



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

INFORME A

COMPARACIÓN NACIONAL

TAs-24
(Participantes con sales higroscópicas)

CALIBRACIONES DE UN TERMOHIGRÓMETRO DIGITAL

Rango de medición: 10 °C a 45 °C.

Medio de Generación: Sales higroscópicas.

agosto 2024 – noviembre 2024

ENSAYO DE APTITUD – TEMPERATURA AMBIENTAL

Marcial Espinoza. Antonio Monsalve. Manuel Sepúlveda Fernandoy
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 Perteneiente a la Red Nacional de Metrología realizan el Ensayo de Aptitud 2024. 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. La comparación se llevó a cabo desde agosto 2024 a noviembre 2024. Para la comparación se utilizó como patrón de comparación un termohigrómetro digital, el alcance de medición es de -10 °C a 50 °C., clase de exactitud del ± 1 °C y una resolución de 0,1 °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 2024 realizada entre los laboratorios de humedad relativa nacionales y el Laboratorio Custodio del patrón Nacional de Chile (LCPNR-HR) designado oficialmente para tal efecto.

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 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

Los participantes para este ensayo de aptitud 2024 son descritos en la tabla 1.

Empresa	Contacto	Correo	Condición
Certlab Ltda.	Aliro Ramirez	Aliro.ramirezf@certlab.cl	Participante
Metrología y Calidad SPA.	Nicolás Garay	Nicolas.garay@metrocal.cl	Participante
Servicio de Metrología Integral SPA.	Omar Berrios Contreras	temperatura@smilab.cl	Participante
World Survey Services	Cristian Rivera	criveram@wss.cl	Participante
LCPNR-HR (ENAER)	Marcial Espinoza M.	marcial.espinoza@enaer.cl	Piloto

Tabla 1. Empresas participantes (por orden alfabético).

Fechas para realizar las mediciones.

El equipo circuló de acuerdo con el siguiente cronograma:

Empresa	Tipo de Ensayo	Fecha de realización de mediciones
LCPNR-HR (ENAER)	Humedad y temperatura	26/08/2024 – 29/08/2024
World Survey Services	Temperatura ambiental	23/09/2024 – 27/09/2024
Metrología y Calidad SPA.	Temperatura ambiental	30/09/2024 – 04/10/2024
Servicio de Metrología Integral SPA.	Temperatura ambiental	07/10/2024 – 11/10/2024
Certlab Ltda.	Temperatura ambiental	14/10/2024 – 18/10/2024
LCPNR-HR (ENAER)	Humedad y temperatura	28/10/2024 – 04/11/2024

Tabla 2. Fechas de realización de la comparación

Esquema del desarrollo de la Comparación

El siguiente esquema explica el desarrollo de la actividad:

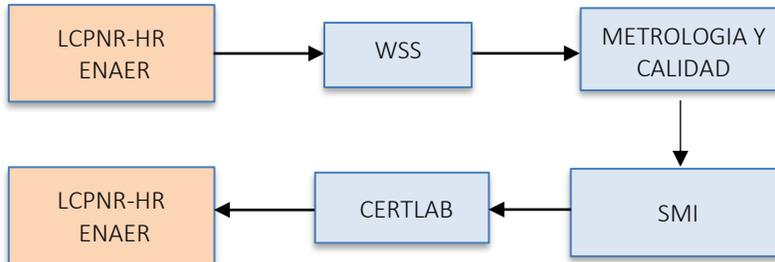


Figura 1. Esquema Ensayo de Aptitud.

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 el 05 de diciembre de 2024. En diciembre de 2024 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	N° de serie	Clase de Exactitud	Alcance	Resolución
AZ	8711	9711820	± 3 % HR (20 a 90) %HR at 25 °C	5 %HR a 95 %HR	0,1 % HR.

Nota 2: Exactitud según manual de instrucciones del fabricante.

Tabla 3. Patrón Viajero de comparación



Figura 2. Patrón viajero usado en la comparación Tas-23 para participantes con sales higroscópicas.

Puntos de calibración

Para el ensayo de aptitud 2023 se acordó realizar con los laboratorios participantes los siguientes puntos de calibración:

Temperatura ambiental				
Humedad 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 2023.

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	(5 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 se realizó el mismo procedimiento, patrón de referencia y equipamiento.

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. Camara (%HR)	Calibración Inicial				Calibración Final			
	T_{Patron}	$T_{(AZ)}$	E_1	U_1	T_{Patron}	$T_{(AZ)}$	E_2	U_2
50,0	10,0	10,0	0,0	0,3	10,1	10,1	0,0	0,3
	20,0	19,8	-0,2	0,3	20,1	19,9	-0,2	0,3
	30,0	29,7	-0,3	0,3	30,0	29,7	-0,3	0,3
	45,0	44,6	-0,4	0,3	45,1	44,6	-0,5	0,3

(Nota: La Incertidumbre de cada calibración reportada 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 LCPNR-HR de ENAER para el patrón viajero a partir de las mediciones realizadas a lo largo de la comparación.

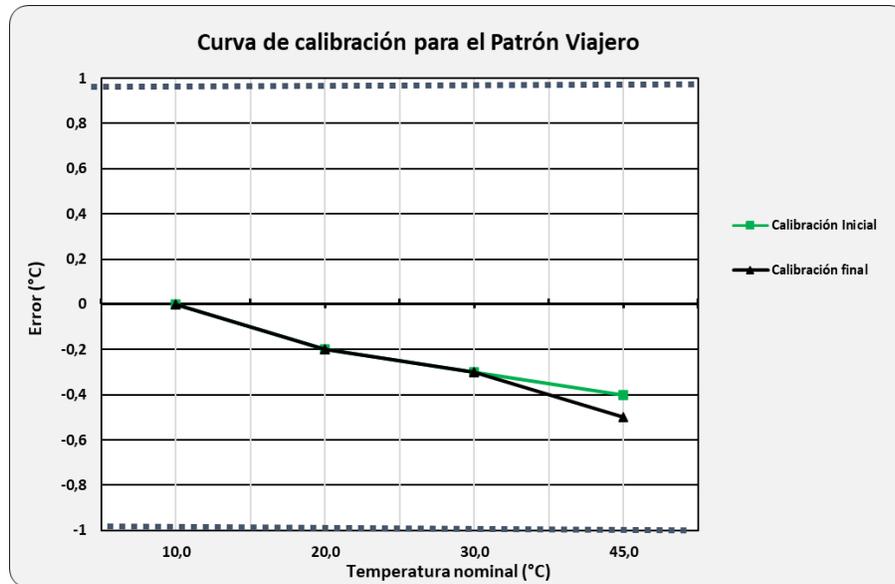


Gráfico 1. Error de medición encontrado para el patrón viajero en las calibraciones realizadas por el LCPNR-HR de ENAER (Las líneas de puntos corresponden a la exactitud del instrumento $\pm 1,0$ °C).

Error promedio e incertidumbre expandida del Laboratorio Piloto

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

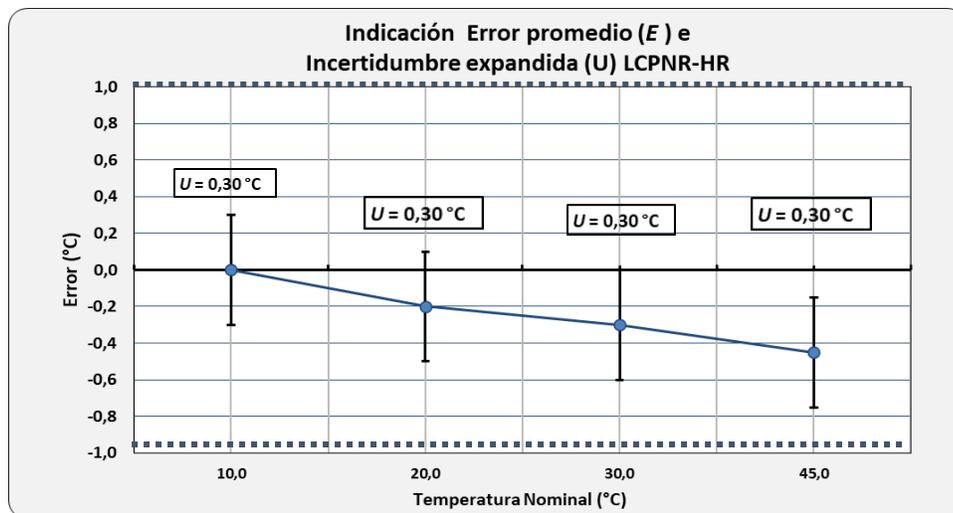


Gráfico 2. Error promedio con su incertidumbre de calibración obtenida por el LCPNR-HR de ENAER. (Las líneas de puntos corresponden a la exactitud del instrumento $\pm 1,0$ °C).

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 y final (d_{1-2}).

Temp. Nominal	Patrón viajero (AZ)		
	E_1	E_2	d_{1-2}
10,0	0,0	0,0	0,0
20,0	-0,2	-0,2	0,0
30,0	-0,3	-0,3	0,0
45,0	-0,4	-0,5	0,1

Nota: E_1 = Error encontrado en la calibración inicial (agosto 2024).
 E_2 = Error encontrado en la calibración final (noviembre 2024).

Tabla 6. Resultados de las derivas entre calibraciones sucesivas.

Temp. Nominal	Derivas
	d_{1-2}
10,0	0,0
20,0	0,0
30,0	0,0
45,0	0,1

Maxima deriva	0,1
----------------------	------------

Para la deriva se consideró el rango de medición en que participaron los laboratorios participantes, en este caso el rango fue de 10 °C a 45°C, la deriva máxima fue de 0,1°C.

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 (0,1 °C) y será evaluada como una distribución rectangular, de esta forma la contribución por deriva del patrón será:

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

$$U_{\text{deriva}} = (0,1/\sqrt{3}) = 0,058 \text{ °C.}$$

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. 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

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

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

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 °C	Deriva Patron °C	Incertidumbre por deriva °C	Incertidumbre de Referencia (°C)
	U_1	U_2				
10,0	0,3	0,3	0,3	0,1	0,058	0,32
20,0	0,3	0,3	0,3	0,1	0,058	0,32
30,0	0,3	0,3	0,3	0,1	0,058	0,32
45,0	0,3	0,3	0,3	0,1	0,058	0,32

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

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.

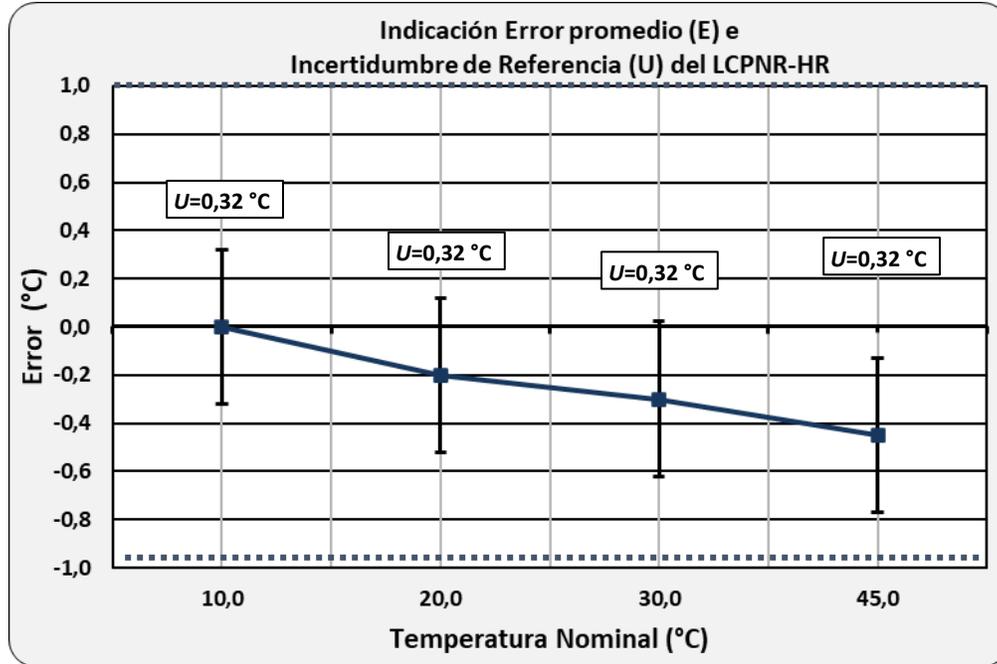


Gráfico 3. Error promedio, E , e incertidumbre del laboratorio de referencia, U ($k=2$, 95%), con consideración adicional por deriva del patrón viajero. (Las líneas de puntos corresponden a la exactitud del instrumento $\pm 1,0$ °C).

Datos de las mediciones

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

Error Promedio de los participantes

Valor Nominal (°C)	Datos Error Promedio Laboratorios (°C)			
	Error Promedio LCPNR-HR	TAs-24-11	TAs-24-12	TAs-24-13
10,0	0,00	0,00	-0,2	-0,1
20,0	-0,20	-0,38	0,0	-0,3
30,0	-0,30	-0,73	0,1	-0,1
45,0	-0,45	-1,26	-0,1	-0,1

Tabla 7. Error promedio de los laboratorios participantes.

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

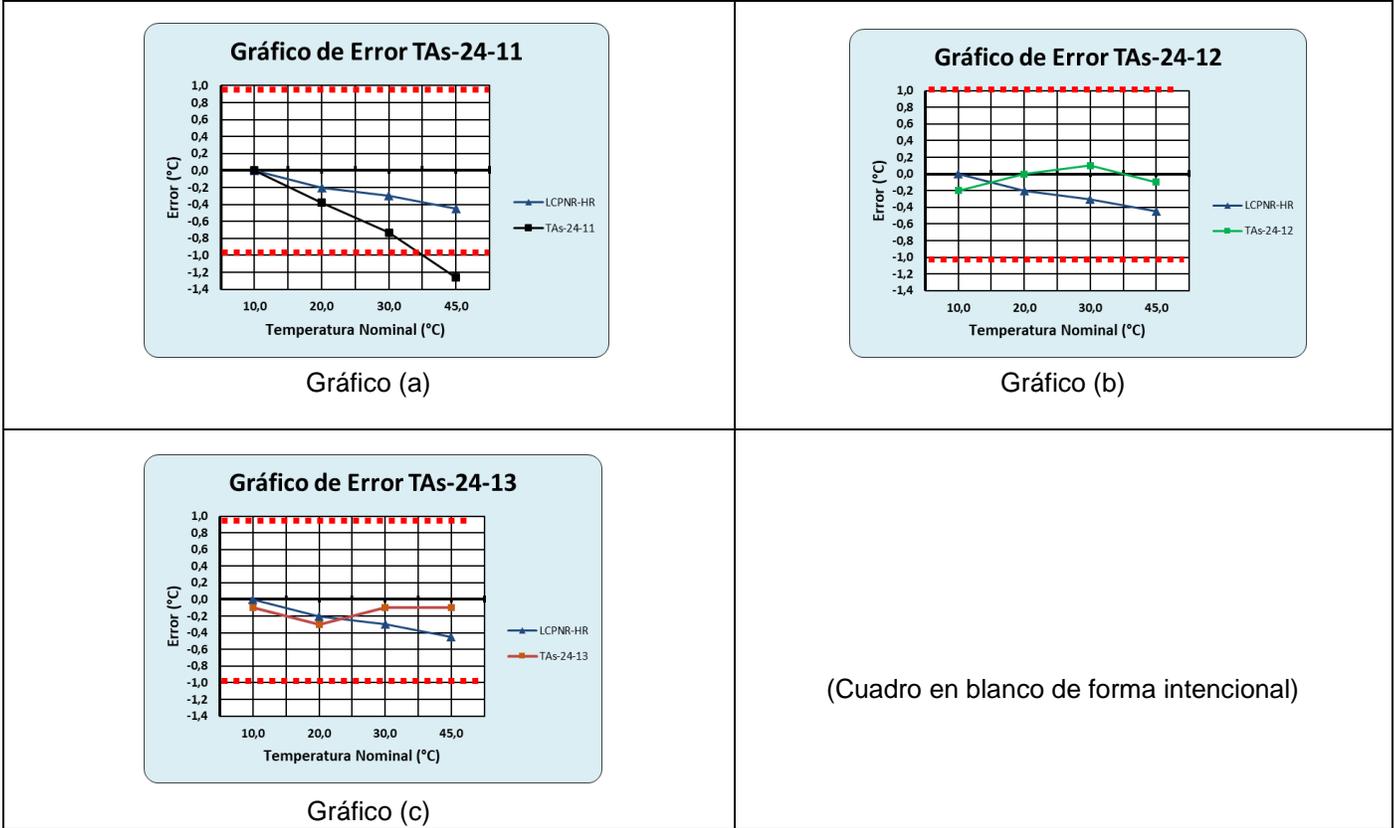


Gráfico 4. Error Individual de cada participante con respecto a LCPNR-HR de ENAER. (Las líneas de puntos corresponden a la exactitud del instrumento $\pm 1,0$ °C).

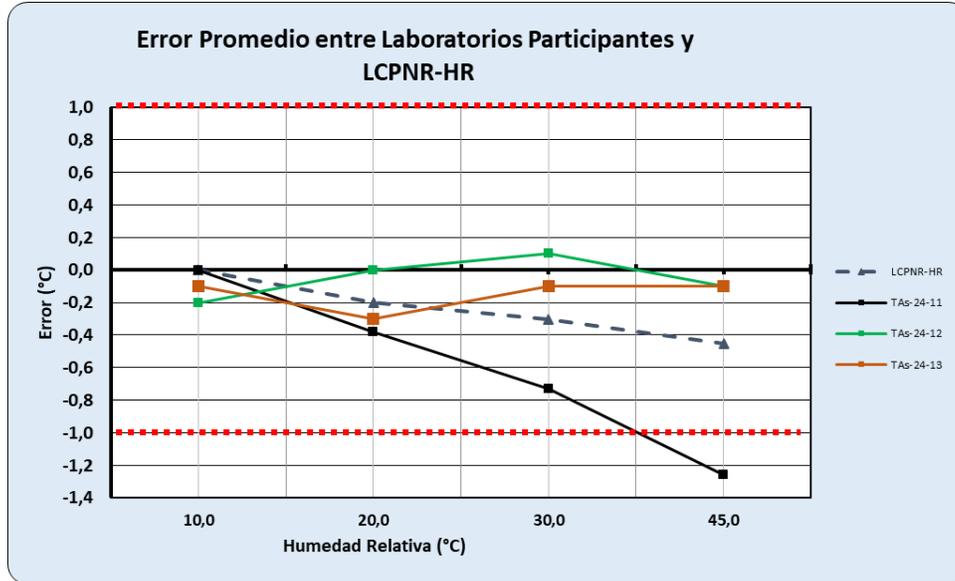


Gráfico 5. Error de todos los participantes con respecto al LCPNR-HR. (Las líneas de puntos corresponden a la exactitud del instrumento $\pm 1,0$ °C).

Incertidumbre de los participantes

Valor Nominal (°C)	Incertidumbre de los laboratorios participantes (°C)			
	Incertidumbre LCPNR-HR (k=2) ($U_{REF.}$)	TAs-24-11	TAs-24-12	TAs-24-13
10,0	0,32	0,57	0,6	0,47
20,0	0,32	0,57	0,6	0,47
30,0	0,32	0,57	0,5	0,47
45,0	0,32	0,57	0,5	0,52

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

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

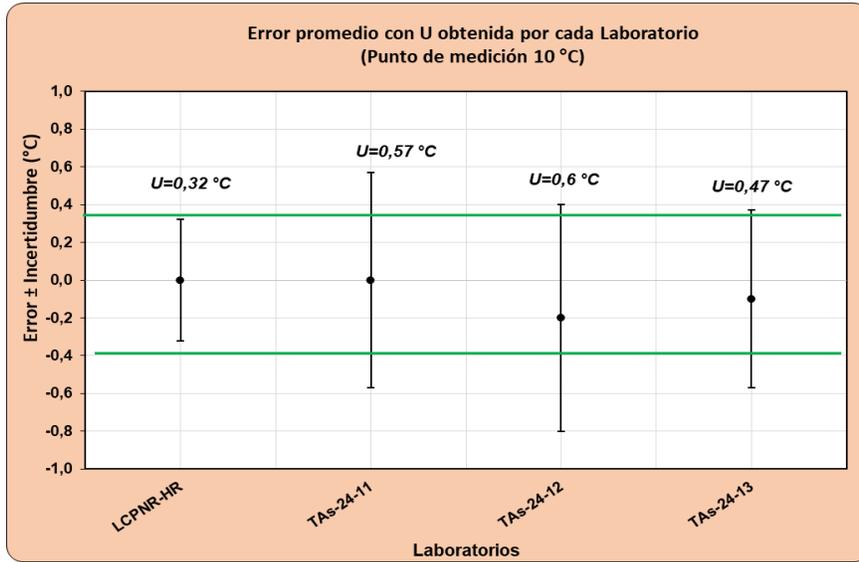


Gráfico 5. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (10 °C).

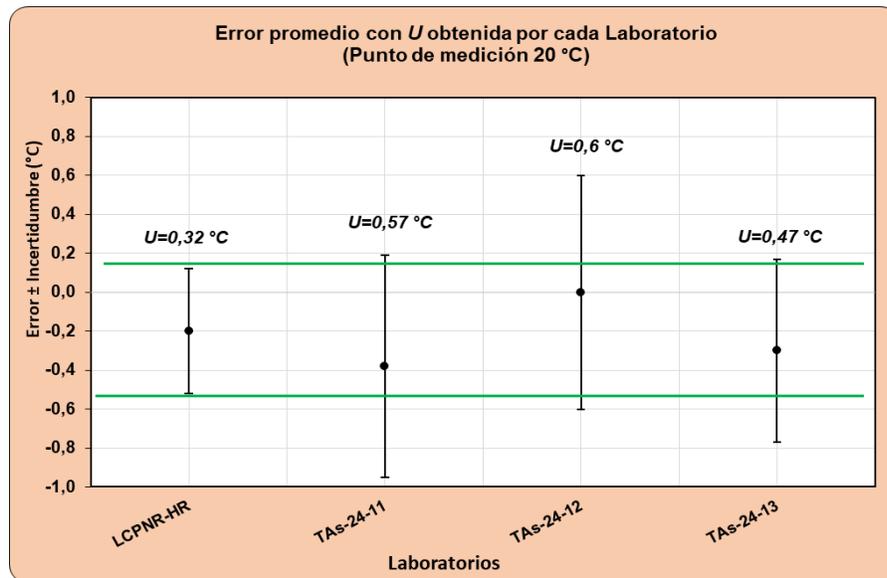


Gráfico 6. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (20 °C).

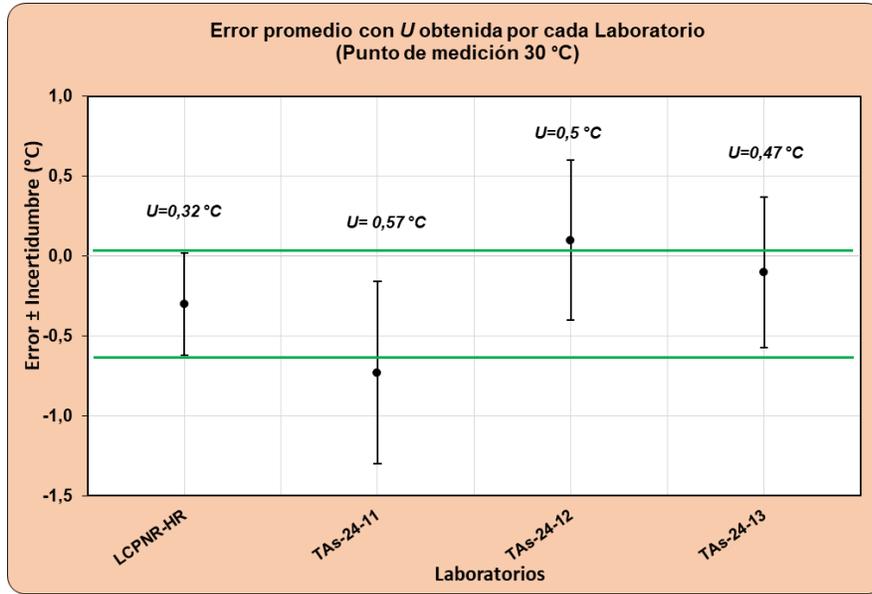


Gráfico 7. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (30 °C).

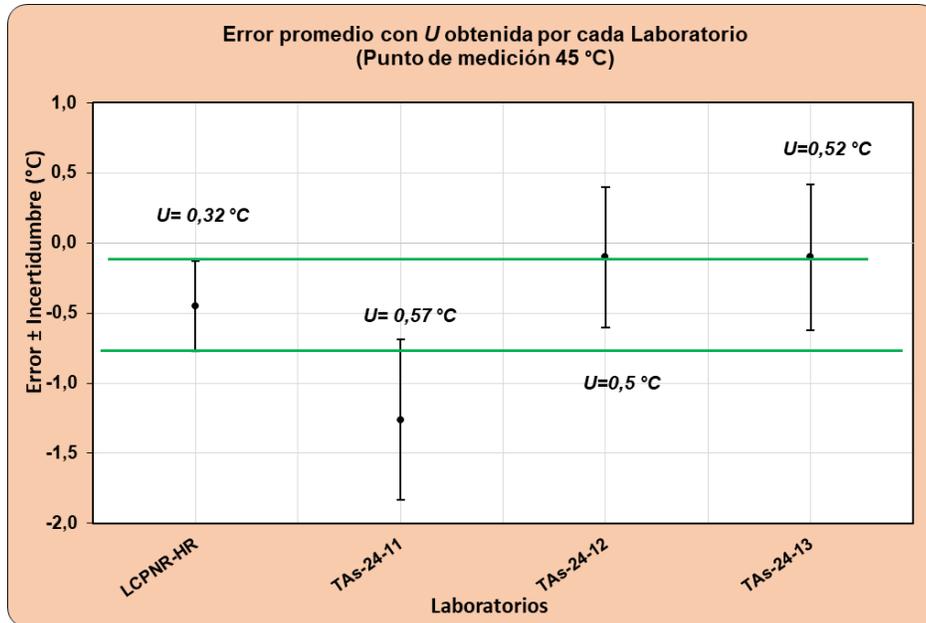


Gráfico 8. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (45 °C).

Evaluación de los resultados

Desempeño de los laboratorios

Los resultados obtenidos por los laboratorios se analizaron 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:

$ 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 de nuevo las tablas 7 y 8.

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

Valor Nominal (°C)	Datos Error Promedio Laboratorios (°C)			
	Error Promedio LCPNR-HR	TAs-24-11	TAs-24-12	TAs-24-13
10,0	0,00	0,00	-0,2	-0,1
20,0	-0,20	-0,38	0,0	-0,3
30,0	-0,30	-0,73	0,1	-0,1
45,0	-0,45	-1,26	-0,1	-0,1

Tabla 7. Error promedio de los laboratorios participantes.

Valor Nominal (°C)	Incertidumbre de los laboratorios participantes (°C)			
	Incertidumbre LCPNR-HR (k=2) (U _{REF.})	TAs-24-11	TAs-24-12	TAs-24-13
10,0	0,32	0,57	0,6	0,47
20,0	0,32	0,57	0,6	0,47
30,0	0,32	0,57	0,5	0,47
45,0	0,32	0,57	0,5	0,52

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

Valor Nominal (°C)	Calculo de E _(norm) por Laboratorio.		
	TAs-24-11	TAs-24-12	TAs-24-13
10,0	0,0	0,3	0,2
20,0	0,3	0,3	0,2
30,0	0,7	0,7	0,4
45,0	1,2	0,6	0,6

Tabla 9. Datos del error normalizado de los laboratorios participantes.

ANÁLISIS DE LOS VALORES E INCERTIDUMBRE REPORTADOS POR CADA LABORATORIO

La tabla 10 resume la evaluación de cada laboratorio participante en la comparación nacional TAs-23.

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.

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

#	LABORATORIO PARTICIPANTE	Error	[t _p]	[t _{IBC}]		δ(t) _{hist}	δ(t) _{instb}	δ(t) _{incho}	[t _p] _{der}	U _{exp} (°C)	MCM
				u(rep)	u(res)						
1	TAs-24-11	ok	ok	ok	ok	ok	*	*	*	0,57 °C	0,5 °C
2	TAs-24-12	ok	ok	ok	ok	*	*	*	ok	0,5 a 0,8 °C	0,4 °C
3	TAs-24-13	ok	ok	ok	ok	*	*	*	*	0,47 a 0,52 °C	0,5 °C

Nota: (*) Representa una inconsistencia y/o error en el cálculo.

Tabla 10. Observaciones a los cálculos realizados por cada laboratorio

Participante TAs-24-11

- El laboratorio presenta el mismo valor de contribución de incertidumbre por inestabilidad y por inhomogeneidad en todos los puntos de calibración (0,2 °C). Se recomienda mejorar esta evaluación en orden al estudio de la cámara generadora de humedad utilizada en las calibraciones.
- El laboratorio presenta el mismo valor de contribución de incertidumbre por deriva en todos los puntos de comparación (Deriva :0,2 °C). Además, su valor representa un 50% de la incertidumbre de su patrón de calibración. Se sugiere revisar y evaluar el valor de deriva de su patrón para futuras calibraciones.
- El laboratorio presenta en su reporte final las mediciones con una resolución de 0,01 °C en vista que el patron viajero presenta una resolución de 0,1 °C. Se recomienda reportar los valores de la calibración de acuerdo a la resolución del instrumento que se está calibrando.

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
52,9	10,10	10,10	0,00	0,57
52,8	20,28	19,90	-0,38	0,57
53,1	30,18	29,45	-0,73	0,57
53,0	45,26	44,00	-1,26	0,57

Participante TAs-24-12

- El laboratorio no evalúa de forma correcta la incertidumbre por histéresis en todos los puntos de calibración de acuerdo a lo siguiente:

$u [\delta(HR)]_{hist}$ Informada	$u [\delta(HR)]_{hist}$ Correcta
$0,2/\sqrt{12}=0,057$	$(9,47-9,63)/\sqrt{12}=0,046$

- El laboratorio presenta el mismo valor de contribución de incertidumbre por inestabilidad y por inhomogeneidad en todos los puntos de calibración (0,3 °C). Se recomienda mejorar esta evaluación en orden al estudio de la cámara generadora de humedad utilizada en las calibraciones.

Participante TAs-24-13

- El laboratorio no evalúa de forma correcta la incertidumbre por histéresis en todos los puntos de calibración de acuerdo a lo siguiente:

$U [\delta(HR)]_{hist}$ Informada	$U [\delta(HR)]_{hist}$ Correcta
0,015/ $\sqrt{12}$ =0,0043	(9,8-10,0)/ $\sqrt{12}$ =0,058

- El laboratorio presenta el mismo valor de contribución de incertidumbre por inestabilidad y por inhomogeneidad en todos los puntos de calibración (0,1 °C y 0,14 °C). Se recomienda mejorar esta evaluación en orden al estudio de la cámara generadora de humedad utilizada en las calibraciones.
- El laboratorio presenta un valor de deriva de 0,30 a 033 °C en su patrón. Además, su valor es igual a la contribución de incertidumbre de su patrón de calibración. Se sugiere revisar y evaluar el valor de deriva de su patrón para futuras calibraciones.
- El laboratorio presenta en su reporte final una incertidumbre con una resolución de 0,01 °C en vista que el patron viajero presenta una resolución de 0,1 °C. Se recomienda reportar los valores de la calibración de acuerdo a la resolución del instrumento que se está calibrando.

Humedad del vapor de agua en la cámara climática <i>Relative humidity of the air inside the chamber</i>	Valor de referencia Temperatura <i>Temperature reference value</i>	Temperatura equipo bajo calibración <i>Temperature calibration object</i>	Error de la Medición <i>Measurement error</i>	Incertidumbre de la medición (k=2) <i>Measuring uncertainty (k=2)</i>
in % HR	in °C	in °C	in °C	in °C
49,9	9,9	9,8	-0,1	0,47
50,0	20,1	19,8	-0,3	0,47
50,0	30,1	30,0	-0,1	0,47
49,9	45,3	45,2	-0,1	0,52

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la disposición de participación en esta comparación a los 3 laboratorios Participantes que presentaron resultados en este ensayo de aptitud H-21 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).