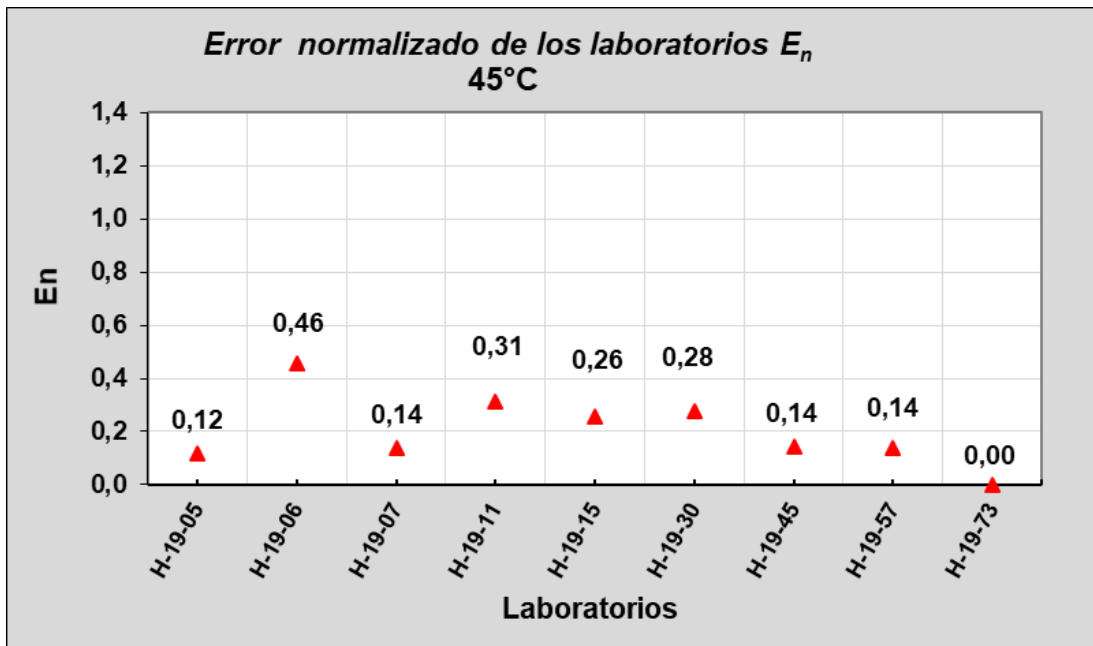


Gráfico 16. Errores normalizados en el punto de calibración 45°C.

ANÁLISIS DE LOS VALORES E INCERTIDUMBRE REPORTADOS POR CADA LABORATORIO

La tabla 10 resume la evaluación de cada laboratorio participante en la comparación nacional H-19.

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 temperatura ambiental.

$$U_{exp} = k \sqrt{u[t_p + C_R]^2 + u[t_p]_{der}^2 + u[t_{IBC}]^2 + u[\delta(t)_{hist}]^2 + u[\delta(t)_{stb}]^2 + u[\delta(t)_{hmg}]^2} \quad (6)$$

#	LABORATORIO PARTICIPANTE	Error	$[t_p + C_R]$	$[t_p]_{der}$	$[t_{IBC}]$		$\delta(t)_{hist}$	$\delta(t)_{stb}$	$\delta(t)_{hmg}$	U_{exp} (°C)	MCM
					REP	RES					
1	H-19-05	ok	ok	*	*	ok	*	*	*	(0,40 a 0,69)	Sin dato
2	H-19-06	ok	ok	ok	*	ok	ok	*	*	(0,50 a 0,64)	Sin dato
3	H-19-07	ok	ok	ok	ok	ok	*	*	*	(1,69)	Sin dato
4	H-19-11	ok	ok	*	ok	ok	ok	*	*	(0,27 a 0,30)	1,10 °C
5	H-19-15	ok	ok	*	*	ok	*	ok	ok	(0,08 a 0,15)	Sin dato
6	H-19-30	ok	ok	ok	*	ok	*	*	*	(0,38)	Sin dato
7	H-19-40	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
8	H-19-45	ok	ok	*	*	ok	*	*	*	(0,08 a 0,10)	1,50 °C
9	H-19-57	ok	ok	ok	*	ok	*	*	*	(1,05 a 1,07)	Sin dato
10	H-19-73	ok	ok	*	*	ok	ok	*	*	(0,32 a 0,37)	Sin Dato

Tabla 10. Observaciones a los cálculos realizados por cada laboratorio

Participante H-19-05

- Reporta valores de las contribuciones sin respaldo de los cálculos realizados.
- Informa un valor de deriva del patrón, sin embargo evalúa la contribución utilizando un valor 10 veces menor y no considera distribución de probabilidad asociada.

Informa:

Deriva patrón T°	0,057735 °C
------------------	-------------

Evalúa en presupuesto de incertidumbre:

$u_{T^{\circ} der}$	0,005774 ²
---------------------	-----------------------

- Presenta error en cálculo de incertidumbre por repetibilidad:

Punto de calibración (T°)	$u^2 [t_{rep}]$ Informado $(S_x)^2$	$u^2 [t_{rep}]$ Correcto $((S_x)/\sqrt{10})^2$
10	0,000169	0,0000169
20	0,000900	0,0000900
30	0,000676	0,0000676
45	0,000676	0,0000676

- No hay respaldo de cómo se obtuvieron las contribuciones por histéresis, estabilidad y homogeneidad, por lo que no es posible evaluar su forma de cálculo.

Participante H-19-06

- No hay evidencia de una corrección a la indicación del patrón de medida utilizado
- Presenta error en cálculo de incertidumbre por repetibilidad:

Punto de calibración (T°)	$u^2 [t_{rep}]$ Informado $(S_x)^2$	$u^2 [t_{rep}]$ Correcto $((S_x)/\sqrt{10})^2$
10	0,000134	0,0000134
20	0,000232	0,0000232
30	0,000277	0,0000277
45	0,000116	0,0000116

- No hay respaldo de cómo se obtuvo la contribución por histéresis en la toma de datos.
- El valor de incertidumbre informado para homogeneidad y estabilidad es evaluado de la siguiente manera:

$$u_{est} = \frac{\text{Valor}_{encontrado}}{(2\sqrt{3})}$$

$$u_{hmg} = \frac{\text{Valor}_{encontrado}}{(2\sqrt{3})}$$

- El valor de incertidumbre informado para homogeneidad es igual en cada punto de calibración lo que no representa el comportamiento real de una cámara climática sometida a diferentes condiciones de trabajo. Se recomienda realizar una evaluación tanto de la estabilidad como de homogeneidad de la cámara climática de acuerdo con la guía DKD-R 5-7.

Participante H-19-07

- En protocolo de valores el participante no cumplió con el punto 9 del protocolo para la comparación en que se dice:

1. Generalidades del procedimiento de Calibración

Realización de las mediciones. Se debe asegurar que el sistema de medición del laboratorio y su higrómetro patrón, estén en régimen estable, antes de iniciar las mediciones con el IBC, una vez dada esta condición, se recomienda realizar por lo menos 10 mediciones en cada punto de calibración en intervalos de 1 minuto.

El participante recolecto solo 5 valores en 10 minutos.

Set Point		10 °C			
T° Inicial/ begin		22,2	%HR Inicial/ begin		44,4
T° Final / end		22,3	% HR Final / end		40,0
Fecha	Hora Time	LECTURA DEL PATRON		(IBC) / (DUT) _____	
		Standard reading		t (°C)	% HR
		t (°C)	% HR		
11-09-2019	11:00	9,64	50	9,68	50
11-09-2019	11:02	9,64	50	9,68	50
11-09-2019	11:06	9,64	50	9,68	50
11-09-2019	11:08	9,64	50	9,67	50
11-09-2019	11:10	9,64	50	9,67	50
		9,640		9,676	
		0,000		0,005	

Además, en la toma de lecturas tanto en su patrón como IBC se observa el valor de 50%.

- No hay respaldo de cómo se obtuvo la contribución por histéresis en la toma de datos.
- El valor de incertidumbre informado para estabilidad y homogeneidad es igual en cada punto de calibración lo que no representa el comportamiento real de una cámara climática sometida a diferentes condiciones de trabajo. Además, en archivo excel de respaldo de los resultados se aprecia entrega de resultados con su evaluación y en las siguientes celdas solo números. Se recomienda revisar planilla de respaldo.

$u^2_{[\delta(t)hmg]}$
= 1,3/(2*RAIZ(3))
0,375277675
0,375277675
0,375277675

El valor de incertidumbre informado para homogeneidad y estabilidad es evaluado de la siguiente manera:

$$u_{est} = \frac{\text{Valor}_{encontrado}}{(2\sqrt{3})}$$

$$u_{hmg} = \frac{\text{Valor}_{encontrado}}{(2\sqrt{3})}$$

- Se recomienda revisar la guía DKD-R 5-7 (Calibración de cámaras climáticas).

Participante H-19-11

- No hay evidencia de una corrección a la indicación del patrón de medida utilizado
- En la toma de lecturas no se registran lecturas de humedad en el patrón viajero y en el instrumento de referencia el valor de humedad relativa aparece con menos cifras de resolución y un mismo valor para todos los puntos medidos, en particular 53%HR.

LECTURA DEL PATRON		(IBC) / (DUT) _____	
Standard reading			
t (°C)	% HR	t (°C)	% HR
9,94	53	9,89	-----
9,94	53	9,89	-----
9,94	53	9,90	-----
9,94	53	9,90	-----
9,94	53	9,91	-----
9,94	53	9,91	-----
9,94	53	9,91	-----
9,94	53	9,91	-----
9,95	53	9,91	-----
9,94	53	9,91	-----
9,94	53	9,90	-----

- Para la contribución de incertidumbre por deriva del patrón de referencia no se considera distribución de probabilidad asociada, es decir el valor informado como deriva pasa al presupuesto de incertidumbre en su totalidad.

Punto de calibración (T°)	$u^2 [t_p]_{deriva}$ Informado Deriva patrón T°	$u^2 [t_p]_{deriva}$ Correcto $u = Deriva / \sqrt{3}$
10	0,060	0,0346
20	0,060	0,0346
30	0,060	0,0346
45	0,060	0,0346

Nota 2: esta evaluación es una sugerencia de acuerdo a los valores informados.

- Solo se presentan valores de contribuciones de estabilidad y homogeneidad, por lo que no es posible evaluar su forma de cálculo.

Participante H-19-15

- En protocolo para toma de lecturas el participante reportó los valores de su patrón corregidos y no registra humedad relativa en su patrón de referencia ni en patrón viajero.
- No se reportan las condiciones ambientales al momento de tomar los datos.
- Se evalúa la contribución por deriva del patrón como:

$$u_{deriva} = 2 \left(\frac{\text{Maxima Incertidumbre del patrón}}{\sqrt{3}} \right)$$

Se recomienda realizar estudio de deriva del patrón de calibración, pues este valor podría estar sobredimensionado.

- El participante presenta error en el cálculo de repetibilidad:

Punto de calibración (T°)	$u^2 [t_{rep}]$ Informada $((S_x) * t_{student} / \sqrt{5})^2$	$u^2 [t_{rep}]$ Correcta $((S_x) / \sqrt{10})^2$
10	0,000009	0,0000032
20	0,000009	0,0000032
30	0,000009	0,0000032
45	0,000027	0,0000093

- Reporta una corrección de la lectura del patrón viajero
- Presenta error en cálculo de contribución de incertidumbre por histéresis se evalúa con la diferencia de los errores de medición del punto 10°C en subida y bajada

Informa:

HISTERESIS	
°C	± u
0,0240	0,0069

Debe ser:

HISTERESIS	
°C	± u
0,009	0,0026

- En punto de medición para evaluación de histéresis se tiene un error en la corrección del patrón de referencia sumando el valor de error de lectura, cuando este debe ser restado

Participante H-19-30

- Reporta solamente valores de las contribuciones, no se recibe respaldo de los cálculos realizados.
- El participante presenta error en el cálculo en contribución por repetibilidad:

Punto de calibración (T°)	$u^2 [t_{rep}]$ <i>Informada</i>	$u^2 [t_{rep}]$ <i>Correcta</i>
20	0,001721	0,00000267
30	0,001721	0,00000233
45	0,001721	0,00000178

- No hay respaldo de cómo se obtuvo la contribución por histéresis.
- El valor de incertidumbre informado para estabilidad y homogeneidad es igual en cada punto de calibración lo que no representa el comportamiento real de una cámara climática sometida a diferentes condiciones de trabajo. Se recomienda revisar la guía DKD-R 5-7 (Calibración de cámaras climáticas).

Participante H-19-40

- El laboratorio con código H-19-40 no envió sus resultados.

Participante H-19-45

- El participante presenta una evaluación diferente a la contribución por deriva (considera la incertidumbre de su patrón de calibración dividida en 4). Se sugiere realizar la calibración de su patrón para obtener su historial y evaluar esta contribución según protocolo de comparación.
- No hay respaldo de cómo se obtuvo el valor de histéresis.
- El valor de incertidumbre informado para homogeneidad y estabilidad es evaluado de la siguiente manera:

$$u_{est} = \frac{\text{Valor}_{encontrado}}{(2\sqrt{3})}$$

$$u_{hmg} = \frac{\text{Valor}_{encontrado}}{(2\sqrt{3})}$$

- Para las contribuciones por estabilidad y homogeneidad de la cámara climática se usan estimaciones a partir de mediciones hechas durante la calibración. Se recomienda realizar una caracterización del volumen útil de la cámara climática sin carga (sin instrumentos en calibración) siguiendo el procedimiento en la guía DKD-R 5-7.

Participante H-19-57

- No se evidencia una corrección al valor de referencia con respecto a los valores informados en el protocolo, además no se toman los valores correspondientes a las condiciones ambientales durante la calibración.
- Presenta error en cálculo de contribución de incertidumbre por repetibilidad:

Punto de calibración (T°)	$u^2 [t_{rep}]$ Informada $((S_x)/\sqrt{3})^2$	$u^2 [t_{rep}]$ Correcta $((S_x)/\sqrt{10})^2$
10	0,000039	0,000012
20	0,000039	0,000021
30	0,000039	0,000083
45	0,000039	0,000017

- No hay evidencia de cómo se evaluó la histéresis del instrumento
- No hay respaldo de cómo se obtuvieron las contribuciones de incertidumbre por estabilidad y homogeneidad.
- El valor de incertidumbre informado para estabilidad y homogeneidad es igual en cada punto de calibración lo que no representa el comportamiento real de una cámara climática sometida a diferentes condiciones de trabajo. Además, solo se presenta en planilla de respaldo valores sin su evaluación. Se recomienda revisar la norma DKD-R 5-7 (Calibración de cámaras climáticas) para evaluar la estabilidad y homogeneidad de la cámara de humedad.

Participante H-19-73 ****

- No se evidencia una corrección al valor de referencia con respecto a los valores informados en el protocolo.
- Informa un valor de deriva del patrón, sin embargo evalúa la contribución utilizando un valor 10 veces menor

Informa:

Deriva patrón T°	0,11 °C
------------------	---------

Evalúa en presupuesto de incertidumbre:

$u_{t\ der}$	$(0,011/\sqrt{3})^2$
--------------	----------------------

- El participante presenta error en cálculo de incertidumbre por repetibilidad:

Punto de calibración (T°)	$u^2 [t_{rep}]$ Informado $(S_x)^2$	$u^2 [t_{rep}]$ Correcto $((S_x)/\sqrt{10})^2$
33	0,00016	0,000016
59	0,00022	0,000022
75	0,00047	0,000047
85	0,00065	0,000065

- El valor de incertidumbre informado para homogeneidad es igual en cada punto de calibración lo que no representa el comportamiento real de una cámara climática sometida a diferentes condiciones de trabajo.

- El valor de incertidumbre informado para homogeneidad y estabilidad es evaluado de la siguiente manera:

$$u_{est} = \frac{\text{Valor}_{encontrado}}{(2\sqrt{3})}$$

$$u_{hmg} = \frac{\text{Valor}_{encontrado}}{(2\sqrt{3})}$$

Se recomienda revisar la norma DKD-R 5-7 (Calibración de cámaras climáticas) para evaluar la estabilidad y homogeneidad de la cámara de humedad.

CONCLUSIONES RONDA H-19

Error Normalizado.

Todos los laboratorios participantes obtuvieron un error normalizado menor a 1, lo que implica que sus mediciones son compatibles con las realizadas por el laboratorio piloto LCPNR-HR de ENAER.

Cabe mencionar que la mayoría de los laboratorios participantes presenta problemas en la evaluación de su presupuesto de incertidumbre, subestimando o sobrestimando ciertas magnitudes, por lo que se sugiere revisar sus procedimientos y métodos de cálculo.

A partir de lo observado en la información enviada para la comparación H-19 se recomienda a los participantes:

- En el protocolo de toma de lecturas de la calibración se deben anotar las indicaciones tanto del patrón de referencia como del instrumento bajo calibración, sin corregir, las condiciones ambientales al momento de la medición y cumplir con la mínima cantidad de puntos de medición acordada. **(Laboratorios 07, 11, 15, 57)**
- Contar con un historial de calibraciones al día del patrón de referencia utilizado que permita conocer su comportamiento y determinar de buena manera su deriva en el tiempo. Es importante señalar que toda cantidad considerada como contribución al presupuesto de incertidumbre debe estar asociada a una distribución de probabilidad, para el caso de la deriva se recomienda utilizar una distribución de tipo rectangular (divisor $\sqrt{3}$) o triangular (divisor $\sqrt{6}$). **(Laboratorios 05, 11, 15, 45)**
- Estimar la contribución de incertidumbre por repetibilidad conforme con la “Guía de Estimación de la Incertidumbre de Medición” (GUM por sus iniciales en inglés) y para ello calcular la desviación estándar experimental de la media de la medición. **(Laboratorios 05, 06, 15, 30, 45, 57, 73)**
- Determinar el valor de histéresis del equipo bajo calibración midiendo el punto mínimo de medición de manera ascendente y descendente, esto es, registrar el mínimo punto

de calibración, posteriormente llevar el equipo al máximo punto de medición y, una vez alcanzada la estabilidad en la indicación, llevar al equipo al mínimo punto de calibración nuevamente. Luego, la histéresis corresponderá a la diferencia en la indicación entre ambos registros. (**Laboratorios 05, 06, 07, 15, 30, 45, 57**)

- Realizar una caracterización del volumen útil de sus cámaras climáticas siguiendo las recomendaciones de la guía para calibración de cámaras climáticas DKD-R 5-7. Esta caracterización debe realizarse sin carga (sin equipos bajo calibración) y permite cuantificar la estabilidad y homogeneidad de la cámara frente a distintas configuraciones de humedad y temperatura.

De los resultados obtenidos por los laboratorios participantes en este ejercicio de acuerdo al criterio de cálculo de error normalizado, se obtiene el siguiente Resultado:

- El 100 % de los laboratorios obtienen un resultado **SATISFACTORIO**.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la disposición de participación en esta comparación a los 9 laboratorios Participantes que presentaron resultados en éste ensayo de aptitud H-19 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).