



RED NACIONAL DE METROLOGÍA
UNIDAD DE COORDINACIÓN Y SUPERVISIÓN
LABORATORIO CUSTODIO DE PATRONES NACIONALES
MAGNITUD HUMEDAD RELATIVA

INFORME A

COMPARACIÓN NACIONAL

HRc-22
(Participantes con Cámara Climática)

CALIBRACIONES DE UN TERMOHIGRÓMETRO DIGITAL

Rango de medición: 15 %HR a 95 %HR.

Medio de Generación: Cámara climática.

Marzo 2022 – diciembre 2022

ENSAYO DE APTITUD – HUMEDAD RELATIVA

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

Resumen: El Laboratorio Custodio de Patrones Nacionales - Humedad Relativa de ENAER y el área de metrología del Instituto Nacional de Normalización INN Perteneiente a la Red Nacional de Metrología realizaron el Ensayo de Aptitud 2022, el cual se llevó a cabo desde marzo de 2022 a septiembre de 2022. Para ello se eligió un instrumento cuyo rango permitió que la mayoría de los laboratorios acreditados por el INN en la magnitud Humedad Relativa y también laboratorios de calibración no-acreditados pudieran calibrarlo. La comparación se llevó a cabo desde marzo de 2022 a diciembre de 2022. Para la comparación se utilizó como patrón de comparación un Medidor de Humedad y temperatura digital, marca DeltaOhm, Modelo: HD35EDL14Bntv, con un alcance de medición entre 0 %HR a 100 %HR., clase de exactitud de $\pm 1,8$ %HR. (entre 0%HR. y 85 %HR.) y de $\pm 2,5$ %HR (entre 85%HR. y 100 %HR.) y resolución de 0,1 %HR. El instrumento fue facilitado por el LCPN-Humedad de ENAER Chile y la actividad se realizó dentro del marco de cooperación con el INN y de la Red de Metrología de Chile.

INTRODUCCION

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

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

OBJETIVO

Realizar una comparación en el ámbito 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 entre los laboratorios participantes, incluyendo desviación e incertidumbre asociada.

DATOS GENERALES

Laboratorios participantes

Los participantes para este ensayo de aptitud 2022 son:

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

Tabla 1. Empresas participantes.

Fechas para realizar las mediciones.

El equipo circuló de acuerdo con el siguiente cronograma:

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

Tabla 2. Fechas de realización de la comparación

Esquema del desarrollo de la Comparación

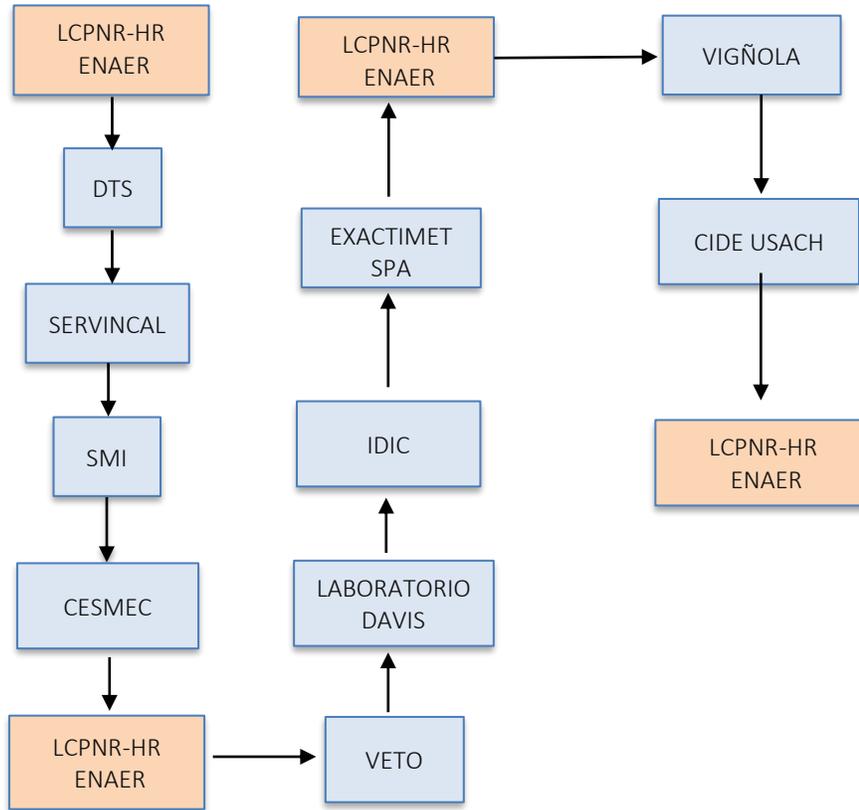


Figura 1. Esquema Ensayo de Aptitud.

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

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

Patrón viajero de comparación

Medidor de Humedad y temperatura digital

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

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

Tabla 3. Patrón Viajero de comparación



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

Puntos de calibración

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

Humedad relativa

Temperatura de referencia en la cámara	Puntos de medición en humedad relativa (%HR)					
23 °C	10	33	59	75	85	95

Referencia: Protocolo de Ensayo de Aptitud Nacional 2022.

Patrón Nacional

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

LCPNR-HR de ENAER.						
Nombre	Tipo	Marca	Modelo	N° de serie	Alcance de medición %HR	Incertidumbre expandida, k=2 %HR
Estándar Primario	Generador de Humedad por dos Presiones	Thunder Scientific	2500S-LT	0502478	10 a 95	0,5 a 1,2

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 cuatro calibraciones realizadas, el mismo procedimiento, estándar de referencia y equipamiento fueron usados.

La siguiente fotografía muestra el montaje para la calibración:



Figura 3. Montaje para la calibración del patrón viajero.

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

Los datos obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Temp. Camara (°C)	Calibración inicial marzo 2022				Calibración intermedia julio 2022				Calibración intermedia septiembre 2022				Calibración Final diciembre 2022			
	RH Patron	RH (DeltaOhm)	E ₁	U ₁	RH Patron	RH (DeltaOhm)	E ₂	U ₂	RH Patron	RH (DeltaOhm)	E ₃	U ₃	RH Patron	RH (DeltaOhm)	E ₄	U ₄
23	15,0	14,3	-0,7	0,5	15,0	14,3	-0,7	0,5	15,0	14,4	-0,6	0,5	15,0	14,2	-0,8	0,5
	33,0	32,6	-0,4	0,5	33,0	32,6	-0,4	0,5	33,0	32,0	-1,0	0,5	33,0	31,6	-1,4	0,5
	59,0	58,8	-0,2	0,7	58,8	58,8	0,0	0,7	59,2	57,9	-1,3	0,7	59,0	57,0	-2,0	0,7
	75,0	74,6	-0,4	0,9	75,0	74,5	-0,5	0,9	75,0	73,4	-1,6	0,9	75,1	72,6	-2,5	0,9
	85,0	85,0	0,0	1,0	84,9	84,8	-0,1	1,0	84,9	83,2	-1,7	1,0	85,0	82,7	-2,3	1,0
	94,9	96,4	1,5	1,2	95,0	96,1	1,1	1,2	94,9	94,4	-0,5	1,2	95,0	93,9	-1,1	1,2

(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 Laboratorio Piloto para el patrón viajero a partir de las 04 mediciones realizadas a lo largo de la comparación.

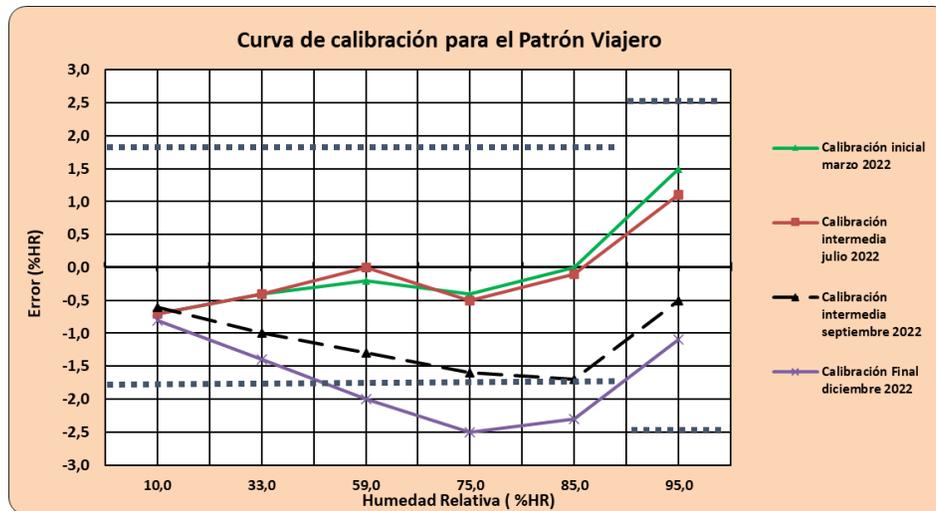


Gráfico 1. Error de medición encontrado para el patrón viajero en las calibraciones realizadas por el LCPNR-HR de ENAER.
(Las líneas de puntos corresponden a la exactitud del instrumento)

Error promedio e incertidumbre expandida del Laboratorio Piloto

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

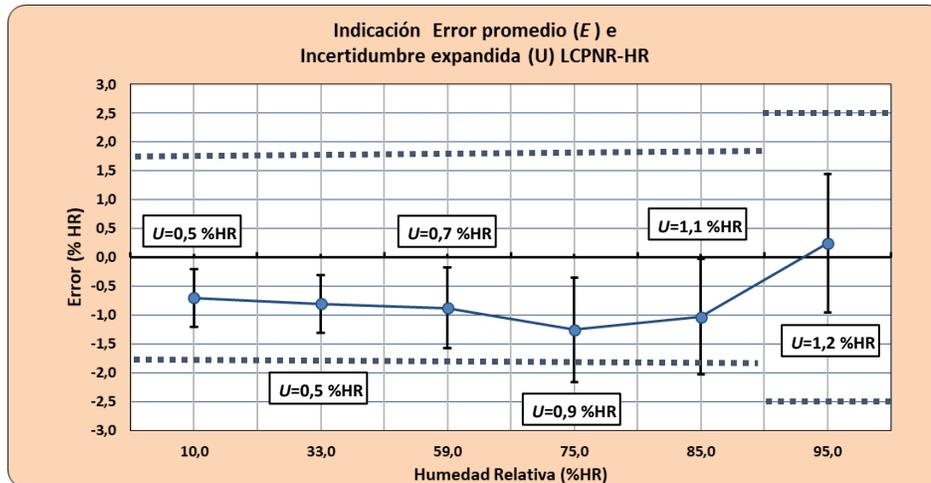


Gráfico 2. Error promedio, E, e incertidumbre expandida, U (k=2, 95%) obtenida por el LCPNR-HR ENAER.
(Las líneas de puntos corresponden a la exactitud del instrumento).

a) Estudio de deriva (Drift) del patrón viajero

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

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

HR Nominal	Patrón Viajero (DeltaOhm)								
	E ₁	E ₂	d ₁₋₂	E ₂	E ₃	d ₂₋₃	E ₃	E ₄	d ₃₋₄
10	-0,7	-0,7	0,0	-0,7	-0,6	0,1	-0,6	-0,8	0,2
33	-0,4	-0,4	0,0	-0,4	-1,0	0,6	-1,0	-1,4	0,4
59	-0,2	0,0	0,2	0,0	-1,3	1,3	-1,3	-2,0	0,7
75	-0,4	-0,5	0,1	-0,5	-1,6	1,1	-1,6	-2,5	0,9
85	0,0	-0,1	0,1	-0,1	-1,7	1,6	-1,7	-2,3	0,6
95	1,5	1,1	0,4	1,1	-0,5	1,6	-0,5	-1,1	0,6

minima deriva	0,0
maxima deriva	1,6

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

Tabla 6. Resultados de las derivas entre calibraciones sucesivas.

Se encuentra como deriva máxima de 1,60 % HR. (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 (0,68 %HR) y será evaluada como una distribución rectangular tipo B, de esta forma la contribución por deriva del patrón será:

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

$$u_{\text{deriva}} = (1,60/\sqrt{3}) = 0,923 \% \text{ HR.}$$

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).

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

Humedad Nominal % HR	U mediciones LCPNR-HR (%HR)				U máxima (LCPNR-HR) % HR	Deriva Patron viajero % HR	Incertidumbre por deriva patron Viajero	Incertidumbre de Referencia (%HR)
	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄				$U_{ref} = 2 * \sqrt{\left(\frac{U_{LCPNR-HR}}{2}\right)^2 + \left(\frac{d}{\sqrt{3}}\right)^2}$
10,0	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,60	0,924	1,91
33,0	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,60	0,924	1,91
59,0	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	1,60	0,924	1,98
75,0	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	1,60	0,924	2,06
85,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,60	0,924	2,10
95,0	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,60	0,924	2,20

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 1,60%HR, siendo la mayor contribución dentro del presupuesto de incertidumbre de la referencia. En el análisis de los datos se encontró una gran diferencia entre la calibración de marzo y septiembre de 2022, 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, 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.

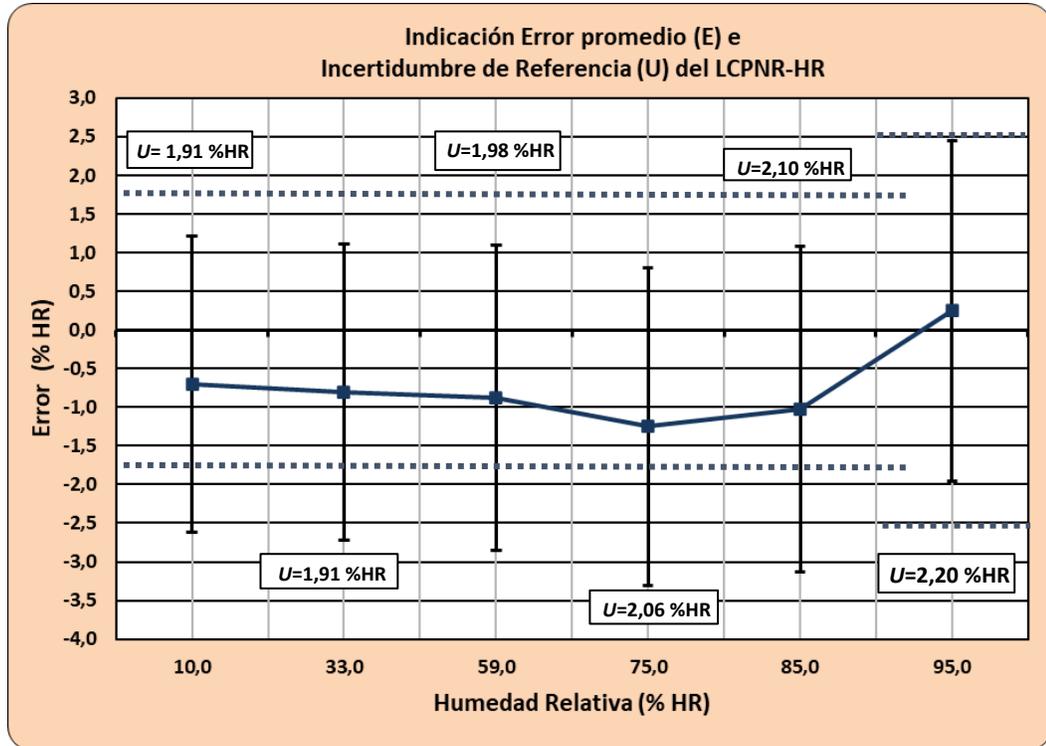


Gráfico 3. Error promedio, E , e incertidumbre del laboratorio de referencia, U ($k=2$, 95%), con consideración adicional por deriva del patrón viajero. (Las líneas de puntos corresponden a la exactitud del instrumento).

Datos de las mediciones

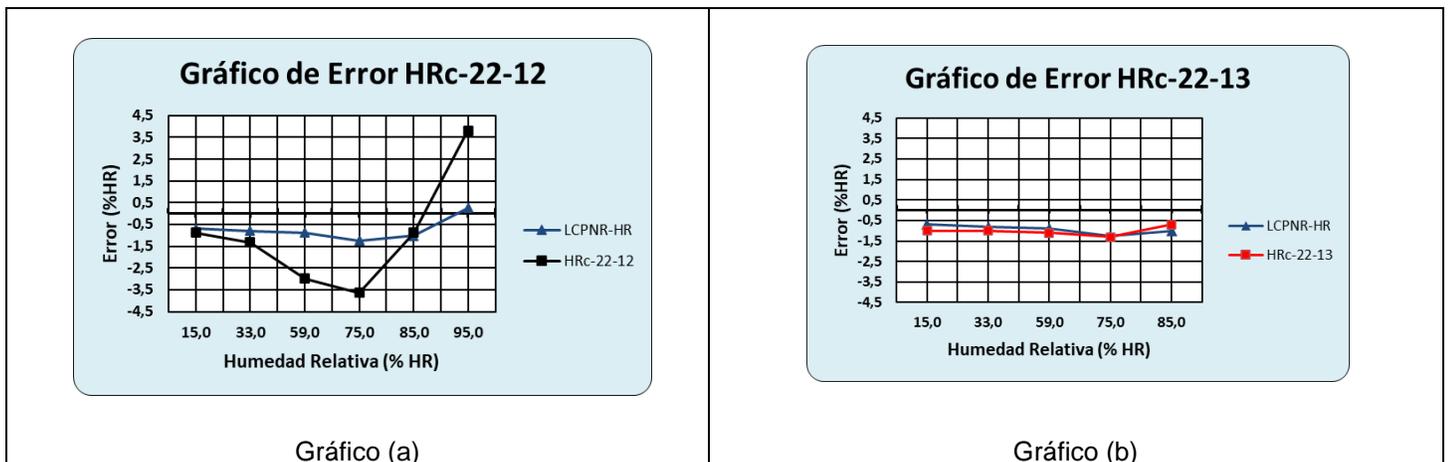
A continuación, se presentan los resultados de los laboratorios participantes:

Error Promedio de los participantes

Valor Nominal (%HR)	Datos Error Promedio Laboratorios (% HR)									
	Error Promedio LCPNR-HR	HRc-22-12	HRc-22-13	HRc-22-14	HRc-22-15	HRc-22-16	HRc-22-17	HRc-22-18	HRc-22-19	HRc-22-20
15,0	-0,70	-0,9	-1,0	-----	-0,50	-----	-0,7	-----	-----	-----
33,0	-0,80	-1,3	-1,0	-0,41	-0,40	-1,0	-1,0	-0,04	-1,35	-1,8
59,0	-0,88	-3,0	-1,1	-0,47	-0,31	-0,9	-1,4	-0,53	-2,46	-1,1
75,0	-1,25	-3,6	-1,3	0,46	-0,35	-0,7	-----	-0,85	-2,29	-1,6
85,0	-1,03	-0,9	-0,7	0,50	-0,19	-0,9	-----	-----	-----	-----
95,0	0,25	3,8	-----	-----	0,39	-----	-----	-----	-----	-----

Tabla 7. Error promedio de los laboratorios participantes.

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



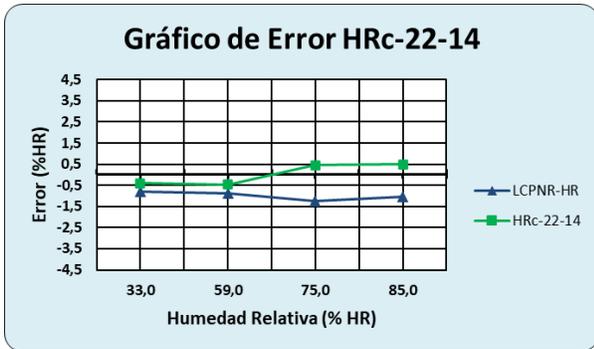


Gráfico (c)

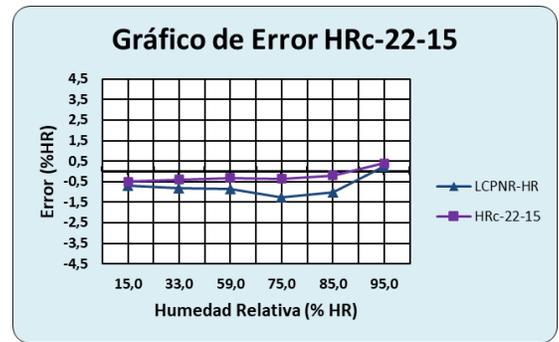


Gráfico (d)

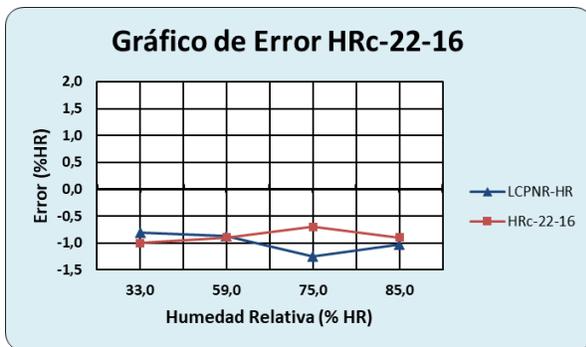


Gráfico (e)

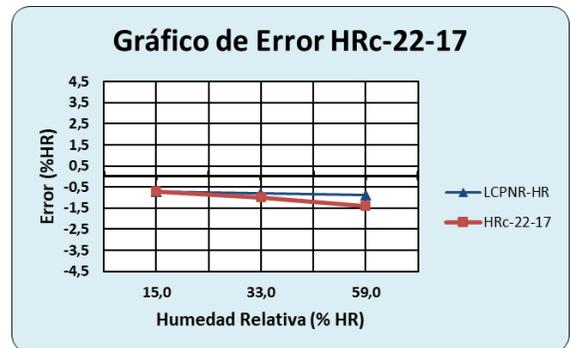


Gráfico (f)

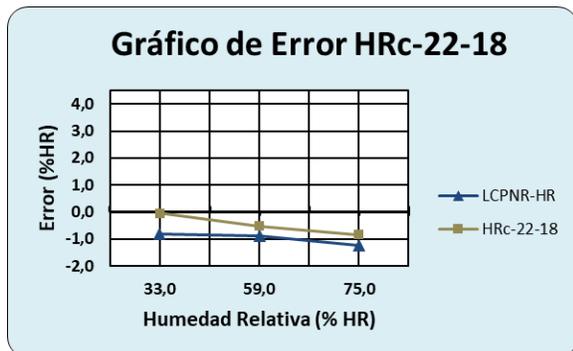


Gráfico (g)

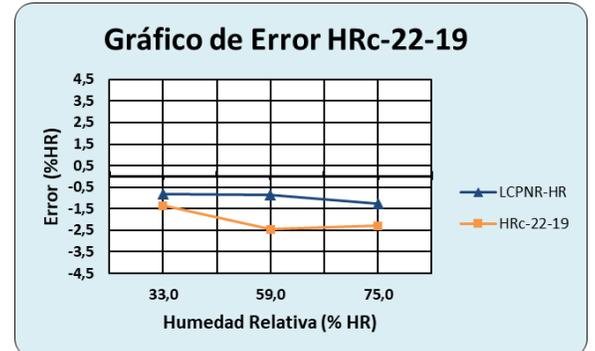


Gráfico (h)

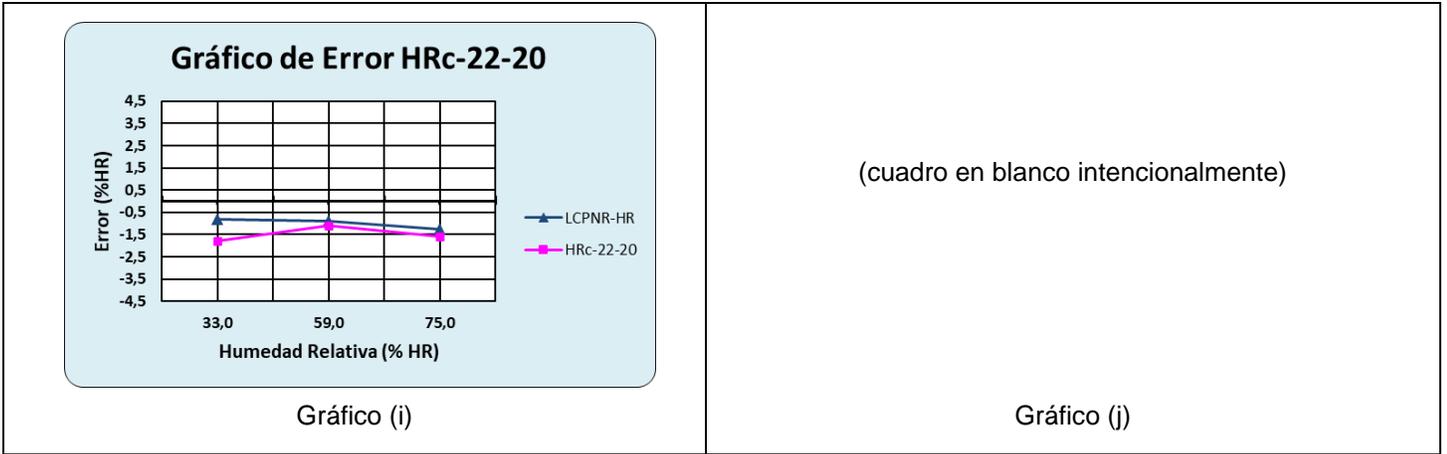


Gráfico 4. Error Individual de cada participante con respecto a LCPNR-HR de ENAER.

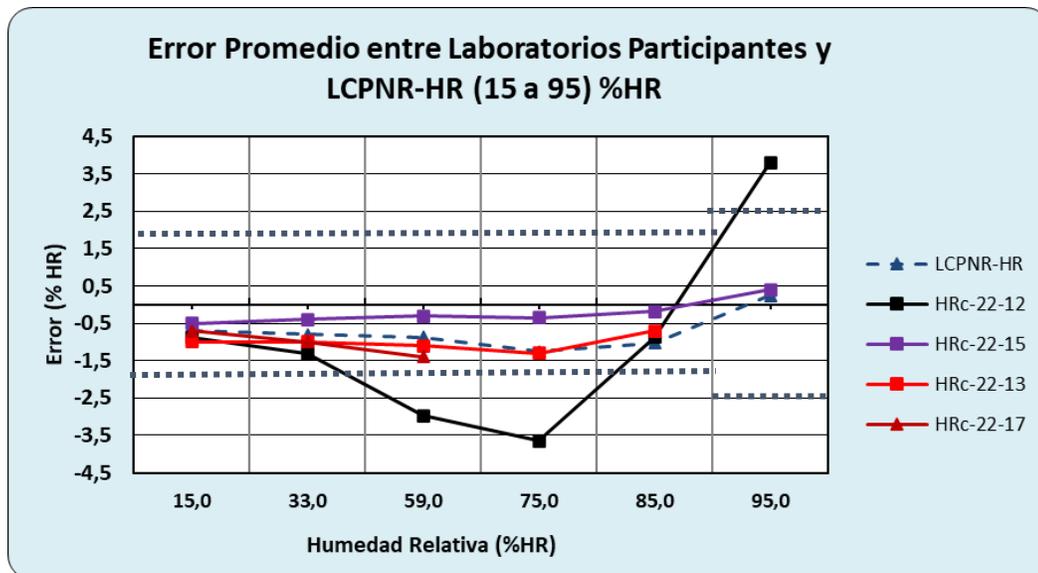


Gráfico 5 A. Error promedio de laboratorios participantes.
(Las líneas de puntos corresponden a la exactitud del instrumento).

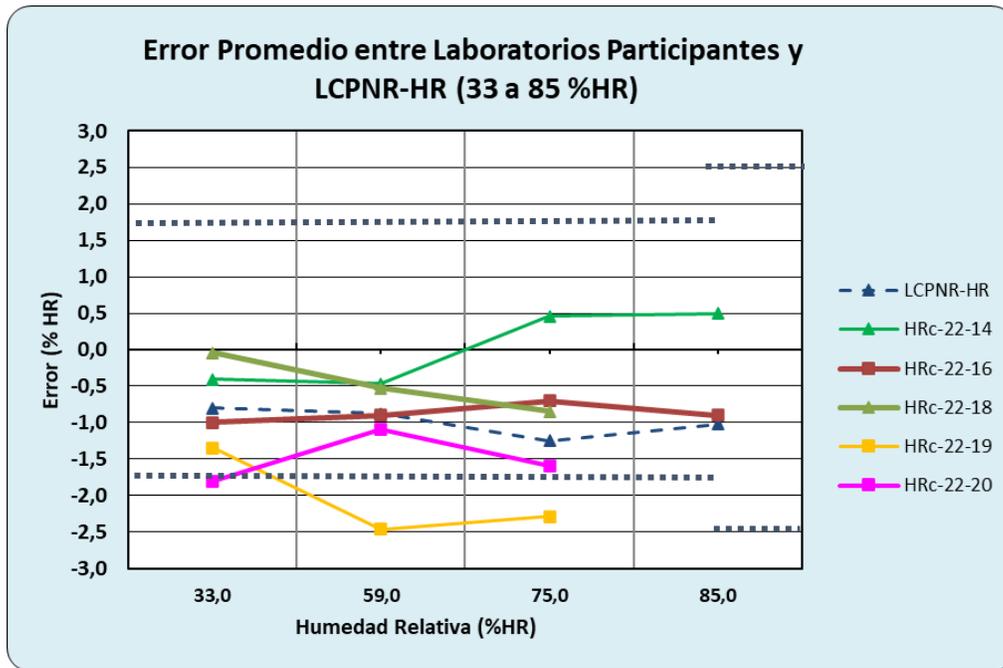


Gráfico 5 B. Error promedio de laboratorios participantes.

Incertidumbre de los participantes

Datos Incertidumbre Promedio Laboratorios										
%HR	LCPNR-HR (U_ref)	HRC-22-12	HRC-22-13	HRC-22-14	HRC-22-15	HRC-22-16	HRC-22-17	HRC-22-18	HRC-22-19	HRC-22-20
15,0	1,91	1,3	1,8	-----	2,03	-----	1,2	-----	-----	-----
33,0	1,91	1,3	1,8	1,8	2,03	1,1	1,0	1,56	2,17	2,5
59,0	1,98	1,3	2,1	2,0	2,03	2,1	3,7	2,32	2,37	2,5
75,0	2,06	1,3	2,2	2,1	2,14	2,5	-----	2,47	2,95	2,5
85,0	2,10	1,3	2,3	2,2	2,24	2,5	-----	-----	-----	-----
95,0	2,20	1,3	-----	-----	2,33	-----	-----	-----	-----	-----

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.

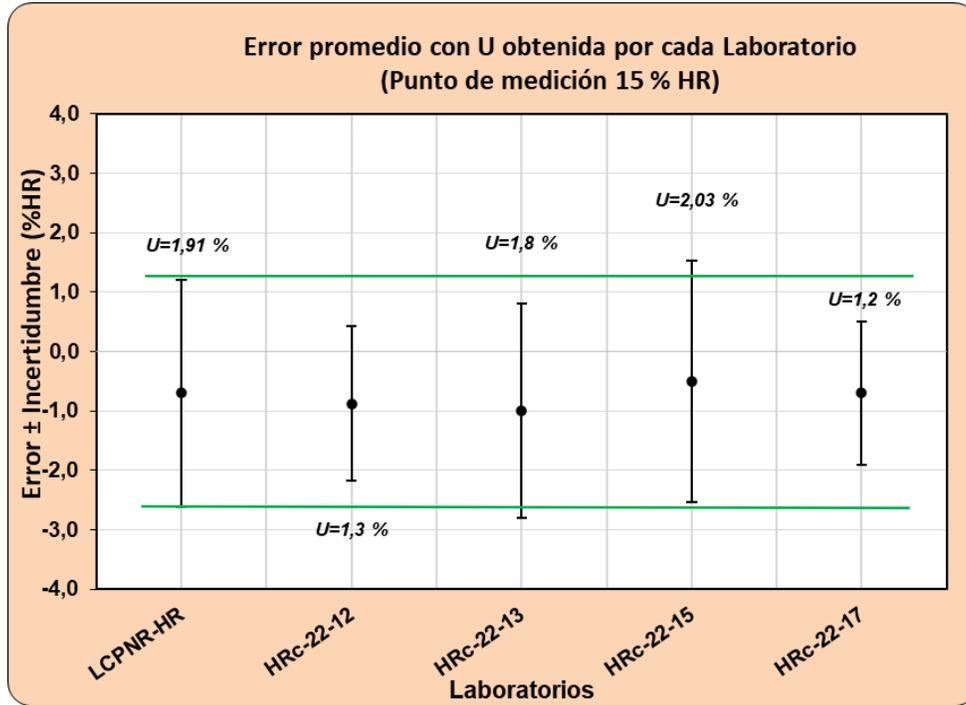


Gráfico 6. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (15 %HR).

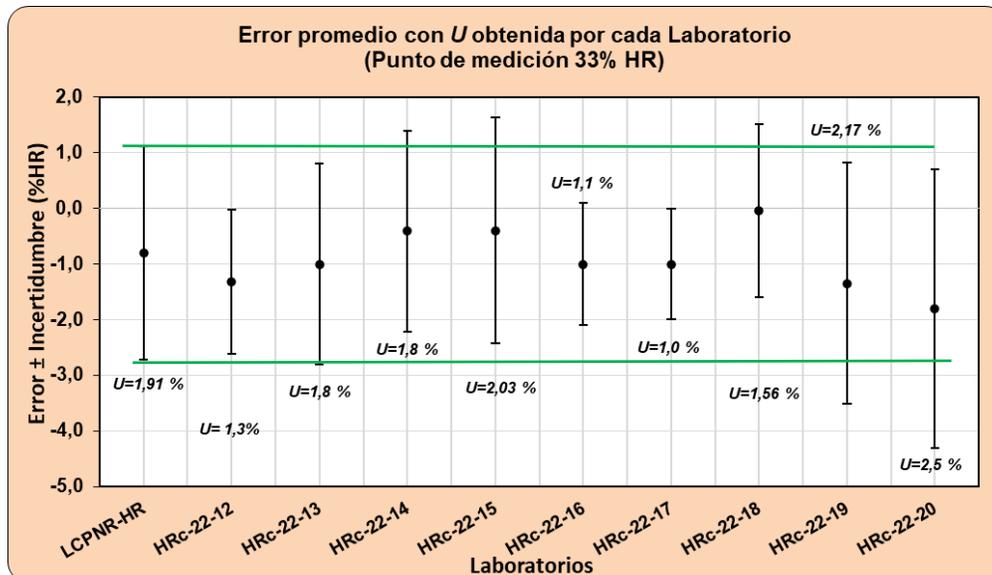


Gráfico 7. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (33 %HR).

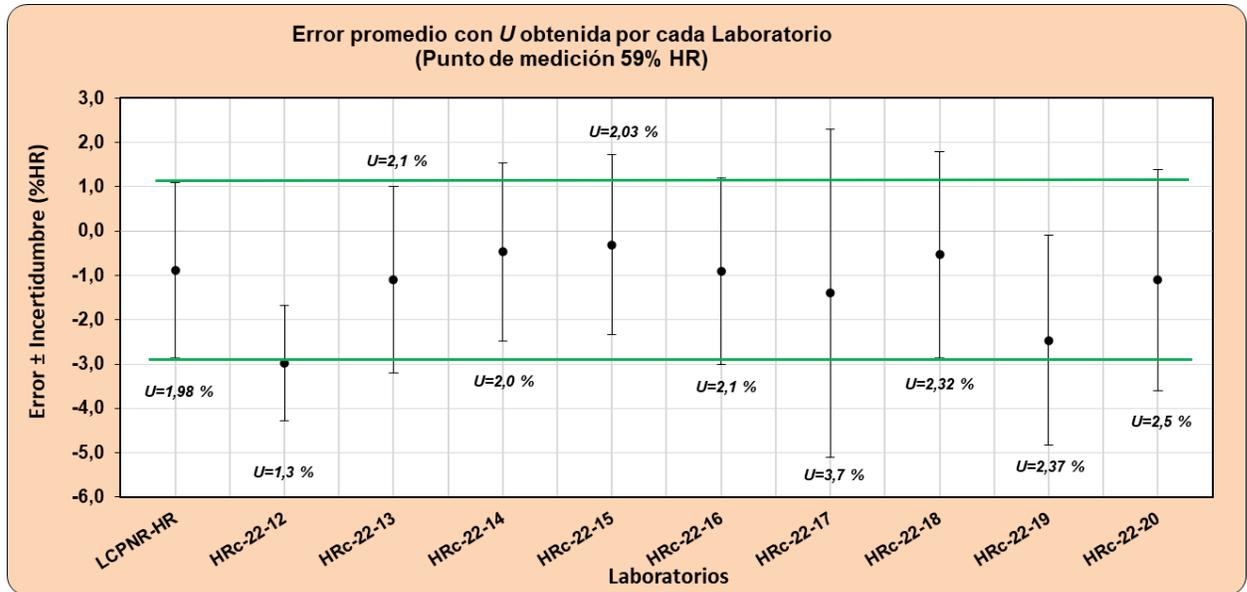


Gráfico 8. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (59 %HR).

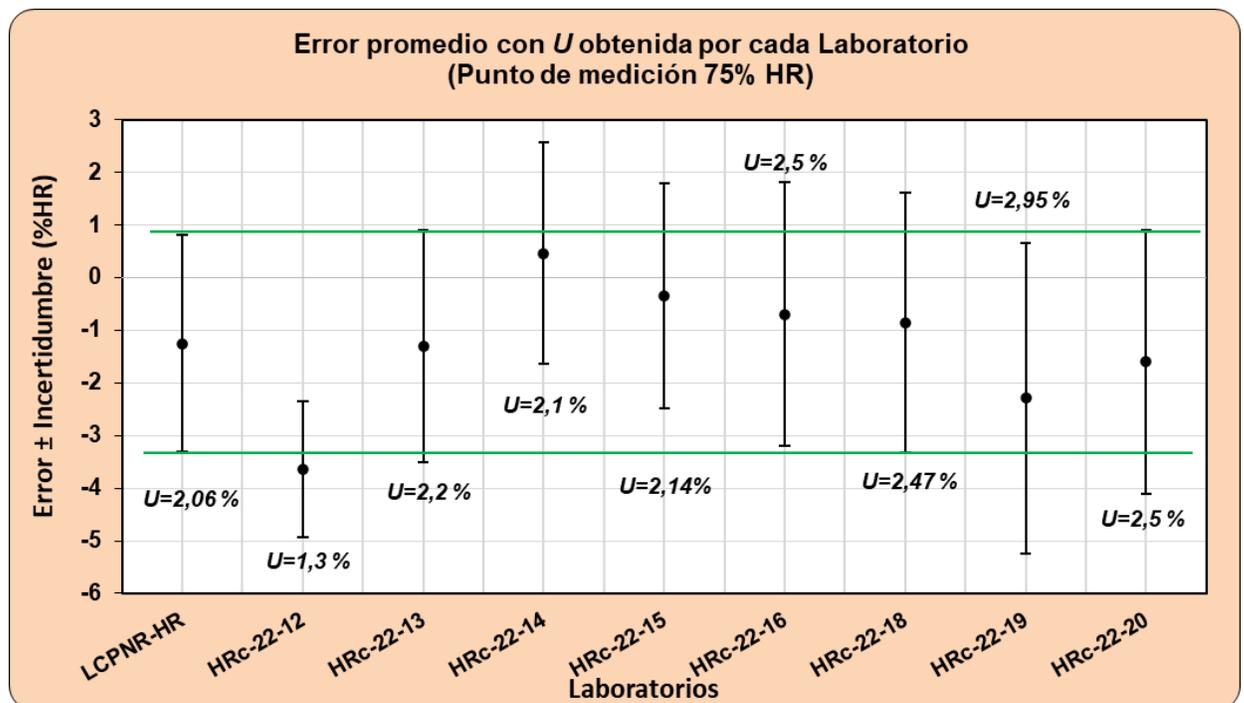


Gráfico 9. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (75 %HR).

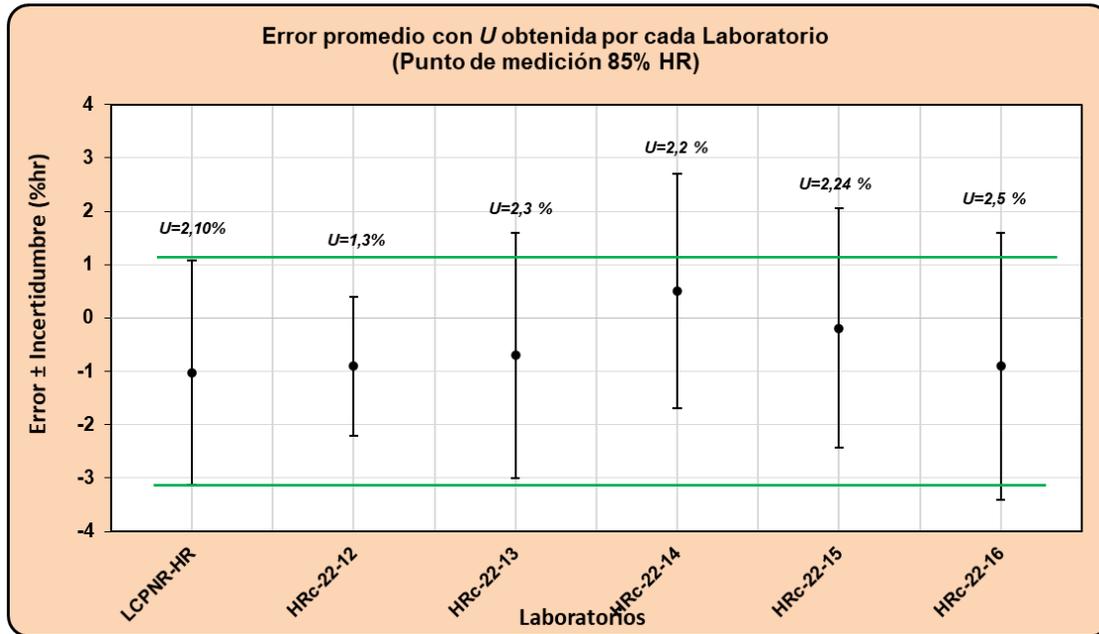


Gráfico 10. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (85 %HR).

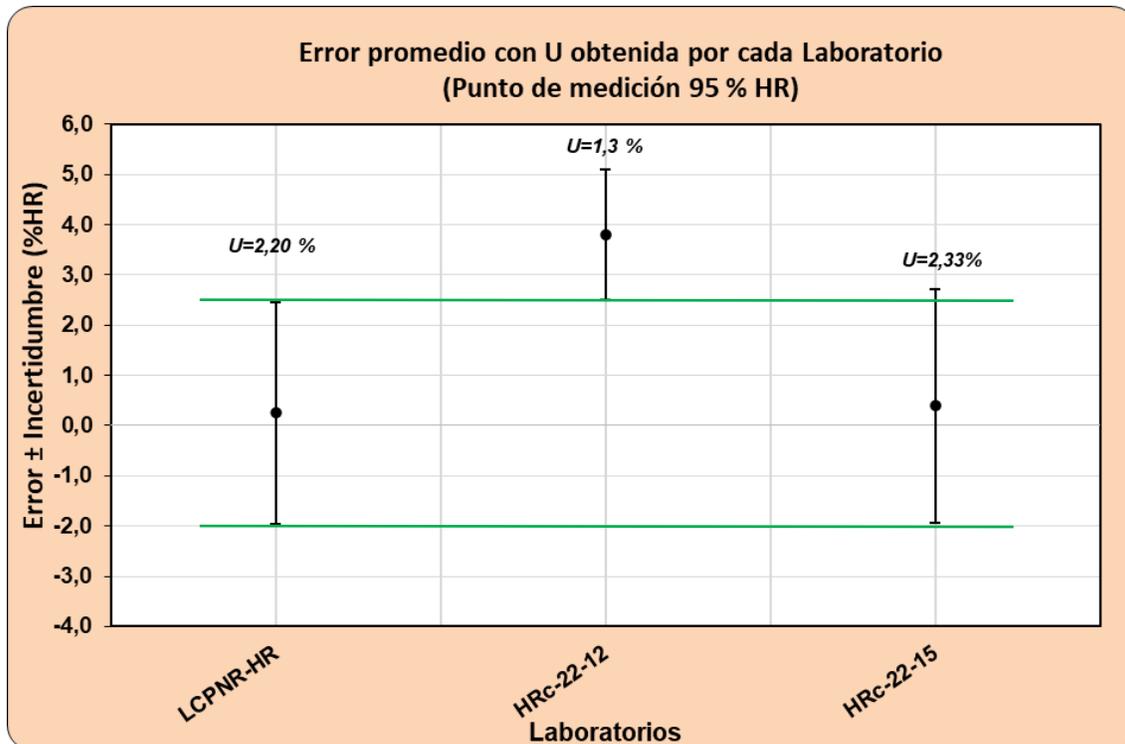


Gráfico 11. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (95 %HR).

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 (%HR)	Error Promedio LCPNR-HR	Datos Error Promedio Laboratorios (% HR)								
		HRc-22-12	HRc-22-13	HRc-22-14	HRc-22-15	HRc-22-16	HRc-22-17	HRc-22-18	HRc-22-19	HRc-22-20
15,0	-0,70	-0,9	-1,0	---	-0,50	---	-0,7	---	---	---
33,0	-0,80	-1,3	-1,0	-0,41	-0,40	-1,0	-1,0	-0,04	-1,35	-1,8
59,0	-0,88	-3,0	-1,1	-0,47	-0,31	-0,9	-1,4	-0,53	-2,46	-1,1
75,0	-1,25	-3,6	-1,3	0,46	-0,35	-0,7	---	-0,85	-2,29	-1,6
85,0	-1,03	-0,9	-0,7	0,50	-0,19	-0,9	---	---	---	---
95,0	0,25	3,8	---	---	0,39	---	---	---	---	---

Tabla 7. Error promedio de los laboratorios participantes.

Incertidumbre de los participantes

%HR	LCPNR-HR (U _{ref})	Datos Incertidumbre Promedio Laboratorios								
		HRc-22-12	HRc-22-13	HRc-22-14	HRc-22-15	HRc-22-16	HRc-22-17	HRc-22-18	HRc-22-19	HRc-22-20
15,0	1,91	1,3	1,8	---	2,03	---	1,2	---	---	---
33,0	1,91	1,3	1,8	1,8	2,03	1,1	1,0	1,56	2,17	2,5
59,0	1,98	1,3	2,1	2,0	2,03	2,1	3,7	2,32	2,37	2,5
75,0	2,06	1,3	2,2	2,1	2,14	2,5	---	2,47	2,95	2,5
85,0	2,10	1,3	2,3	2,2	2,24	2,5	---	---	---	---
95,0	2,20	1,3	---	---	2,33	---	---	---	---	---

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

Cálculo de Error Normalizado

Valor Nominal (%HR)	Calculo de Error Normalizado por Laboratorio.								
	HRc-22-12	HRc-22-13	HRc-22-14	HRc-22-15	HRc-22-16	HRc-22-17	HRc-22-18	HRc-22-19	HRc-22-20
15,0	0,08	0,11	---	0,07	---	0,00	---	---	---
33,0	0,22	0,08	0,15	0,14	0,09	0,09	0,31	0,25	0,32
59,0	0,89	0,08	0,14	0,20	0,01	0,13	0,11	0,67	0,07
75,0	0,98	0,02	0,58	0,30	0,17	---	0,12	0,35	0,11
85,0	0,06	0,10	0,50	0,27	0,04	---	---	---	---
95,0	1,39	---	---	0,04	---	---	---	---	---

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.

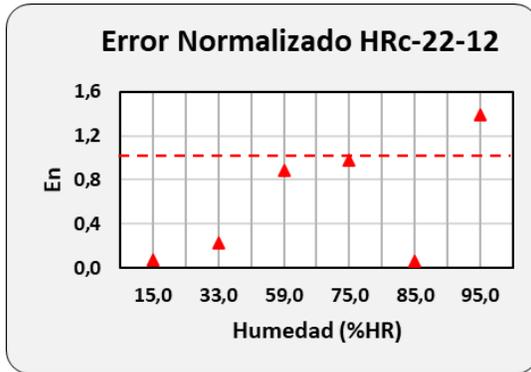


Gráfico (a)

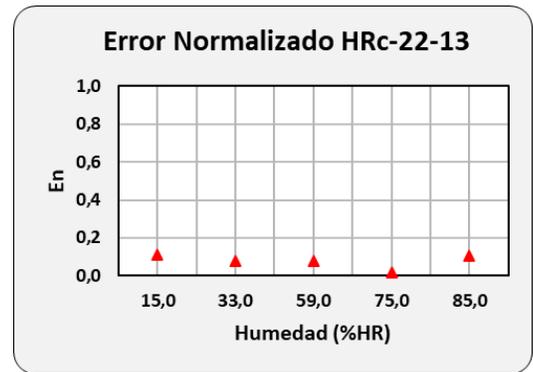


Gráfico (b)

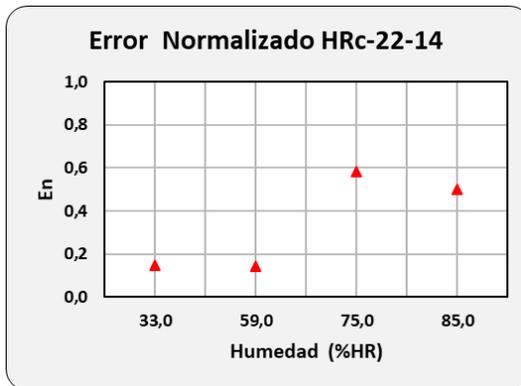


Gráfico (c)

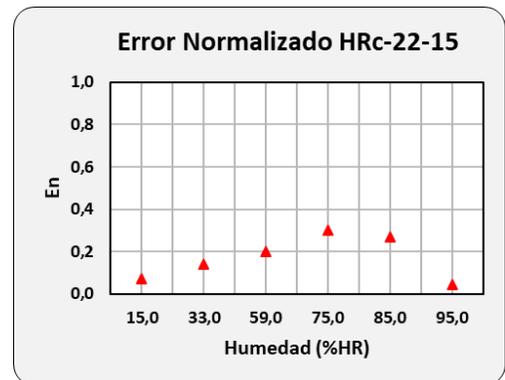


Gráfico (d)

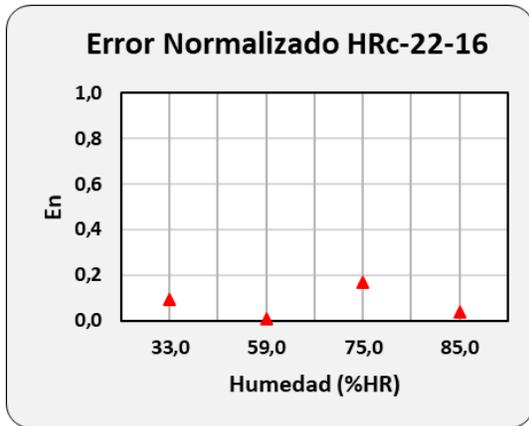


Gráfico (e)

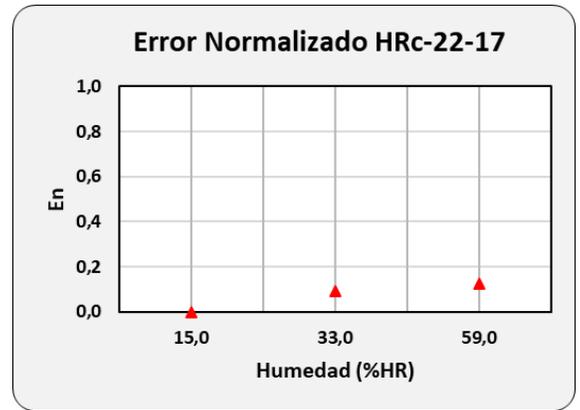


Gráfico (f)

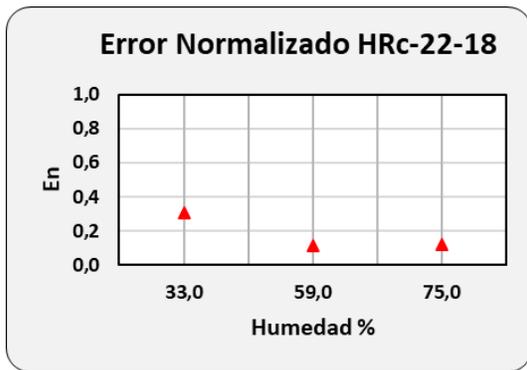


Gráfico (g)

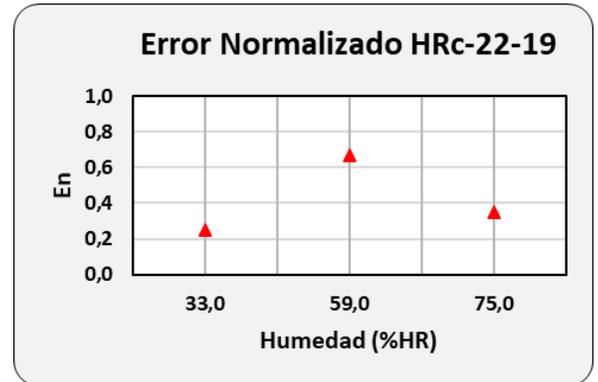


Gráfico (h)

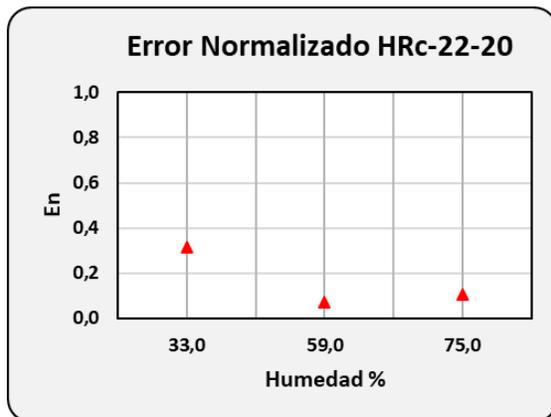


Gráfico (g)

(Cuadro intencionalmente en blanco)

Gráfico (h)

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.

$$U_{EXP} = k \sqrt{u^2[HR_p] + u^2[\%HR_{IBC}] + u^2[\delta(\%HR)_{hist}] + u^2[\delta(\%HR)_{instb}] + u^2[\delta(\%HR)_{incho}] + u^2[\delta(\%HR)_p]_{der}} \quad (6)$$

#	LABORATORIO PARTICIPANTE	Error	[HR _p]	δ(%HR _p) _{der}	[% HR _{IBC}]		δ(%HR) _{hist}	δ(%HR) _{instb}	δ(%HR) _{incho}	U _{exp} [%HR]	MCM %HR
					REP	URES					
1	HRc-22-12	*	ok	*	ok	ok	*	*	*	(1,3)	1,5
2	HRc-22-13	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	(1,8 a 2,3)	2,0-2,5-3,0
3	HRc-22-14	ok	ok	*	ok	ok	ok	ok	ok	(1,8 a 2,2)	1,5
4	HRc-22-15	ok	ok	ok	ok	ok	ok	*	*	(2,03 a 2,33)	2,5
5	HRc-22-16	*	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	(1,1 a 2,5)	3,6
6	HRc-22-17	ok	ok	*	ok	ok	ok	ok	ok	(1,0 a 3,7)	4,0
7	HRc-22-18	*	ok	*	ok	ok	ok	*	*	(1,56 a 2,47)	5,0
8	HRc-22-19	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	(2,17 a 2,95)	1,0
9	HRc-22-20	*	*	*	ok	ok	ok	*	*	(2,5)	3,5

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, también que son variables con observaciones a mejorar.

Participante HRc-22-12

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

Temperatura del vapor de agua en la cámara (°C)	Valor de referencia Humedad relativa (%HR)	Humedad relativa de Instrumento bajo calibración (%HR)	Error en la Medición (%)	Incertidumbre de la medición (k=2) (%)
23,20	14,68	13,8	-0,9	1,3
23,23	32,92	31,6	-1,3	1,3
23,21	60,88	57,9	-3,0	1,3
23,21	77,44	73,8	-3,6	1,3
23,23	85,27	84,4	-0,9	1,3
23,23	95,90	99,7	3,8	1,3

- Presenta inconsistencia en el valor reportado de inestabilidad de su cámara de sales con lo reportado en la Planilla de respaldo de resultados, en formato Excel, de acuerdo a lo siguiente:

MEDIO TÉRMICO					
Rango		Gradiente		Estabilidad	
%hr	°C	%hr	°C	%hr	°C
10 A 95	-5 A 65	0,5	0,09	0,33	0,07

15 %HR @ 50%HR	$u [HR_p]$	$u [\delta(\%HR)_{rep}]$	$u_{resolucion}$	$u [\delta(\%HR)_{hist}]$	$u [\delta(\%HR)_{instb}]$	$u [\delta(\%HR)_{inbo}]$
Valor	0,46	0,030	0,1	0,300	0,120	0,330

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

PROTOCOLO DE CALIBRACION					
Set Point	15 %HR @ 23 °C			Observaciones	
CONDICIONES AMBIENTALES					
T° Inicial	24,0	%HR Inicial	42,5		
T° Final	23,9	%HR Final	42,9		
Lectura Nº	Hora	LECTURA DEL PATRON		LECTURA DEL IBC	
		Standard reading		IBC reading	
		t (°C)	% HR	t (°C)	% HR
1	13:05	23,21	14,72	23,3	14,0
2	13:05	23,20	14,70	23,3	13,8
3	14:48	23,20	14,65	23,3	13,7
4	14:49	23,21	14,69	23,3	13,8
5	14:50	23,20	14,68	23,3	13,7
6	14:51	23,22	14,65	23,3	13,7
7	14:52	23,19	14,71	23,3	13,7
8	14:53	23,20	14,65	23,3	13,8
9	14:54	23,19	14,70	23,3	13,7
10	14:55	23,17	14,68	23,3	13,8
Promedio		23,20	14,68		
Valor de Corrección					
Promedio Corregido		23,20	14,68		

PROTOCOLO DE CALIBRACION					
Set Point					Observaciones
CONDICIONES AMBIENTALES					HISTERESIS
T° Inicial			%HR Inicial		
T° Final			%HR Final		
Lectura Nº	Hora	LECTURA DEL PATRON Standard reading		LECTURA DEL IBC IBC reading	
		t (°C)	% HR	t (°C)	% HR
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
Promedio					
Valor de Corrección					
Promedio Corregido					

Informado en Planilla de respaldo Excel:

<i>15 %HR @ 50%HR</i>	$u [\delta(\%HR)_{hist}]$
Valor	0,300
Divisor	3,464101615
Valor/Divisor	0,08660254
Resultado ²	0,00750

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

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

<i>15 %HR @ 50%HR</i>	$u [\delta(\%HR)_p]_{der}]$
Valor	1,000
Divisor	1,732
Valor/Divisor	0,577
Resultado ²	0,3333

- Presenta error de cálculo en el valor de su incertidumbre de medición de acuerdo a lo reportado en la planilla de respaldo de resultados:

	<i>u [%HR_{IBC}]</i>							
<i>15 %HR @ 50%HR</i>	<i>u [HR_p]</i>	<i>u [δ(%HR)_{rep}]</i>	<i>u_{resolución}</i>	<i>u [δ(%HR)_{hist}]</i>	<i>u [δ(%HR)_{instb}]</i>	<i>u [δ(%HR)_{inho}]</i>	<i>u [δ(%HR_p)_{der}]</i>	
Valor	0,46	0,030	0,1	0,300	0,120	0,330	1,000	
Divisor	2	1	3,464101615	3,464101615	1,732	1,732	1,732	
Valor/Divisor	0,23	0,03	0,028867513	0,08660254	0,069	0,191	0,577	
Resultado ²	0,05290	0,00090	0,00083	0,00750	0,004800	0,036300	0,3333	
						Suma.Resultados ²	0,437	
						u[(HR)(k=1)]	Raiz(Suma.Resultados ²)	0,661
						U[(HR)(k=2)]	2(Raiz(Suma.Resultados ²))	1,32

Reasignando los valores de componentes de incertidumbre de acuerdo a lo reportado por el laboratorio participante se obtiene el siguiente valor de incertidumbre de medición (Ejemplo 15 %HR):

	<i>u [%HR_{IBC}]</i>							
<i>15 %HR @ 50%HR</i>	<i>u [HR_p]</i>	<i>u [δ(%HR)_{rep}]</i>	<i>u_{resolución}</i>	<i>u [δ(%HR)_{hist}]</i>	<i>u [δ(%HR)_{instb}]</i>	<i>u [δ(%HR)_{inho}]</i>	<i>u [δ(%HR_p)_{der}]</i>	
Valor	0,46	0,030	0,1	0,300	0,330	0,500	1,000	
Divisor	2	1	3,464101615	3,464101615	1,732	1,732	1,732	
Valor/Divisor	0,23	0,03	0,028867513	0,08660254	0,191	0,289	0,577	
Resultado ²	0,05290	0,00090	0,00083	0,00750	0,036300	0,083333	0,3333	
						Suma.Resultados ²	0,515	
						u[(HR)(k=1)]	Raiz(Suma.Resultados ²)	0,718
						U[(HR)(k=2)]	2(Raiz(Suma.Resultados ²))	1,44

Participante HRc-22-13

- Sin Observaciones.

Participante HRc-22-14

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

PATRONES UTILIZADOS EN EL MEDIO TÉRMICO							
	Patron	Fabricante	Modelo	Alcance	Resolución	Incertidumbre Expandida	Fecha de Calibración
Humedad /Temperatura	Termohigrómetro			(0 a 50) °C (10 a 95) % HR	0,01 °C 0,01 %HR	0,11 °C 0,9 % HR	27-07-2020

33 %HR @ 50%HR	$u [\delta(\%HR_p)_{der}]$
Valor	1,225
Divisor	1,732
Valor/Divisor	0,707
Resultado ²	0,5002

- Se deben tomar los valores de medición del instrumento bajo calibración (IBC) en el protocolo de acuerdo a la resolución del instrumento.

PROTOCOLO DE CALIBRACION					
Set Point	33 %HR @ 23 °C				Observaciones
CONDICIONES AMBIENTALES					HISTERESIS
T° Inicial	20,2	%HR Inicial	59,3		
T° Final	20,3	% HR Final	60,2		
Lectura Nº	Hora	LECTURA DEL PATRON Standard reading		LECTURA DEL IBC IBC reading	
		t (°C)	% HR	t (°C)	% HR
1	14:16	23,28	37,68	23,49	33,8
2	14:17	23,22	37,2	23,47	33,15
3	14:18	23,22	35,8	23,44	31,69
4	14:19	23,2	37,72	23,44	33,49
5	14:20	23,28	37,71	23,42	33,63
6	14:21	23,2	38,2	23,39	34,22
7	14:22	23,21	35,76	23,36	31,81
8	14:23	23,21	37,07	23,34	32,78
9	14:24	23,26	37,33	23,33	33,21
10	14:25	23,26	38,68	23,3	33,53
Promedio		23,234	37,315		
Valor de Corrección		-0,25	-2,00		
Promedio Corregido		22,98	35,32		

El patrón viajero tiene resolución de 0,1%.

Participante HRc-22-15

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

Temperatura del Vapor de agua en la cámara Temperature of the humidity air stream in °C	Valor de referencia Humedad relativa Relative humidity reference value in %	Humedad relativa equipo bajo calibración Relative humidity calibration object in %	Error de la medición Measurement error in %	Incertidumbre de la medición (k=2) Measuring uncertainty (k=2) in %
23,00	15,00	14,50	-0,50	2,03
23,00	32,99	32,59	-0,40	2,03
23,00	59,00	58,69	-0,31	2,03
23,00	75,00	74,65	-0,35	2,14
23,00	85,00	84,81	-0,19	2,24
23,00	95,00	95,39	0,39	2,33

En este caso la resolución del IBC es de 0,1 %HR.

- Presenta el mismo valor de contribución por incertidumbre por inhomogeneidad y por inestabilidad en todos los puntos de calibración (1,15 %HR y 1,2%HR). Se recomienda mejorar esta evaluación en orden al estudio de la cámara generadora de humedad utilizada en las calibraciones.

Participante HRc-22-16

- Presenta error en el cálculo de desviación en el siguiente punto de calibración: Informado: -0,7 %HR. Debe ser: -0,6 %HR. (punto de calibración 75 %HR).

Participante HRc-22-17

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

PATRONES UTILIZADOS EN EL MEDIO TÉRMICO							
	Patron	Fabricante	Modelo	Alcance	Resolución	Incertidumbre Expandida	Fecha de Calibración
Humedad /Temperatura	Termohigrómetro patrón			-20 a 70 °C 0 a 100 %HR	0,1 °C 0,1 %HR	Max. 0,3 °C Max. 0,8 %HR	

15 %HR @ 50%HR	$u [\delta(\%HR_p)_{der}]$
Valor	0,70
Divisor	1,732
Valor/Divisor	0,404
Resultado ²	0,1633

- Presenta una deriva de su patrón de un 3,10% en el punto de calibración 59%HR. Esto aumenta la incertidumbre expandida en ese punto de un 3,72%HR de acuerdo a su planilla de respaldo de valores en Excel:

	<i>u [%HR_{IBC}]</i>						
<i>59 %HR @ 50%HR</i>	<i>u [HR_p]</i>	<i>u [δ(%HR)_{rep}]</i>	<i>u_{resolución}</i>	<i>u [δ(%HR)_{hist}]</i>	<i>u [δ(%HR)_{instb}]</i>	<i>u [δ(%HR)_{inho}]</i>	<i>u [δ(%HR_p)_{der}]</i>
Valor	0,700	0,01633	0,1	0,170	0,10	0,60	3,10
Divisor	2,0	1,0	3,464	3,464	1,732	1,732	1,732
Valor/Divisor	0,35000	0,01633	0,02887	0,04907	0,0577	0,3464	1,78979
Resultado ²	0,12250	0,00027	0,00083	0,00241	0,00333	0,12000	3,20333
						Suma.Resultados ²	3,453
						u[(HR)(k=1)]	Raiz(Suma.Resultados ²)
						U[(HR)(k=2)]	2(Raiz(Suma.Resultados ²))
							3,72

- Se sugiere revisar este valor el cual afecta de forma significativa el valor de incertidumbre final.

Participante HRc-22-18

- Presenta error en el cálculo de desviación en el reporte final en archivo Excel de acuerdo a lo siguiente:

Temperatura del Vapor de agua en la cámara <i>Temperature of the humidity air stream</i> in °C	Valor de referencia Humedad relativa <i>Relative humidity reference value</i> in %	Humedad relativa equipo bajo calibración <i>Relative humidity calibration object</i> in %	Error de la medición <i>Measurement error</i> in %	Incertidumbre de la medición (k=2) <i>Measuring uncertainty (k=2)</i> in %
24,2	32,36	32,4	-0,04	1,56
24,5	59,85	60,4	-0,53	2,32
24,5	76,45	77,3	-0,85	2,47

Se reporta corrección del valor medido en vez del error de medición.



LCPNR-HR ENSAYO DE APTITUD H-22
(10 %HR a 95 %HR) / (10 °C a 45 °C)



9.1. Modelo para determinación del Error E_{lab} en humedad relativa

$$E_{lab} = [HR_{IBC} - (HR_p)] + [\delta(HR)_{rep} + \delta(HR)_{res} + \delta(HR)_{hist} + \delta(HR)_{instb} + \delta(HR)_{inho} + \delta(HR)_{der}]$$

Donde:

E_{lab} : es el valor de error resultante a la lectura del IBC (en % de humedad relativa);

- Presenta una deriva de su patrón de 0,0% en los puntos de calibración de 33%HR ,59%HR y 75%HR.
Se recomienda evaluar este componente de incertidumbre.

	u [%HR_{IBC}]						
33 %HR @ 50%HR	u [HR_p]	u [δ(%HR)_{rep}]	u_{resolución}	u [δ(%HR)_{hist}]	u [δ(%HR)_{instb}]	u [δ(%HR)_{inho}]	u [δ(%HR_p)_{der}]
Valor	0,500	0,08028	0,1	0,53000	1,010	0,730	0,000
Divisor	2,0	1,000	3,464	3,464	1,732	1,732	1,732
Valor/Divisor	0,25	0,080	0,029	0,153	0,583	0,421	0,000
Resultado ²	0,06	0,006	0,000833	0,0234	0,34	0,18	0,00
						Suma.Resultados ²	0,611
						u[(HR)(k=1)] Raiz(Suma.Resultados ²)	0,782
						U[(HR)(k=2)] 2(Raiz(Suma.Resultados ²))	1,56

- Presenta un valor diferente de contribución por gradiente y por estabilidad de su cámara generadora de humedad de acuerdo a su planilla de respaldo de resultados.
Se sugiere revisar estos valores.

MEDIO TÉRMICO										
Equipo	Fabricante	Modelo	Rango		Gradiente		Estabilidad		Fecha de la Evaluación	Otras Observaciones
			%hr	°C	%hr	°C	%hr	°C		
Cámara climática			10 a 90	5 a 70	30% HR = 0,292 59% HR = 0,618 75% HR = 0,572 85% HR = 0,826	5°C = 0,292 10°C = 0,220 30°C = 0,342 50°C = 0,410 70°C = 0,805	30% HR = 0,583 59% HR = 0,892 75% HR = 0,971 85% HR = 0,938	5°C = 0,292 10°C = 0,220 30°C = 0,342 50°C = 0,410 70°C = 0,805		

	u [%HR_{IBC}]						
33 %HR @ 50%HR	u [HR_p]	u [δ(%HR)_{rep}]	u_{resolución}	u [δ(%HR)_{hist}]	u [δ(%HR)_{instb}]	u [δ(%HR)_{inho}]	u [δ(%HR_p)_{der}]
Valor	0,500	0,08028	0,1	0,53000	1,010	0,730	0,000
Divisor	2,0	1,000	3,464	3,464	1,732	1,732	1,732
Valor/Divisor	0,25	0,080	0,029	0,153	0,583	0,421	0,000
Resultado ²	0,06	0,006	0,000833	0,0234	0,34	0,18	0,00

Participante HRc-22-19

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

Valor de referencia Humedad relativa Relative humidity reference value in %	Humedad relativa equipo bajo calibración Relative humidity calibration object in %	Error de la medición Measurement error in %	Incertidumbre de la medición (k=2) Measuring uncertainty (k=2) in %
33,10	31,75	-1,35	2,17
59,52	57,06	-2,46	2,37
75,57	73,28	-2,29	2,95

Participante HRc-22-20

- Presenta error en el cálculo de desviación en el siguiente punto de calibración: Informado: -1,6 %HR. Debe ser: -1,5 %HR. (punto de calibración 75 %HR).
- Presenta el mismo valor de contribución por incertidumbre de su patrón en todos los puntos de calibración (1,08 %HR). Se recomienda mejorar esta evaluación para el cálculo de su incertidumbre final en la planilla de respaldo de resultados.
- Se sugiere revisar el valor de deriva de su patrón por representar un aporte importante dentro del presupuesto de incertidumbre de acuerdo a lo siguiente:

PATRONES UTILIZADOS EN EL MEDIO TÉRMICO							
	Patron	Fabricante	Modelo	Alcance	Resolución	Incertidumbre Expandida	Fecha de Calibración
Humedad /Temperatura	<input type="text"/>			-70 a 180 °C / 0 a 100 %HR	0,01 °C / 0,01 %HR	0,8 °C / 1,1 %HR	<input type="text"/>

33 %HR @ 50%HR	$u [\delta(\%HR_P)_{der}]$
Valor	0,900
Divisor	1,732
Valor/Divisor	0,520
Resultado ²	0,2700

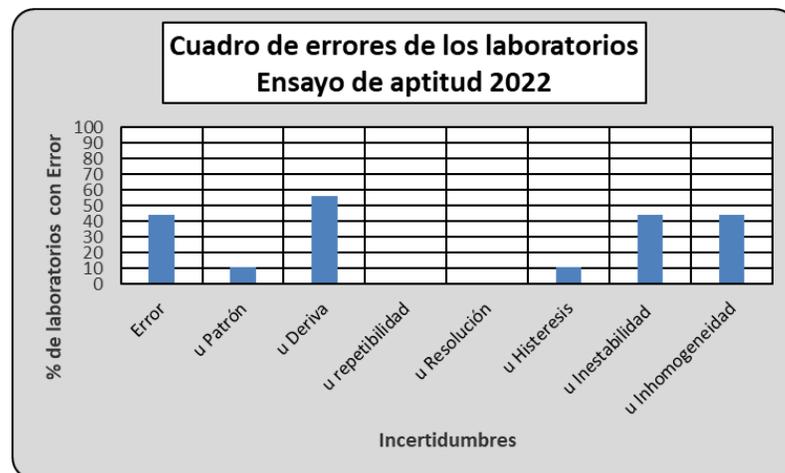
- Presenta el mismo valor de contribución por incertidumbre por inhomogeneidad y por inestabilidad en todos los puntos de calibración (1,75 %HR y 0,15%HR). Se recomienda mejorar esta evaluación en orden al estudio de la cámara generadora de humedad utilizada en las calibraciones.

CONCLUSIONES RONDA Hrc-22

- De los resultados obtenidos por los laboratorios participantes en este ejercicio de acuerdo al criterio de cálculo de Error normalizado “**Ronda Hrc-22**” integrantes de la RNM de Chile, se obtiene el siguiente Resultado:
- Resultado **SATISFACTORIO** en un 88,9 % equivalente a 9 participantes.
- Resultado **INSATISFACTORIO** en un 11,1 % equivalente a 1 participantes.
(Punto de medición 95%HR, Error normalizado: 1,39).

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

Variables	Número de laboratorios con problemas de evaluación	% representado
Error	4	44
Incertidumbre del patrón	1	11
Incertidumbre por deriva	5	56
Incertidumbre por repetibilidad	0	0
Incertidumbre por resolución	0	0
Incertidumbre por histéresis	1	11,1
Incertidumbre por inestabilidad	4	44
Incertidumbre por inhomogeneidad	4	44



AGRADECIMIENTOS

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

REFERENCIAS

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