



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

**COMPARACIÓN NACIONAL**

**HTc-20**  
**(Participantes con Cámara Climática)**

**CALIBRACIONES DE UN TERMOHIGRÓMETRO DIGITAL**

**Rango de medición: 10 °C a 45 °C.**

**Medio de Generación: Cámara climática.**

**agosto 2020 – noviembre 2020**

## **ENSAYO DE APTITUD – TEMPERATURA AMBIENTAL**

Marcial Espinoza. Antonio Monsalve. Carolina Martinez  
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](mailto:marcial.espinoza@enaer.cl) [antonio.monsalve@enaer.cl](mailto:antonio.monsalve@enaer.cl) [carolina.martinez@enaer.cl](mailto: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 2020. 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 Humedad Relativa y otros laboratorios de calibración no-acreditados, las características del instrumento a utilizar fueron acordadas en taller de cierre del ensayo H-19. La comparación se llevó a cabo desde agosto de 2020 a noviembre de 2020. 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  $\pm 0,5$  °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 2020 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 metrológico de la magnitud de Humedad Relativa entre los laboratorios de calibración de Chile, con el fin de estimar los niveles de concordancia para la magnitud Humedad entre los laboratorios participantes, incluyendo desviación e incertidumbre asociada.

## DATOS GENERALES

### Laboratorios participantes

Los participantes para este ensayo de aptitud 2020 son descritos en la tabla 1.

Laboratorio	Empresa	Contacto	Información
1	DTS	Sebastián Morgado	smorgado@dts.cl
2	SERVINCAL CHILE SPA.	Humberto Escobar	Humberto.escobar@servincal.cl
3	SMI	Romina Gaete Barrau	rgaete@smilab.cl
4	CALMANREP	Gino Ferrari	gferrari@calmanrep.cl
5	CESMEC	Paulo Bustos Astorga	Bustos.paulo@bureauveritas.com
6	LABORATORIO DAVIS	Hernan Ramirez	hramirez@davislab.cl
7	VIGÑOLA	Raul Reyes Acevedo	rreyes@vignola.cl
8	VETO	Mauricio Soto V.	Jefe.calibraciones@veto.cl
9	USACH-CIDE	Roberto Figueroa Muñoz	Roberto.figueroa@usach.cl
LCPNR-HR (ENAER)		Carolina Martinez Guajardo	carolina.martinez@enaer.cl
		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)	13/08/20 – 19/08/20
2	DTS	31/08/20 – 04/09/20
3	SERVINCAL CHILE SPA.	07/09/20 – 11/09/20
4	SMI	14/09/20 – 25/09/20
1	LCPNR-HR (ENAER)	28/09/20 – 02/10/20
5	CALMANREP EIRL	05/10/20 – 09/10/20
6	CESMEC	12/10/20 – 16/10/20
7	LABORATORIO DAVIS	19/10/20 – 23/10/20
1	LCPNR-HR (ENAER)	26/10/20 – 30/10/20
8	VIGÑOLA	02/11/20 – 06/11/20
9	VETO	09/11/20 – 13/11/20
10	USACH-CIDE	16/11/20 – 20/11/20
1	LCPNR-HR (ENAER)	23/11/20 – 27/11/20

Tabla 2. Fechas de realización de la comparación

### Esquema del desarrollo de la Comparación

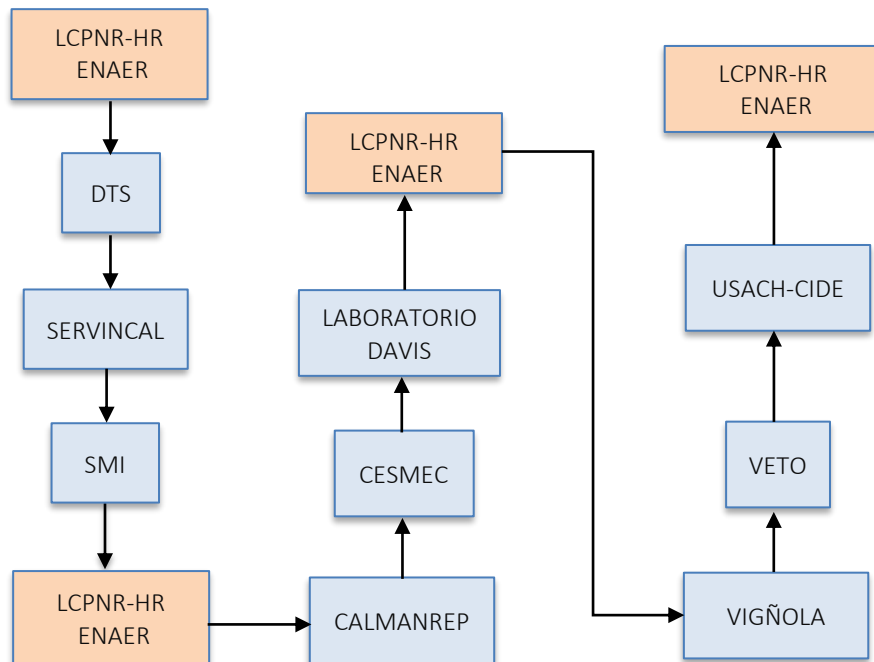


Figura 1. Esquema Ensayo de Aptitud.

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 04 de diciembre de 2020.

El 18 de enero de 2021 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	Número de Serie	Clase de Exactitud	Alcance	Resolución
FLUKE	971	48131875	$\pm 2,5 \%HR:(10 \text{ a } 90) \%HR@23^{\circ}C$	5 %HR a 95 %HR	0,1 %HR
			$\pm 0,5 \text{ }^{\circ}C: (0 \text{ a } 45) \text{ }^{\circ}C$	-20 °C a 60 °C	0,1 °C

Tabla 3. Patrón Viajero de comparación



Figura 2. Patrón viajero usado en la comparación H-20 para participantes con cámara climática

## Puntos de calibración

Para el ensayo de aptitud 2020 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)			
59 %HR	10	20	30	45

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

## 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 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:

Calibración Inicial 19.08.2020				Calibración Intermedia 02.10.2020				Calibración Intermedia 30.10.2020				Calibración Final 30.11.2020			
$T_{Patron}$	$T_{(FLUKE\ 971)}$	$E_1$	$U_1$	$T_{Patron}$	$T_{(FLUKE\ 971)}$	$E_2$	$U_2$	$T_{Patron}$	$T_{(FLUKE\ 971)}$	$E_3$	$U_3$	$T_{Patron}$	$T_{(FLUKE\ 971)}$	$E_4$	$U_4$
10,0	10,3	0,3	0,3	10,1	10,2	0,1	0,3	10,1	10,2	0,1	0,3	10,0	10,4	0,4	0,3
20,0	20,1	0,1	0,3	20,0	20,2	0,2	0,3	20,0	20,1	0,1	0,3	20,0	20,1	0,1	0,3
30,0	29,9	-0,1	0,3	30,1	30,1	0,0	0,3	30,0	30,1	0,1	0,3	30,0	29,9	-0,1	0,3
45,0	44,7	-0,3	0,3	45,0	44,7	-0,3	0,3	45,1	45,1	0,0	0,3	45,0	44,7	-0,3	0,3

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

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

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.

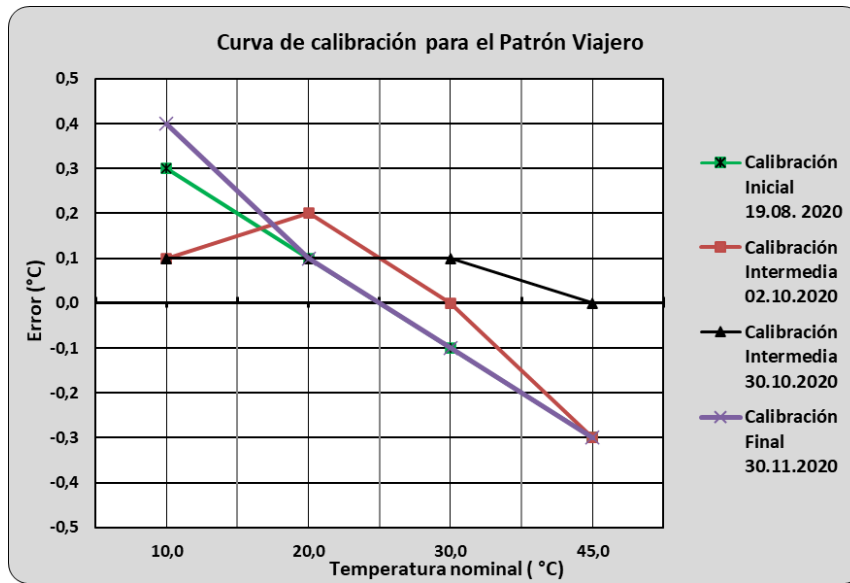


Gráfico 1. Error de medición encontrado para el patrón viajero en las calibraciones realizadas por el LCPNR-HR de ENAER.

### Error promedio e incertidumbre expandida del Laboratorio Piloto

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

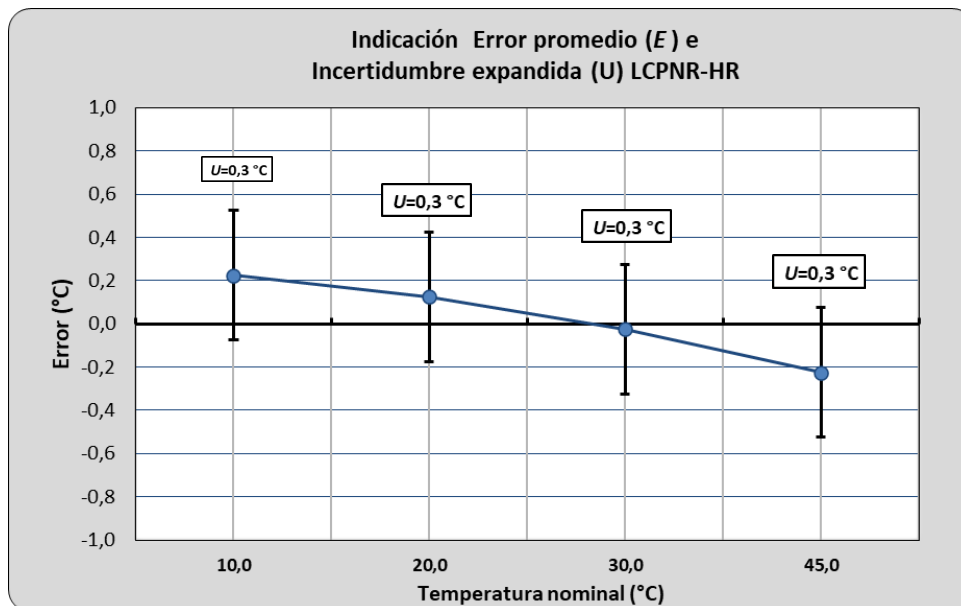


Gráfico 2. Error promedio, E, e incertidumbre expandida, U (k=2, 95%) obtenida por el LCPNR-HR ENAER.



### 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 (19.08.2020) e intermedia (02.10.2020) ( $d_{1-2}$ )
- calibración intermedia (02.10.2020) y (30.10.2020) ( $d_{2-3}$ )
- Calibración intermedia (30.10.2020) y final (30.11.2020) ( $d_{3-4}$ )

Tabla 6. Resultados de las derivas entre calibraciones sucesivas.

(°C) <i>Nominal</i>	<i>Patrón Viajero (FLUKE 971)</i>								
	$E_1$	$E_2$	$d_{1-2}$	$E_2$	$E_3$	$d_{2-3}$	$E_3$	$E_4$	$d_{3-4}$
<b>10</b>	0,30	0,10	<b>0,20</b>	0,10	0,1	<b>0,00</b>	0,1	0,4	<b>-0,30</b>
<b>20</b>	0,10	0,20	<b>0,10</b>	0,20	0,1	<b>0,10</b>	0,1	0,1	<b>0,00</b>
<b>30</b>	-0,10	0,00	<b>0,10</b>	0,00	0,1	<b>-0,10</b>	0,1	-0,1	<b>0,20</b>
<b>45</b>	-0,30	-0,30	<b>0,00</b>	-0,30	0,0	<b>-0,30</b>	0,0	-0,3	<b>0,30</b>

minima deriva	<b>0,00 °C</b>
maxima deriva	<b>0,30 °C</b>

Nota: E1 = Error encontrado en la calibración inicial (19.08.2020)  
 E2 = Error encontrado en la calibración intermedia (02.10.2020)  
 E3 = Error encontrado en la calibración intermedia (30.10.2020)  
 E4 = Error encontrado en la calibración final (30.11.2020)

Se encuentra como deriva máxima de 0,30 °C. (valor absoluto).

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 (0,30 °C) y será evaluada como una distribución rectangular tipo B, de esta forma la contribución por deriva del patrón será:

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

### 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.

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

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

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 (%HR)				U máxima (LCPNR-HR) °C	Deriva Patron °C	Incertidumbre por deriva °C	Incertidumbre de Referencia (°C) $U_{ref} = 2 * \sqrt{\left(\frac{U_{LCPNR-HR}}{2}\right)^2 + \left(\frac{d}{\sqrt{3}}\right)^2}$
	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>4</sub>				
10,0	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,17	0,46
20,0	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,17	0,46
30,0	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,17	0,46
45,0	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	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 0,30 °C, siendo la mayor contribución dentro del presupuesto de incertidumbre de la referencia, esto puede ser asociado a que el instrumento utilizado como patrón viajero era un equipo completamente nuevo, sin calibraciones previas. En el análisis de los datos se encontró una gran diferencia entre la primera y tercera 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.

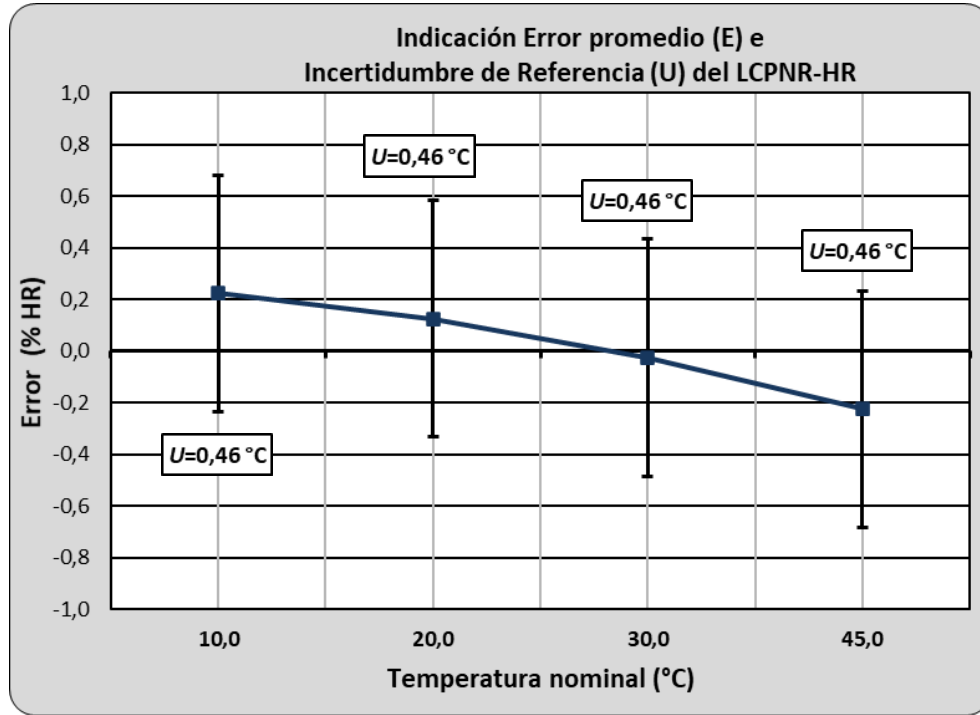


Gráfico 3. Error promedio,  $E$ , e incertidumbre expandida,  $U$  ( $k=2$ , 95%) obtenida por el LCPNR-HR de ENAER.

### 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-20-21	HTC-20-22	HTC-20-23	HTC-20-24	HTC-20-25	HTC-20-26	HTC-20-27	HTC-20-28	HTC-20-29
10,0	0,23	0,09	-0,05	0,0	N.R.	0,1	0,2	-0,04	-0,21	0,1
20,0	0,13	0,07	0,02	0,1	0,01	0,1	0,2	-0,02	-0,03	0,1
30,0	-0,03	0,25	0,07	0,1	0,21	0,2	0,1	-0,01	0,06	-0,1
45,0	-0,22	0,15	0,06	-0,1	N.R.	0,1	0,0	0,02	0,29	-0,1

Nota: N.R.= No reporta.

Tabla 7. Error promedio de los laboratorios participantes.

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

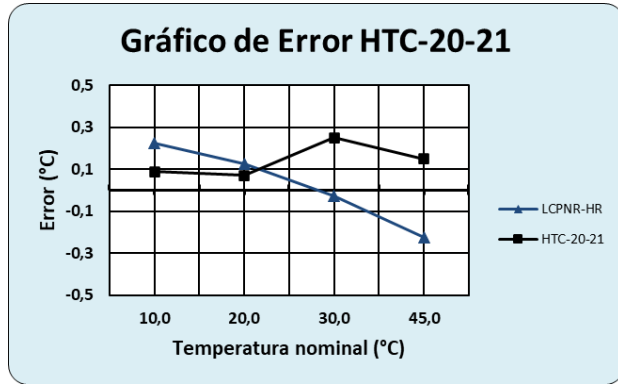


Gráfico (a)

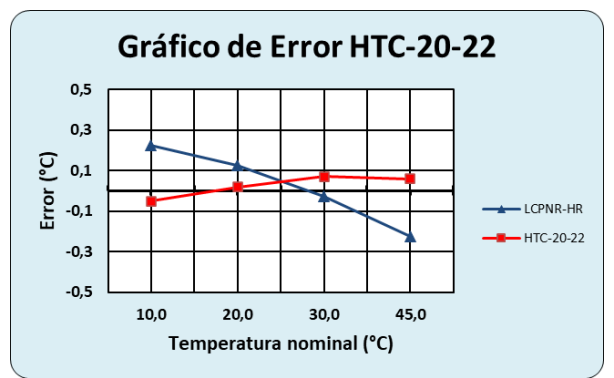


Gráfico (b)

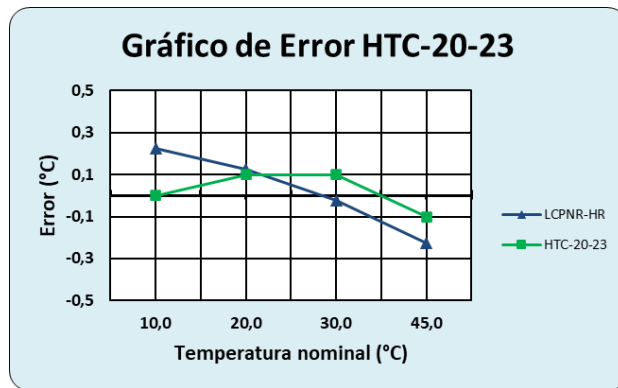


Gráfico (c)

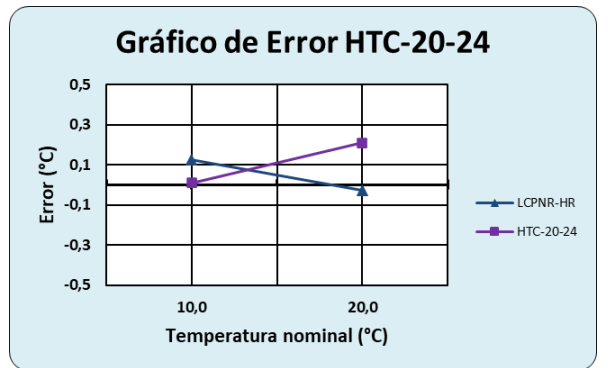


Gráfico (d)

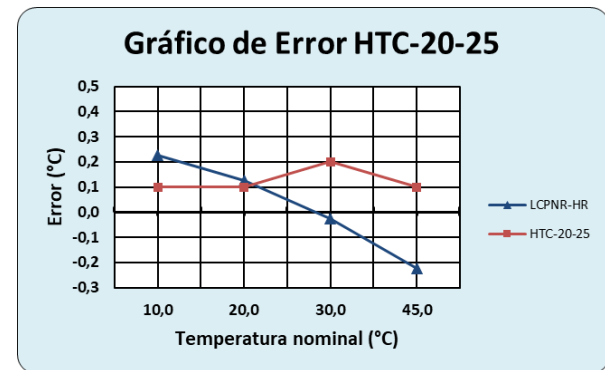


Gráfico (e)

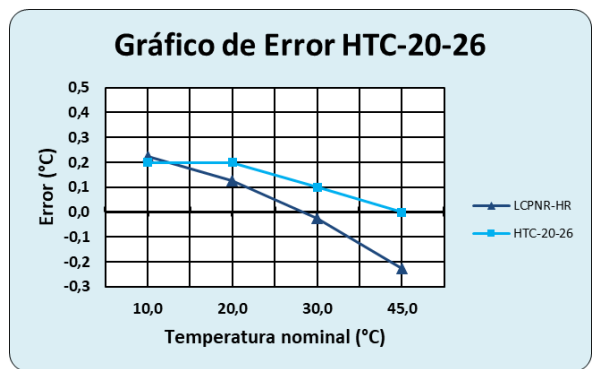


Gráfico (f)

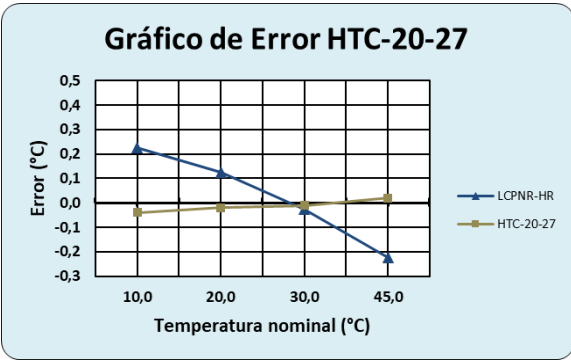


Gráfico (g)

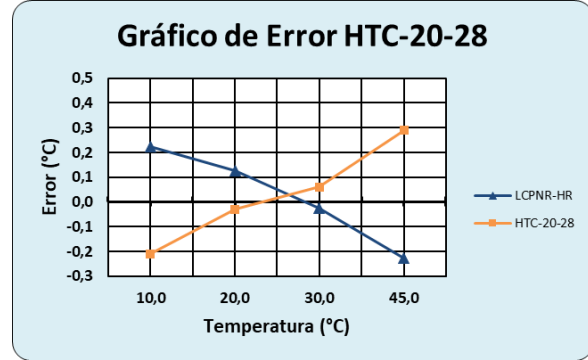


Gráfico (h)

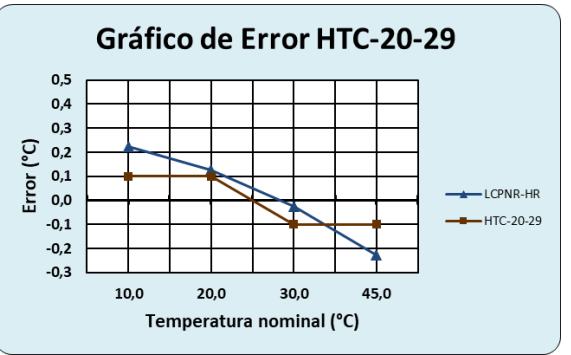


Gráfico (g)

Gráfico (h)

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

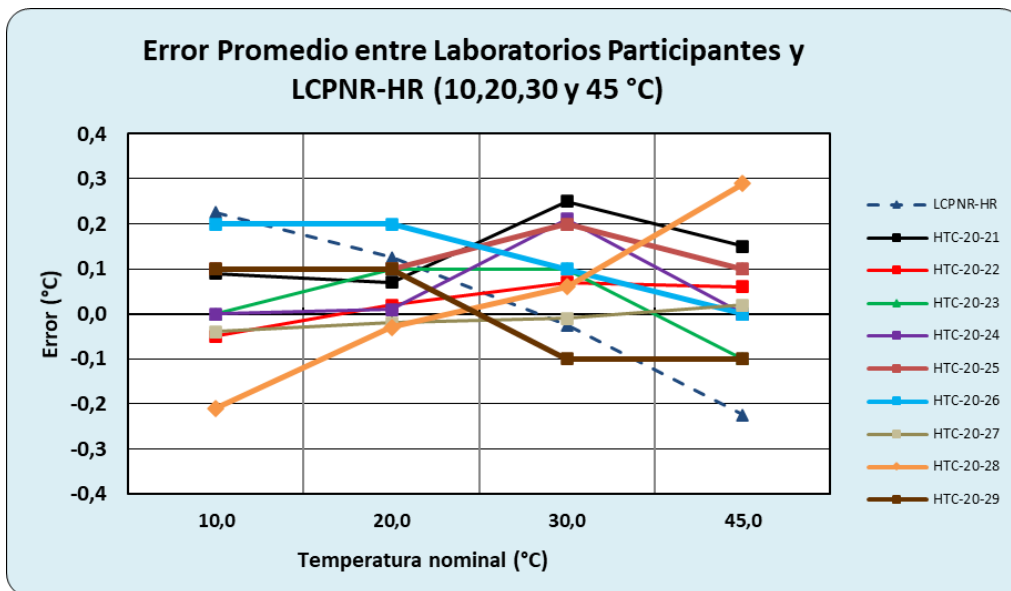


Gráfico 5. Error promedio de laboratorios participantes.

### Incertidumbre de los participantes

Datos Incertidumbre Promedio Laboratorios										
°C	LCPNR-HR (U_ref)	HTC-20-21	HTC-20-22	HTC-20-23	HTC-20-24	HTC-20-25	HTC-20-26	HTC-20-27	HTC-20-28	HTC-20-29
10	0,46	0,40	0,10	0,38	N.R.	0,69	0,48	0,49	0,86	1,3
20	0,46	0,35	0,10	0,36	0,53	0,41	0,39	0,56	0,86	1,3
30	0,46	0,35	0,10	0,36	0,48	0,65	0,43	0,64	0,86	1,3
45	0,46	0,42	0,10	0,37	N.R.	0,61	0,55	0,74	0,86	1,3

Nota: N.R.= No reporta.

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.

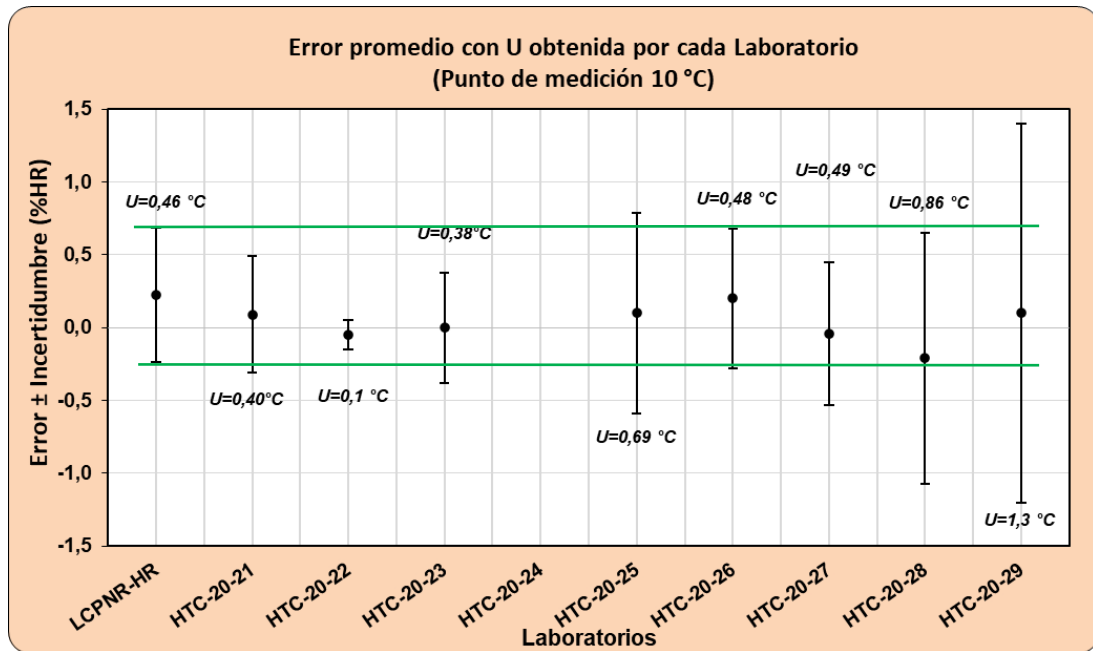


Gráfico 6. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (10 °C).

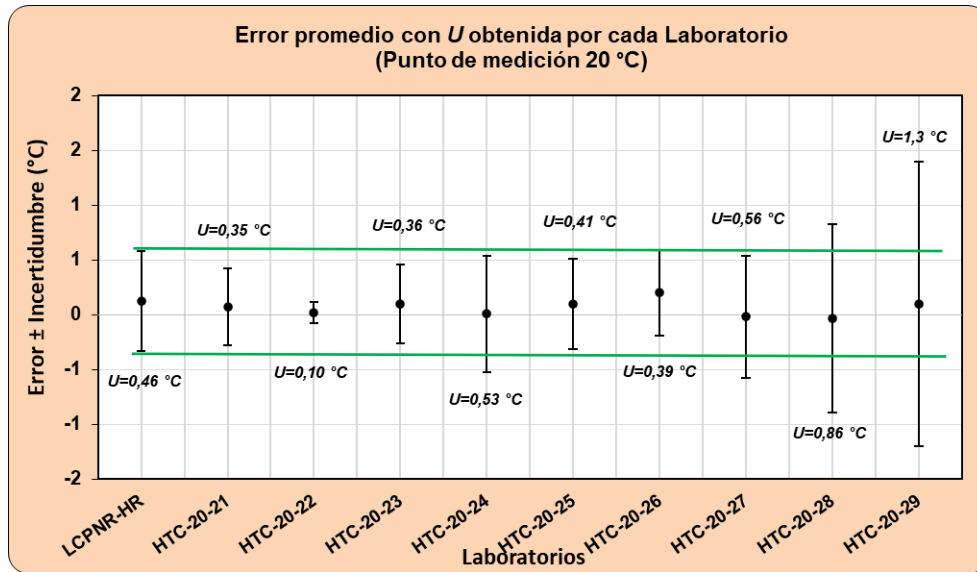


Gráfico 7. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (20 °C).

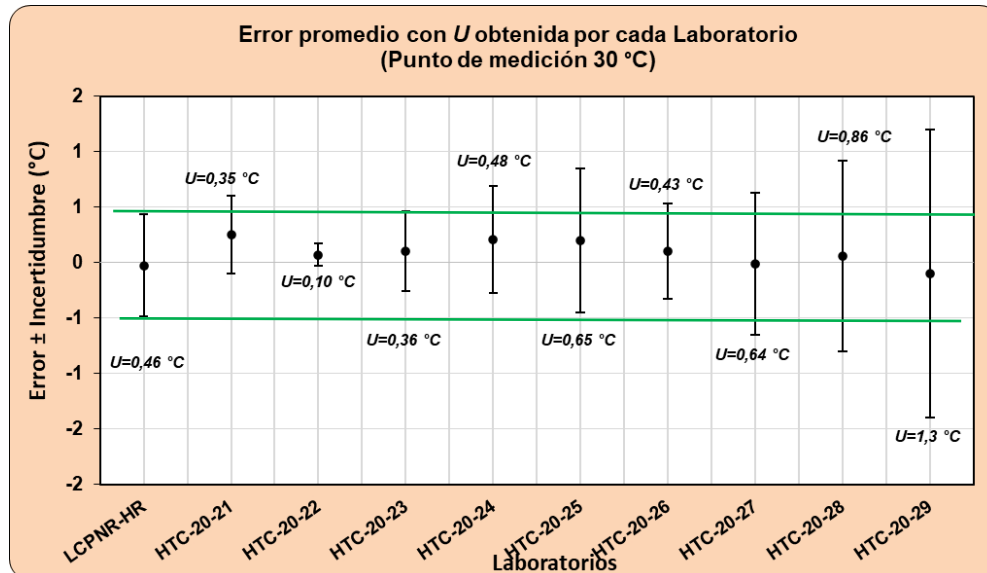


Gráfico 8. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (30 °C).

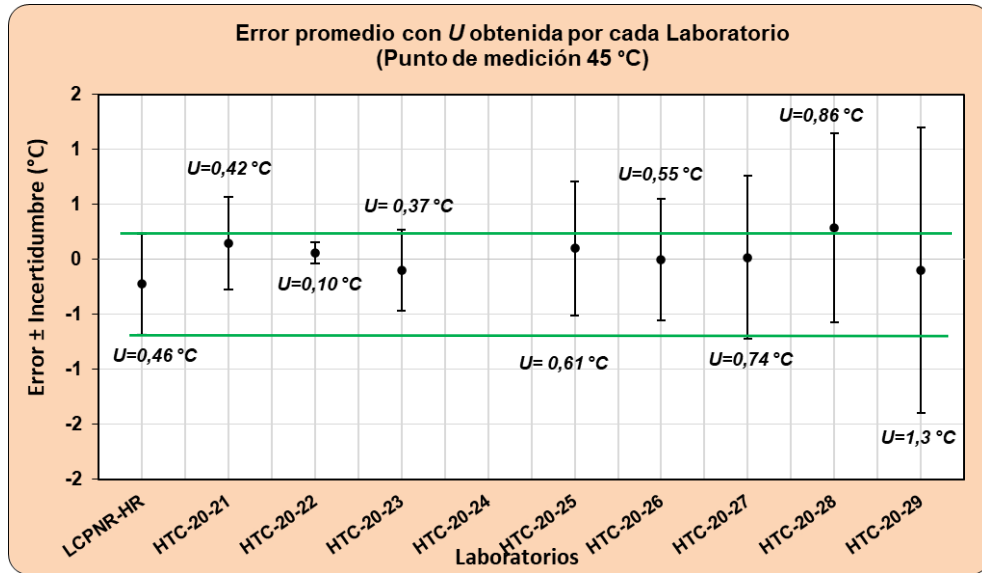


Gráfico 9. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (45 °C).



## 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-20-21	HTC-20-22	HTC-20-23	HTC-20-24	HTC-20-25	HTC-20-26	HTC-20-27	HTC-20-28	HTC-20-29
10,0	0,23	0,09	-0,05	0,0	N.R.	0,1	0,2	-0,04	-0,21	0,1
20,0	0,13	0,07	0,02	0,1	0,01	0,1	0,2	-0,02	-0,03	0,1
30,0	-0,03	0,25	0,07	0,1	0,21	0,2	0,1	-0,01	0,06	-0,1
45,0	-0,22	0,15	0,06	-0,1	N.R.	0,1	0,0	0,02	0,29	-0,1

Tabla 7. Error promedio de los laboratorios participantes.

### Incertidumbre de los participantes

°C	LCPNR-HR (U_ref)	Datos Incertidumbre Promedio Laboratorios								
		HTC-20-21	HTC-20-22	HTC-20-23	HTC-20-24	HTC-20-25	HTC-20-26	HTC-20-27	HTC-20-28	HTC-20-29
10	0,46	0,40	0,10	0,38	N.R.	0,69	0,48	0,49	0,86	1,3
20	0,46	0,35	0,10	0,36	0,53	0,41	0,39	0,56	0,86	1,3
30	0,46	0,35	0,10	0,36	0,48	0,65	0,43	0,64	0,86	1,3
45	0,46	0,42	0,10	0,37	N.R.	0,61	0,55	0,74	0,86	1,3

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-20-21	HTC-20-22	HTC-20-23	HTC-20-24	HTC-20-25	HTC-20-26	HTC-20-27	HTC-20-28	HTC-20-29
10,0	0,22	0,59	0,38	-----	0,15	0,04	0,39	0,45	0,09
20,0	0,10	0,22	0,04	0,16	0,04	0,12	0,20	0,16	0,02
30,0	0,48	0,20	0,21	0,35	0,28	0,20	0,02	0,09	0,05
45,0	0,60	0,61	0,21	-----	0,43	0,31	0,28	0,53	0,09

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.

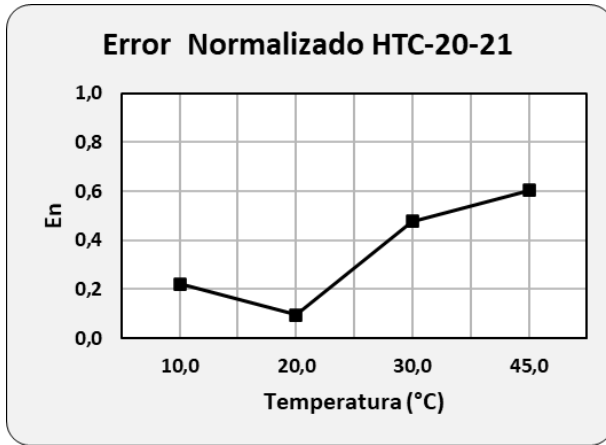


Gráfico (a)

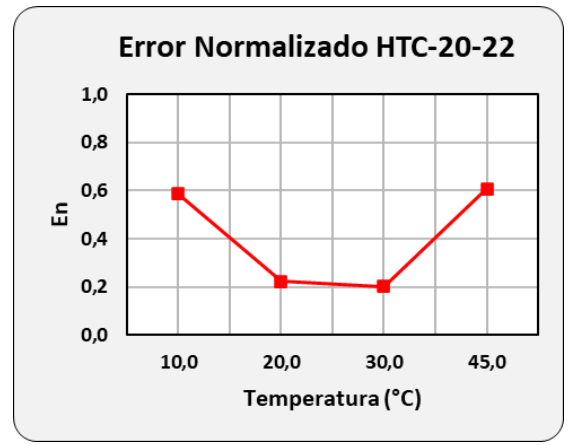


Gráfico (b)

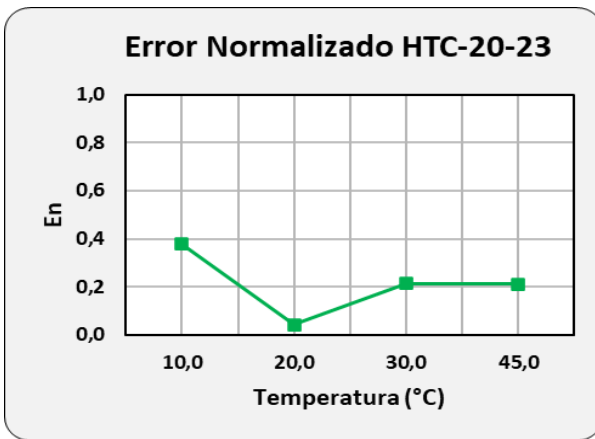


Gráfico (c)

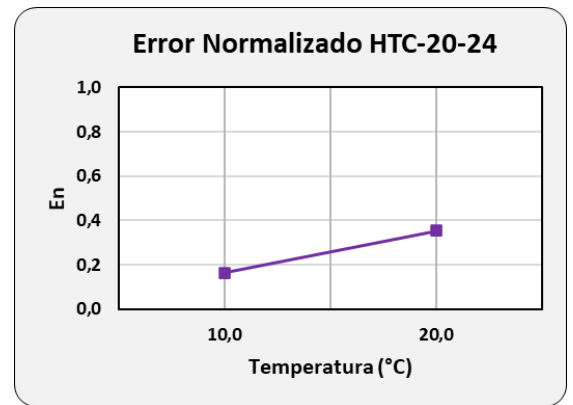


Gráfico (d)

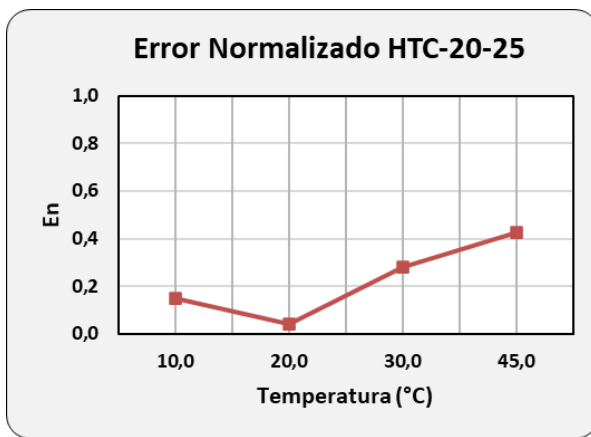


Gráfico (e)

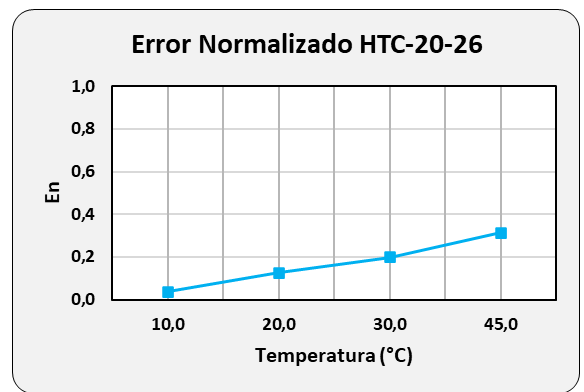


Gráfico (f)

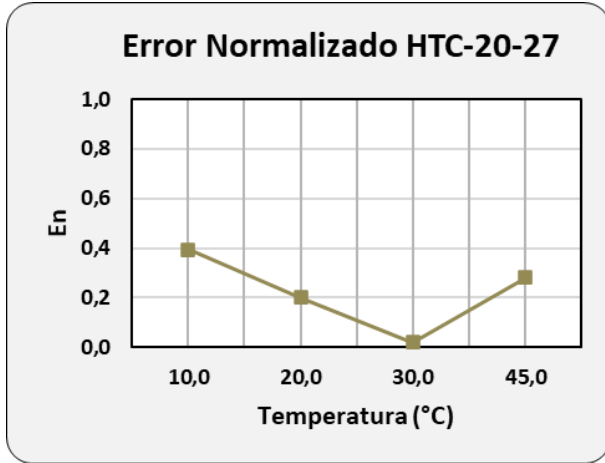


Gráfico (g)

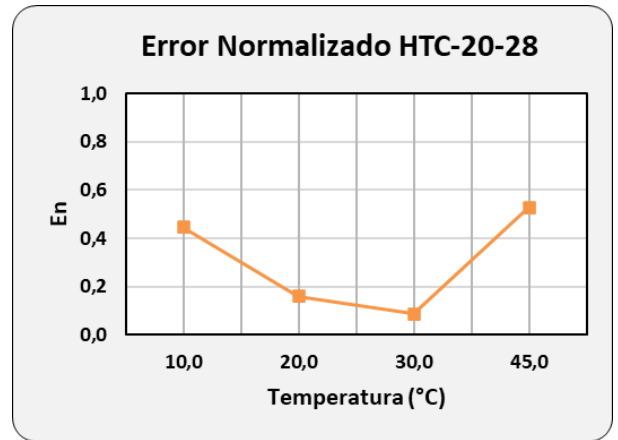


Gráfico (h)

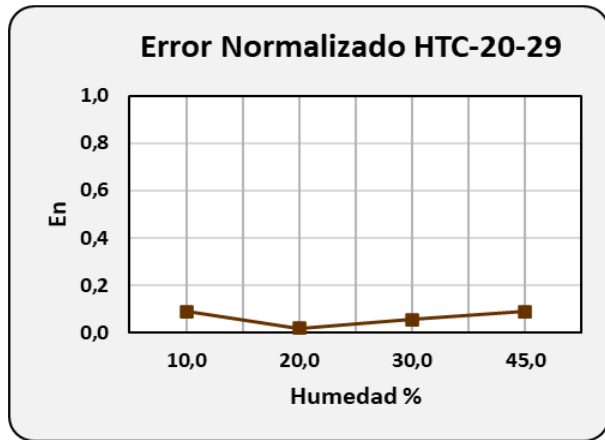


Gráfico (g)

Gráfico 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 <sub>p</sub> ]	δ(t <sub>p</sub> ) <sub>der</sub>	[t <sub>IBC</sub> ]		δ(t) <sub>hist</sub>	δ(t) <sub>instb</sub>	δ(t) <sub>inho</sub>	U <sup>exp</sup> (°C)	MCM
					REP	URES					
1	HTC-20-21	ok	ok	*	ok	ok	ok	*	ok	(0,35 a 0,42)	Sin dato
2	HTC-20-22	ok	ok	ok	*	ok	*	*	*	(0,10 °C)	Sin dato
3	HTC-20-23	ok	ok	ok	ok	ok	*	ok	ok	(0,36 a 0,38)	0,15 °C
4	HTC-20-24	ok	*	*	*	ok	*	*	*	(0,48 a 0,53)	Sin dato
5	HTC-20-25	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	(0,41 a 0,69)	Sin dato
6	HTC-20-26	*	ok	ok	ok	ok	*	ok	ok	(0,39 a 0,55)	Sin dato
7	HTC-20-27	ok	ok	*	ok	ok	ok	ok	ok	(0,49 a 0,74)	Sin dato
8	HTC-20-28	ok	ok	*	ok	ok	ok	*	*	(0,86)	Sin dato
9	HTC-20-29	ok	ok	ok	ok	ok	*	*	*	(1,3)	Sin dato

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-20-21

- El laboratorio no presenta respaldo de sus resultados de acuerdo al formato solicitado en el Protocolo de Aptitud Nacional.
- Presenta error en el cálculo de la contribución en la incertidumbre por deriva de acuerdo al siguiente cuadro:

Punto de calibración (°C)	$u [\delta(t_p)]_{der}$ Informada	$u [\delta(t_p)]_{der}$ Correcta
10	0,30/4= 0,075	(historial de calibración)/ $\sqrt{3}$
20	0,30/4= 0,075	(historial de calibración)/ $\sqrt{3}$
30	0,30/4= 0,075	(historial de calibración)/ $\sqrt{3}$
45	0,30/4= 0,075	(historial de calibración)/ $\sqrt{3}$

La forma de evaluar la deriva es la siguiente de acuerdo al protocolo del ensayo de aptitud:

Fuente de Incertidumbre	Símbolo	Descripción	Distribución	Divisor	Coefficiente de Sensibilidad
Deriva máxima del patrón	$u[\delta(t_p)]_{der}$	Incertidumbre debida a la deriva máxima del patrón. Esta incertidumbre se estimará través de los históricos de los patrones o de datos suministrados por el fabricante.	Rectangular	$\sqrt{3}$	1

- Presenta error al evaluar la contribución por inestabilidad de la fuente de temperatura ambiental de acuerdo a la siguiente tabla:

Punto de calibración (°C)	$u [\delta(t_{inestb})]$ Informada	$u [\delta(t_{inestb})]$ Correcta
10	0,06/2 $\sqrt{3}$ =0,017	0,06/ $\sqrt{3}$ =0,035
20	0,08/2 $\sqrt{3}$ =0,023	0,08/ $\sqrt{3}$ =0,046
30	0,08/2 $\sqrt{3}$ =0,023	0,08/ $\sqrt{3}$ =0,046
45	0,06/2 $\sqrt{3}$ =0,017	0,06/ $\sqrt{3}$ =0,035

La forma de evaluar la inestabilidad de la cámara es la siguiente de acuerdo al protocolo del ensayo de aptitud:

Fuente de Incertidumbre	Símbolo	Descripción	Distribución	Divisor	Coefficiente de Sensibilidad
Inestabilidad temporal de la cámara climática.	$u[\delta(t)_{inestb}]$	Esta considera la incertidumbre por inestabilidad de temperatura dentro de la cámara climática. $ \delta(t)_{inestb}  \leq \text{Max} \bar{T} - T_i $	Rectangular	$\sqrt{3}$	1

### Participante HTC-20-22

- El laboratorio no presenta respaldo de sus resultados de acuerdo al formato solicitado en el Protocolo de Aptitud Nacional.
- El laboratorio presenta la siguiente como incertidumbre de histéresis:

ITEM		
Repetibilidad	Resolución	Histéresis
0	0,1	0
0	0,029	0

La forma de evaluar la histéresis es la siguiente de acuerdo al protocolo del ensayo de aptitud:

Fuente de Incertidumbre	Símbolo	Descripción	Distribución	Divisor	Coefficiente de Sensibilidad
Histéresis del instrumento bajo calibración (IBC).	$u[\delta(t)_{hist}]$	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. $\delta(t)_{his} = (t_{asc} - t_{des})$	Rectangular	$\sqrt{12}$	1

- El laboratorio presenta la siguiente como incertidumbre por repetibilidad:

No se observa ecuación para estimar la incertidumbre por repetibilidad.

ITEM		
Repetibilidad	Resolución	Histéresis
0	0,1	0
0	0,029	0

La forma de evaluar la incertidumbre por repetibilidad es la siguiente de acuerdo al protocolo del ensayo de aptitud:

Fuente de Incertidumbre	Símbolo	Descripción	Distribución	Divisor	Coefficiente de Sensibilidad
Lectura del instrumento bajo calibración ( $t_{ibc}$ )	$u[\delta(t)_{rep}]$	Desviación estándar del valor medio de las lecturas del instrumento bajo calibración. Se estima de la siguiente manera: $u_{rep} = \frac{S(x)}{\sqrt{n}}$ en donde: $S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$	Normal	1	1

- El laboratorio presenta la siguiente como incertidumbre por inhomogeneidad e inestabilidad del medio de generación para todos los puntos de calibración:

MEDIO	
Uniformidad	Estabilidad
0,05	0,01
0,029	0,006

Se recomienda revisar la norma DKD-R 5-7 (Calibración de cámaras climáticas) para evaluar la estabilidad y homogeneidad de la cámara de temperatura ambiental para cada punto de calibración.

Se sugiere también la revisión del siguiente Link:

[http://www.metrologia.cl/medios/Determ\\_incert\\_estab\\_grad\\_histeresis.pdf](http://www.metrologia.cl/medios/Determ_incert_estab_grad_histeresis.pdf)

### **Participante HTC-20-23**

- El laboratorio informa lo siguiente al realizar el cálculo de incertidumbre por histéresis de acuerdo a su planilla de respaldo de resultados:

Informado:

<b>Calculo de Incertidumbre por</b>	Valor ascendente	9,97
	valor descendente	9,8
<b>Histeresis</b>	Valor de Histeresis	0,2
	Divisor	3,464
	u Histeresis	0,043

Los valores ascendentes y descendentes no son informados en el protocolo de mediciones.



### Participante HTC-20-24

- El laboratorio no presenta respaldo de sus resultados de acuerdo al formato solicitado en el Protocolo del Ensayo Aptitud Nacional. Los envía en Formato Word de la siguiente manera:

$u^2_{[tp]}$	$u^2_{U[trep]}$	$u^2_{[resol]}$	$u^2_{[\delta(t)_{hist}]}$	$u^2_{[\delta(t)_{instb}]}$	$u^2_{[\delta(t)_{inho}]}$	$u_{[\delta(tp)_{der}]}$	$U_{EXP}$
0,100	0,02	0,03	0,06	0,14	0,14	0,04	0,53
0,100	0,02	0,03	0,06	0,14	0,14	0,04	0,48

Por lo tanto, no fue posible realizar análisis técnico de las contribuciones.

Sólo se tomó en consideración para el análisis lo siguiente:

- Error de medición.
- Incertidumbre por resolución del IBC.

### Participante HTC-20-25

- Sin Observaciones.

### Participante HTC-20-26

- Presenta error en el cálculo desviación en el punto de calibración de 10 °C.  
 Informado : 0,2 °C  
 Debe ser : 0,3 °C.
- El laboratorio evalúa la histéresis del IBC en un punto diferente de calibración de acuerdo a lo informado en su planilla de respaldo de los resultados:

Informado:

<b>Calculo de Incertidumbre por Histeresis</b>	Valor ascendente		19,918
	valor descendente		19,76
	Valor de Histeresis		0,158
	Divisor		3,464
	u Histeresis		0,046

La forma de evaluar la histéresis es la siguiente de acuerdo al protocolo del ensayo de aptitud:

<i>Fuente de Incertidumbre</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Distribución</i>	<i>Divisor</i>	<i>Coefficiente de Sensibilidad</i>
Histéresis del instrumento bajo calibración (IBC).	$u[\delta(t)_{hist}]$	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. $\delta(t)_{his} = (t_{asc} - t_{des})$	Rectangular	$\sqrt{12}$	1

### Participante HTC-20-27

- El participante no demuestra concordancia entre el valor de contribución por incertidumbre de deriva (0,6 °C a 30°C) y los datos de respaldo de resultados informados

Valores finales del protocolo:

Patrón utilizado	Vaisala
Rango T°	-50 a 120°C
resolución T°	0,01
Rango HR	0 a 100%HR
resolución HR	0,01
U asociada al patrón T°	0,37 a 60°C
U asociada al patrón HR	1,12 a 90%HR
Deriva patrón T°	0,6 a 30°C
Deriva patrón HR	1,3 a 85%HR

Valores encontrados en planilla de respaldo de resultados

Punto de calibración (°C)	$u [\delta(t_p)]_{der}$ Informada
10	$0,03/\sqrt{3}=0,017$
20	$0,03/\sqrt{3}=0,017$
30	$0,03/\sqrt{3}=0,017$
45	$0,03/\sqrt{3}=0,017$

### Participante HTC-20-28

- El participante no demuestra concordancia entre el valor de contribución por incertidumbre de deriva (0,31 °C) y los datos de respaldo de resultados informados.

Informado:

Patrón utilizado	Medidor de Humedad y Temperatura
Rango T°	0 a 50
resolución T°	0,01
Rango HR	10 a 95 %HR
resolución HR	0,01
U asociada al patrón T°	0,53
U asociada al patrón HR	1,06
Deriva patrón T°	0,31
Deriva patrón HR	0,61

Valores encontrados en planilla de respaldo de resultados

Punto de calibración (°C)	$u [\delta(t_p)]_{der}$ Informada
10	$0,53/\sqrt{3}=0,306$
20	$0,53/\sqrt{3}=0,306$
30	$0,53/\sqrt{3}=0,306$
45	$0,53/\sqrt{3}=0,306$

Esta no concordancia en la componente de deriva produce lo siguiente en el cálculo de la incertidumbre expandida:

**Incertidumbre expandida con deriva de 0,53 °C**

Punto de calibración (°C)	$U [\delta(t_p)]_{der}$ Informada	$U$ expandida Informada
10	$0,53/\sqrt{3}=0,306$	0,86 °C
20	$0,53/\sqrt{3}=0,306$	0,86 °C
30	$0,53/\sqrt{3}=0,306$	0,86 °C
45	$0,53/\sqrt{3}=0,306$	0,86 °C

**Incertidumbre expandida con deriva de 0,31 °C**

Punto de calibración (°C)	$U [\delta(t_p)]_{der}$ Correcta	$U$ expandida Correcta
10	$0,31/\sqrt{3}=0,306$	0,70 °C
20	$0,31/\sqrt{3}=0,306$	0,70 °C
30	$0,31/\sqrt{3}=0,306$	0,70 °C
45	$0,31/\sqrt{3}=0,306$	0,70 °C

- 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 norma DKD-R 5-7 (Calibración de cámaras climáticas) para evaluar la estabilidad y homogeneidad de la cámara de temperatura ambiental.

Se sugiere también la revisión del siguiente Link:

[http://www.metrologia.cl/medios/Determ\\_incert\\_estab\\_grad\\_histeresis.pdf](http://www.metrologia.cl/medios/Determ_incert_estab_grad_histeresis.pdf)

**Participante HTC-20-29**

- El laboratorio evalúa la histéresis del IBC en un punto diferente de calibración de acuerdo a lo informado en su planilla de respaldo de los resultados:

<b>Calculo de Incertidumbre por Histeresis</b>	Valor ascendente	20,1
	valor descendente	20,2
	Valor de Histeresis	-0,090
	Divisor	3,464
	u Histeresis	0,001

La forma de evaluar la histéresis es la siguiente de acuerdo al protocolo del ensayo de aptitud:

Fuente de Incertidumbre	Símbolo	Descripción	Distribución	Divisor	Coefficiente de Sensibilidad
Histéresis del instrumento bajo calibración (IBC).	$u[\delta(t)]_{hist}$	<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> $\delta(t)_{his} = (t_{asc} - t_{des})$	Rectangular	$\sqrt{12}$	1

- 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 norma DKD-R 5-7 (Calibración de cámaras climáticas) para evaluar la estabilidad y homogeneidad de la cámara de temperatura ambiental.
- Presenta error al evaluar la contribución por inestabilidad y de inhomogeneidad de la fuente de temperatura ambiental de acuerdo a la siguiente tabla:

**Inestabilidad**

**Inhomogeneidad**

Punto de calibración (°C)	$U [\delta(t_{instb})]$ Informada	$U [\delta(t_{instb})]$ Correcta
10	$0,100/\sqrt{12}= 0,0288$	$0,100/\sqrt{3}= 0,0577$
20	$0,100/\sqrt{12}= 0,0288$	$0,100/\sqrt{3}= 0,0577$
30	$0,100/\sqrt{12}= 0,0288$	$0,100/\sqrt{3}= 0,0577$
45	$0,100/\sqrt{12}= 0,0288$	$0,100/\sqrt{3}= 0,0577$

Punto de calibración (°C)	$U [\delta(t_{inho})]$ Informada	$U [\delta(t_{inho})]$ Correcta
10	$1,300/\sqrt{12}= 0,37527$	$1,300/\sqrt{3}= 0,75055$
20	$1,300/\sqrt{12}= 0,37527$	$1,300/\sqrt{3}= 0,75055$
30	$1,300/\sqrt{12}= 0,37527$	$1,300/\sqrt{3}= 0,75055$
45	$1,300/\sqrt{12}= 0,37527$	$1,300/\sqrt{3}= 0,75055$

Estos errores en los componentes de inestabilidad y de inhomogeneidad producen lo siguiente en el cálculo de la incertidumbre expandida:

**Incertidumbre expandida con componentes de Inestabilidad y de Inhomogeneidad incorrectas**

**Incertidumbre expandida con componentes de Inestabilidad y de Inhomogeneidad correctas**

Punto de calibración (°C)	$U$ expandida Informada
10	1,3 °C
20	1,3 °C
30	1,3 °C
45	1,3 °C

Punto de calibración (°C)	$U$ expandida Correcta
10	1,87 °C
20	1,87 °C
30	1,87 °C
45	1,87 °C

Las magnitudes e influencia de cada incertidumbre en el cálculo final se pueden ver en estas 2 Gráficas:

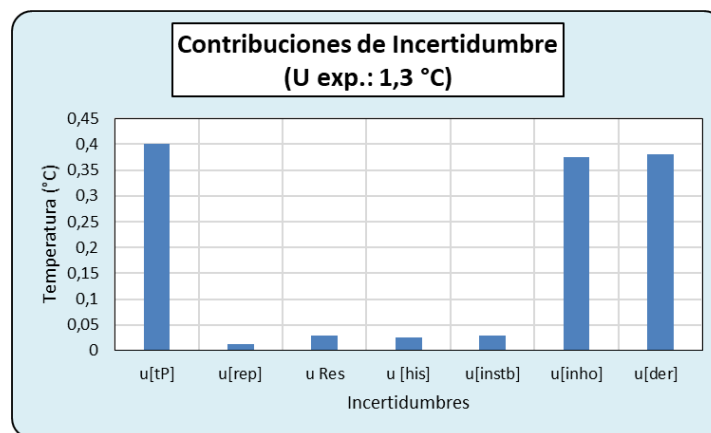


Gráfico 13. Magnitud de influencia en el cálculo de incertidumbre expandida de 1,3 °C. del laboratorio participante HTC-20-29.

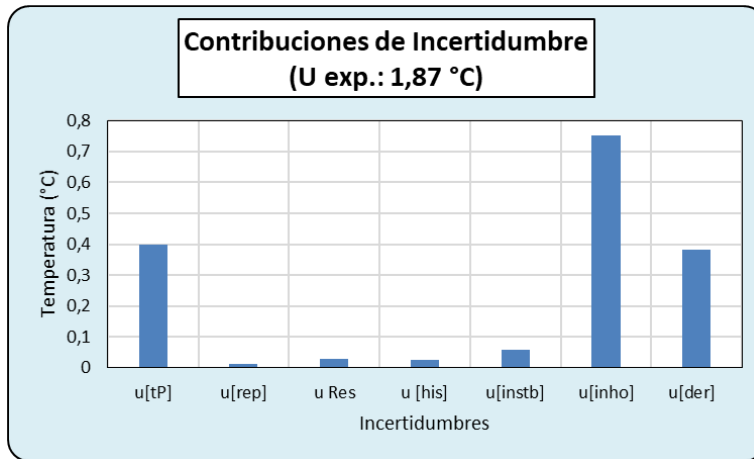


Gráfico 14. Magnitud de influencia en el cálculo de incertidumbre expandida de 1,87 °C. del laboratorio participante HTC-20-29.

Se sugiere también la revisión del siguiente Link:

[http://www.metrologia.cl/medios/Determ\\_incert\\_estab\\_grad\\_histeresis.pdf](http://www.metrologia.cl/medios/Determ_incert_estab_grad_histeresis.pdf)

## CONCLUSIONES RONDA HTC-20

- De los resultados obtenidos por los laboratorios participantes en este ejercicio de acuerdo al criterio de cálculo de Error normalizado “**Ronda HTC-20**” integrantes de la RNM de Chile, se obtiene el siguiente Resultado:
- EL 100% de los laboratorios obtienen un resultado **SATISFACTORIO**.

A pesar de este resultado y por los análisis realizados a cada laboratorio participante se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

- **Respaldo de los resultados.**

No todos los laboratorios enviaron sus respaldos de resultados y las plantillas proporcionadas por el laboratorio piloto debidamente cumplimentadas (**Laboratorio 21,22 y 24**). Se debe entender la necesidad de contar con estos datos para un mejor análisis.

En los próximos ensayos, los laboratorios que no informen correctamente su data técnica, no serán incluidos en los informes respectivos.

- **Desviación de la Indicación.**

El participante debe asegurar que el valor calculado de error concuerde matemáticamente en el informe de los resultados de la calibración (**Laboratorio 26**).

- **Patrón.**

El participante debe asegurar que la evaluación de la incertidumbre de su patrón se realice de manera correcta. Es decir, como se establece en el protocolo del ensayo (**Laboratorio 24**)

- **Repetibilidad.**

El participante debe asegurar que la evaluación de la incertidumbre por repetibilidad se realice de manera correcta. Es decir, como se establece en el protocolo del ensayo (**Laboratorio 22 y 24**)

- **Deriva.**

El participante debe asegurar que la evaluación de la deriva se realice de manera correcta. Es decir, como se establece en el protocolo del ensayo (**Laboratorios 21, 24,27 y 28**)

**Histéresis.**

El participante debe asegurar que la evaluación de la histéresis se realice de manera correcta. Es decir, como se establece en el protocolo del ensayo (**Laboratorios 22, 23, 24, 26 y 29**)

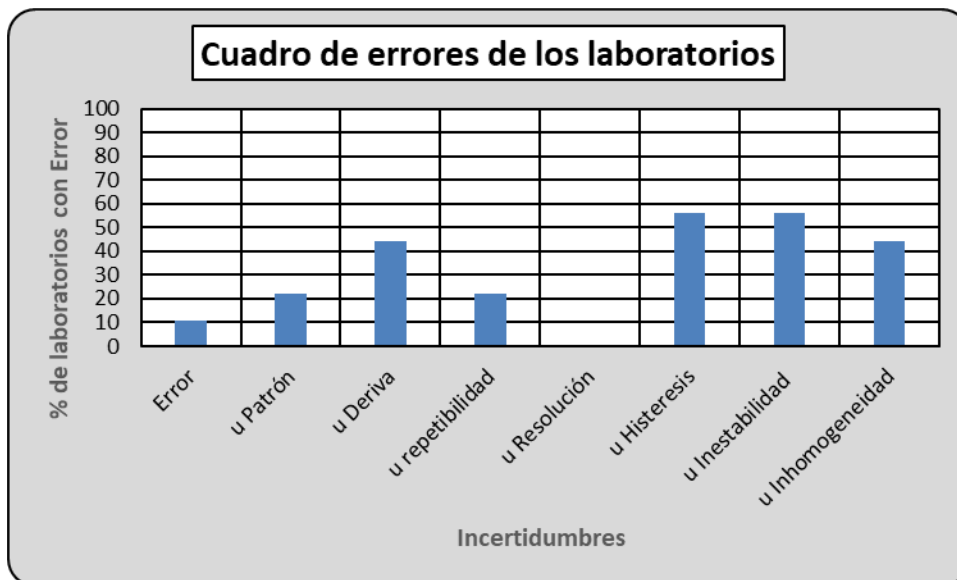
- **Inestabilidad e inhomogeneidad de la cámara.**

El participante debe realizar una caracterización a su cámara climática (medio de generación) para conocer de manera confiable los datos de base para los cálculos de incertidumbre por esta variable. (**Laboratorios 21, 22, 24 ,28 y 29**)

Una forma de realizar esta caracterización esta descrita en el siguiente link:

[http://www.metrologia.cl/medios/Determ\\_incert\\_estab\\_grad\\_histeresis.pdf](http://www.metrologia.cl/medios/Determ_incert_estab_grad_histeresis.pdf)

De los análisis anteriormente explicados se adjunta un gráfico, donde se puede observar porcentualmente los errores detectados en cada contribución de incertidumbre





## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la disposición de participación en esta comparación a los 9 laboratorios Participantes que presentaron resultados en este ensayo de aptitud H-20 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<sup>o</sup>edition, 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](http://www.metrologia.cl/medios/Determ_incert_estab_grad_histeresis.pdf)