



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

**COMPARACIÓN NACIONAL**

**HRc-23**  
**(Participantes con Cámara Climática)**

**CALIBRACIONES DE UN TERMOHIGRÓMETRO DIGITAL**

**Rango de medición: 15 %HR a 95 %HR.**

**Medio de Generación: Cámara climática.**

**agosto 2023 – noviembre 2023.**

## **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](mailto:marcial.espinoza@enaer.cl) [antonio.monsalve@enaer.cl](mailto:antonio.monsalve@enaer.cl) [manuel.sepulveda@enaer.cl](mailto: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 2023, el cual se llevó a cabo desde agosto de 2023 a noviembre de 2023. 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.

Para la comparación se utilizó como patrón de comparación un Medidor de Humedad y temperatura digital, marca Testo, Modelo: 625, con un alcance de medición entre 0 %HR a 100 %HR., clase de exactitud de  $\pm 2,5$  %HR. (entre 5%HR. y 95 %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 2023 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 2023 son:

Laboratorio	Empresa	Contacto	Información
1	CIDE-USACH	Roberto Figueroa Muñoz	Roberto.figueroa@usach.cl
2	Estudios Ambientales E2A (Nota 1)	Juan Pablo Muñoz Garate	juanpablo.munoz@e2a.cl
3	IDIC	Ricardo Muñoz	Ricardo.munoz@idic.cl
4	LABORATORIO DAVIS	Hernan Ramirez	hramirez@davislab.cl
5	SERVINCAL CHILE SpA.	Humberto Escobar	Humberto.escobar@servincal.cl
6	SMI	Omar Berrios Contreras	temperatura@smilab.cl
7	VETO y Cia. Ltda.	Gino Ferrari	Encargado.sgc@veto.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 (por orden alfabético).

*Nota (1): E2A participó solo en comparación en temperatura ambiental.*

## Fechas para realizar las mediciones.

El equipo circuló de acuerdo con el siguiente cronograma:

<b>Empresa</b>	<b>Fecha de realización de mediciones</b>
<b>LCPNR-HR (ENAER)</b>	<b>07/08/2023 – 11/08/2023</b>
IDIC	14/08/2023 – 18/08/2023
LABORATORIO DAVIS	21/08/2023 – 25/08/2023
SMI	28/08/2023 – 01/09/2023
<b>LCPNR-HR (ENAER)</b>	<b>04/09/2023 – 08/09/2023</b>
SERVINCAL CHILE SPA.	11/09/2023 – 15/09/2023
<i>Receso de mediciones</i>	<i>18/09/2023 – 29/09/2023</i>
CIDE-USACH	02/10/2023 – 06/10/2023
VETO	10/10/2023 – 13/10/2023
E2A	16/10/2023 – 20/10/2023
<b>LCPNR-HR (ENAER) (Nota 2)</b>	<b>23/10/2023 – 30/10/2023</b>

*Nota (2): La fecha real de mediciones del LCPNR-HR fue entre el 03 al 08 de noviembre de 2023.*

Tabla 2. Fechas de realización de la comparación

## Esquema del desarrollo de la Comparación

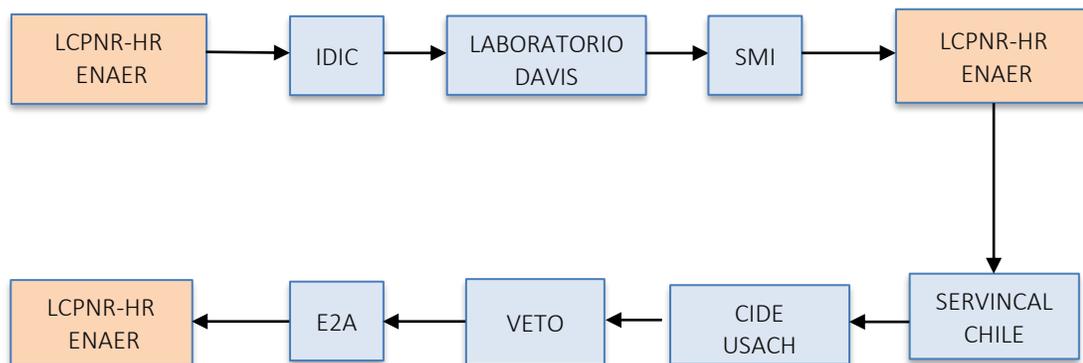


Figura 1. Esquema Ensayo de Aptitud.

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 06 de diciembre de 2023.

El 29 de diciembre de 2023 el LCPNR-HR de ENAER emite un informe que contiene el análisis y conclusiones de la comparación con los resultados obtenidos por los laboratorios participantes y se hace llegar este informe al INN (**INFORME B**).

Posteriormente al proceso de revisión se emite un **INFORME A** para ser enviado a los laboratorios participantes.

### 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
TESTO	625	$\pm 2,5\%RH$ (5 a 95) %HR	(0 a 100) % HR.	0,1 % HR.

Tabla 3. Patrón viajero de comparación.



Figura 2. Patrón viajero usado en la comparación HRc-23 para participantes con cámara climática.

## Puntos de calibración

Para el ensayo de aptitud 2023 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 2023.

Tabla 4. Puntos de comparación ensayo de aptitud.

## 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 %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 5. Características del patrón de referencia utilizado por el laboratorio piloto.

## RESULTADOS

### Comportamiento del patrón de comparación

El patrón viajero fue calibrado por el LCPNR-HR de ENAER en 3 ocasiones según el cronograma descrito en la tabla 2. Para las tres calibraciones realizadas, el mismo procedimiento, 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:

Temp. Cámara (°C)	Calibración inicial agosto 2023				Calibración intermedia septiembre 2023				Calibración Final noviembre 2023			
	RH Patrón	RH (Testo)	E <sub>1</sub>	U <sub>1</sub>	RH Patrón	RH (Testo)	E <sub>2</sub>	U <sub>2</sub>	RH Patrón	RH (Testo)	E <sub>3</sub>	U <sub>3</sub>
23,0	15,0	15,9	0,9	0,5	15,0	16,3	1,3	0,5	15,0	16,2	1,2	0,5
	33,1	33,9	0,8	0,5	33,0	34,1	1,1	0,5	33,0	34,3	1,3	0,5
	59,1	59,2	0,1	0,8	59,1	59,7	0,6	0,7	59,1	59,9	0,8	0,8
	75,1	74,3	-0,8	1,0	75,1	74,9	-0,2	0,9	75,1	74,9	-0,2	1,0
	85,1	83,4	-1,7	1,1	85,1	84,2	-0,9	1,1	85,1	84,0	-1,1	1,1
	95,1	92,6	-2,5	1,2	95,1	93,3	-1,8	1,2	95,1	93,5	-1,6	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 6. 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 03 mediciones realizadas a lo largo de la comparación.

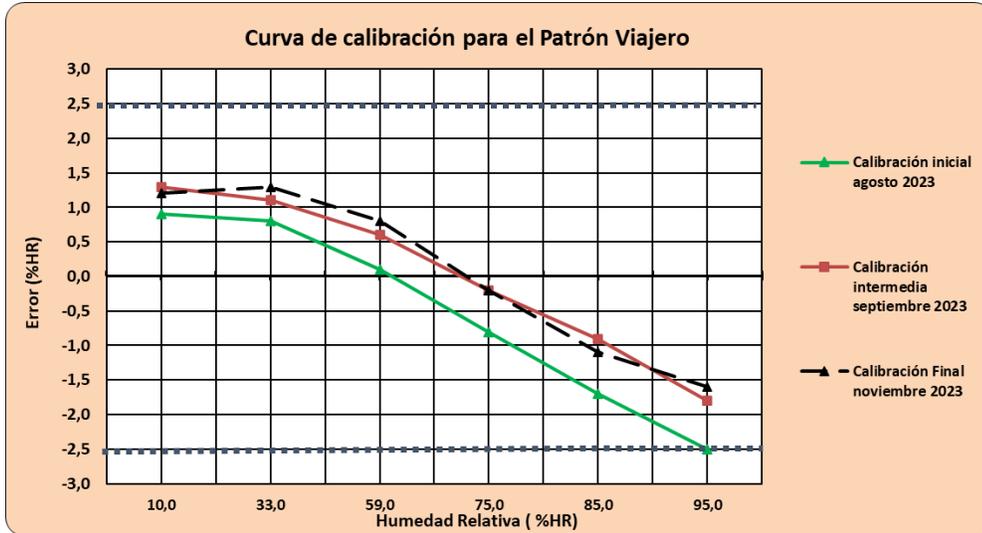


Gráfico 1. Error de medición encontrado para el patrón viajero en las calibraciones realizadas por el LCPNR-HR de ENAER.  
(Las líneas de puntos corresponden a la exactitud del instrumento)

### Error promedio e incertidumbre expandida del Laboratorio Piloto

Con los datos de la tabla N°6 podemos realizar la siguiente gráfica:

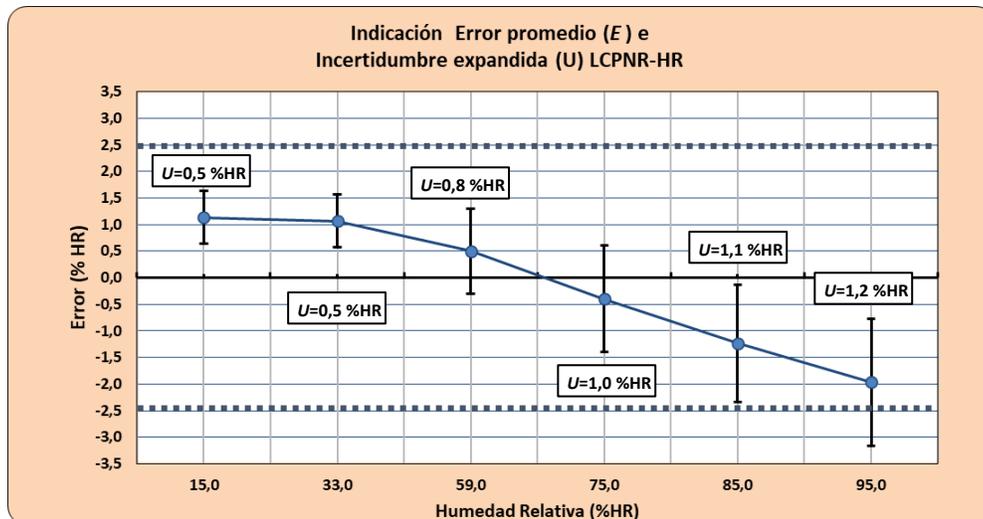


Gráfico 2. Error promedio, E, e incertidumbre expandida, U (k=2, 95%) obtenida por el LCPNR-HR ENAER.  
(Las líneas de puntos corresponden a la exactitud del instrumento)  
(La incertidumbre en este gráfico es la máxima entre las 3 calibraciones).

## 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 (agosto) e intermedia (septiembre) ( $d_{1-2}$ )
- Calibración intermedia (septiembre) y final (noviembre) ( $d_{2-3}$ )

HR Nominal	Patrón Viajero (Testo)					
	$E_1$	$E_2$	$d_{1-2}$	$E_2$	$E_3$	$d_{2-3}$
15,0	0,9	1,3	<b>0,4</b>	1,3	1,2	<b>0,1</b>
33,0	0,8	1,1	<b>0,3</b>	1,1	1,3	<b>0,2</b>
59,0	0,1	0,6	<b>0,5</b>	0,6	0,8	<b>0,2</b>
75,0	-0,8	-0,2	<b>0,6</b>	-0,2	-0,2	<b>0,0</b>
85,0	-1,7	-0,9	<b>0,8</b>	-0,9	-1,1	<b>0,2</b>
95,0	-2,5	-1,8	<b>0,7</b>	-1,8	-1,6	<b>0,2</b>

Nota: E1 = Error encontrado en la calibración inicial (agosto 2023)  
 E2 = Error encontrado en la calibración intermedia (septiembre 2023)  
 E3 = Error encontrado en la calibración final (noviembre 2023)

Tabla 6. Resultados de las derivas entre calibraciones sucesivas.

HR Nominal	Derivas	
	$d_{1-2}$	$d_{1-3}$
15,0	0,4	0,1
33,0	0,3	0,2
59,0	0,5	0,2
75,0	0,6	0,0
85,0	<b>0,8</b>	0,2
95,0	0,7	0,2

<b>Maxima deriva</b>	<b>0,8</b>
----------------------	------------

Se encuentra como deriva máxima de 0,8 % 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 (0,8 %HR) y será evaluada como una distribución rectangular tipo B, de esta forma la contribución por deriva del patrón será:

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

$$u_{\text{deriva}} = (0,8/\sqrt{3}) = 0,461 \text{ \% HR.}$$

### 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)
	$U_1$	$U_2$	$U_3$				
10,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,80	0,462	1,05
33,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,80	0,462	1,05
59,0	0,8	0,7	0,8	0,8	0,80	0,462	1,22
75,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,80	0,462	1,36
85,0	1,1	1,1	1,1	1,1	0,80	0,462	1,44
95,0	1,2	1,2	1,2	1,2	0,80	0,462	1,51

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 0,462%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 agosto y septiembre de 2023, 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.

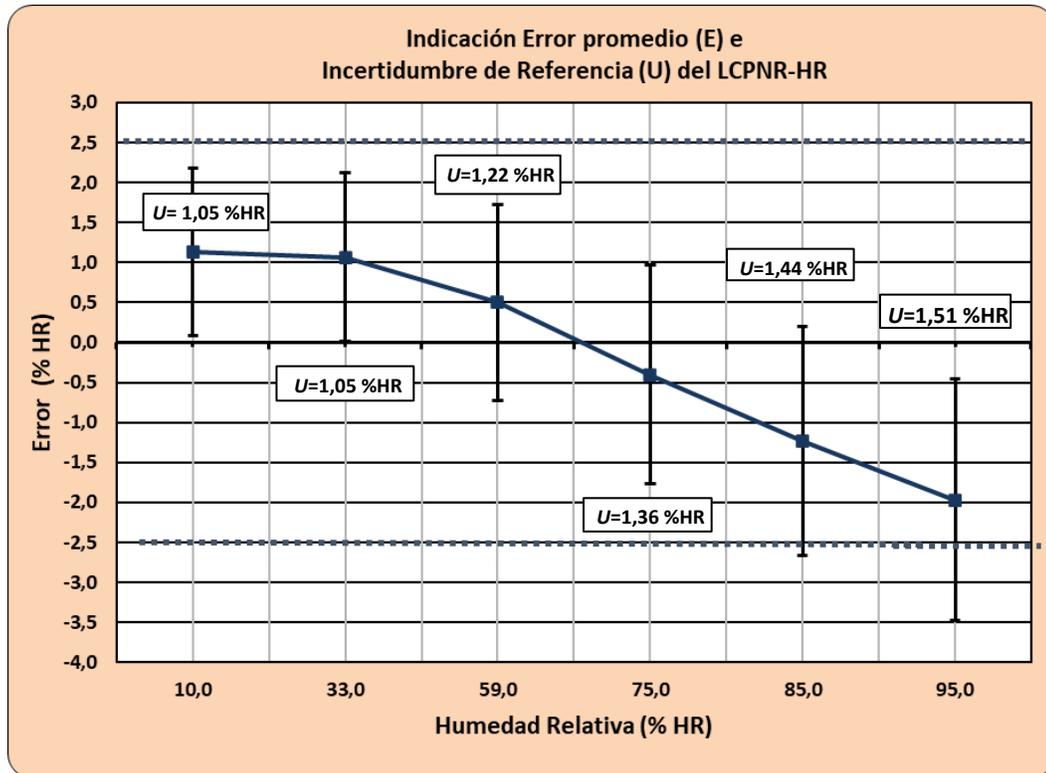


Gráfico 3. Error promedio,  $E$ , e incertidumbre del laboratorio de referencia,  $U$  ( $k=2$ , 95%), con consideración adicional por deriva del patrón viajero. (Las líneas de puntos corresponden a la exactitud del instrumento).

### 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-23-10	HRc-23-11	HRc-23-13	HRc-23-14	HRc-23-15
15,0	1,13	0,6	1,1	-----	0,7	-0,5
33,0	1,07	0,6	1,5	1,14	0,6	0,6
59,0	0,50	-0,5	0,7	0,07	-0,1	0,8
75,0	-0,40	-1,7	0,5	-----	-1,1	-0,7
85,0	-1,23	-2,6	0,4	-2,30	-1,7	-----
95,0	-1,97	-3,4	0,6	-----	-----	-----

Tabla 7. Error promedio de los laboratorios participantes.

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

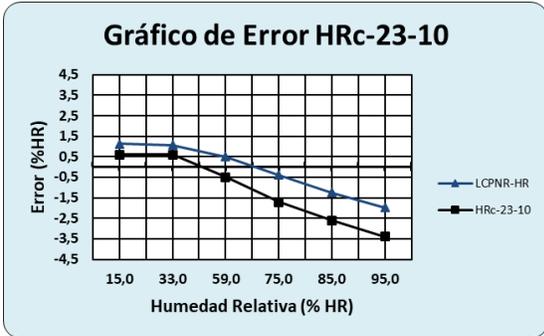


Gráfico (a)

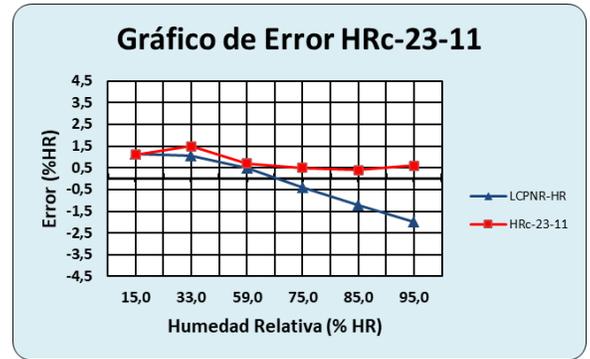


Gráfico (b)

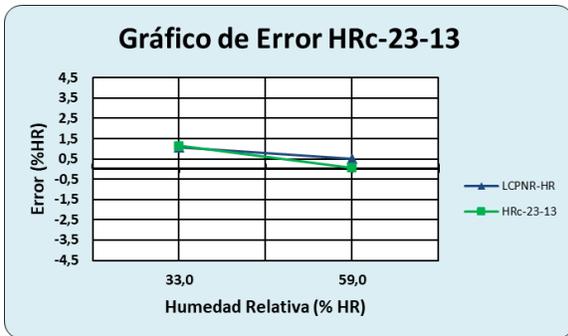


Gráfico (c)

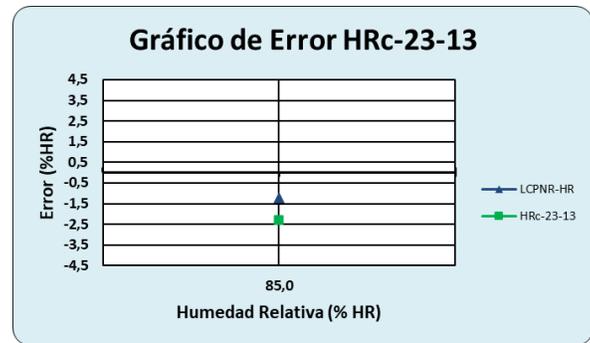


Gráfico (d)

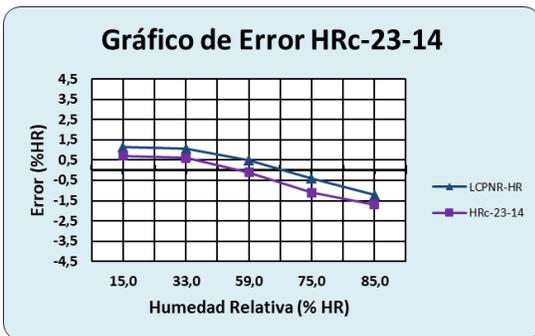


Gráfico (e)

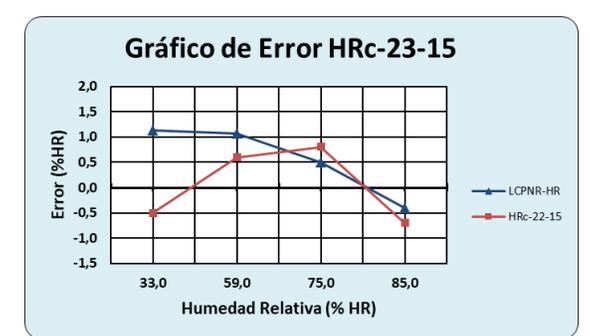
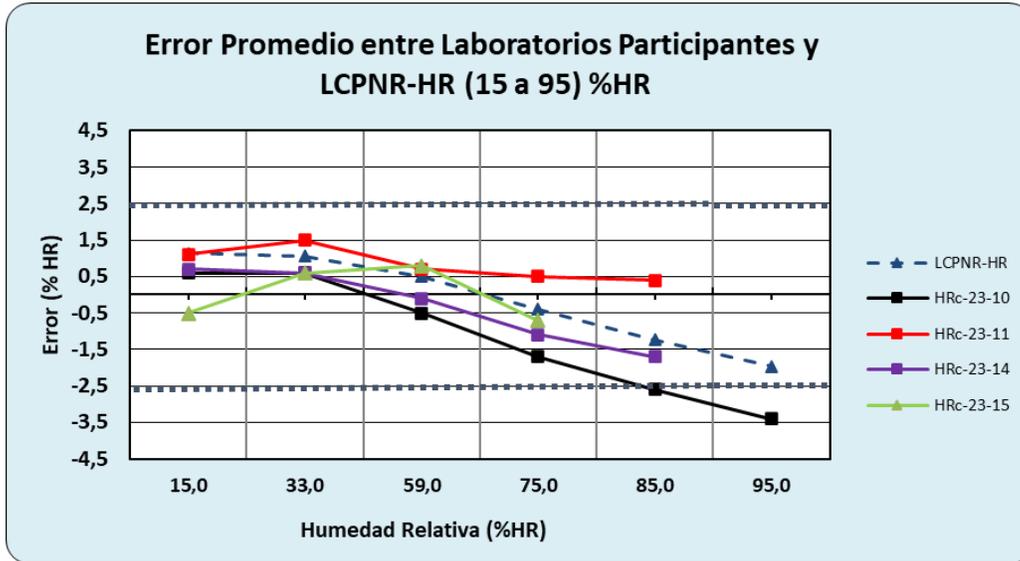


Gráfico (f)

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



Nota: Laboratorio HRc-23-13 analizado en gráfico 4b y 4c.

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

### Incertidumbre de los participantes

Datos Incertidumbre Promedio Laboratorios						
%HR	LCPNR-HR (U_ref)	HRc-23-10	HRc-23-11	HRc-23-13	HRc-23-14	HRc-23-15
15,0	1,05	0,8	2,2	-----	1,9	1,2
33,0	1,05	1,0	2,2	2,49	2,0	1,0
59,0	1,22	1,3	2,3	2,49	2,2	1,6
75,0	1,36	1,5	2,4	-----	2,3	2,3
85,0	1,44	1,7	2,4	2,54	2,3	-----
95,0	1,51	1,9	2,5	-----	-----	-----

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

En los gráficos 6 al 11 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.

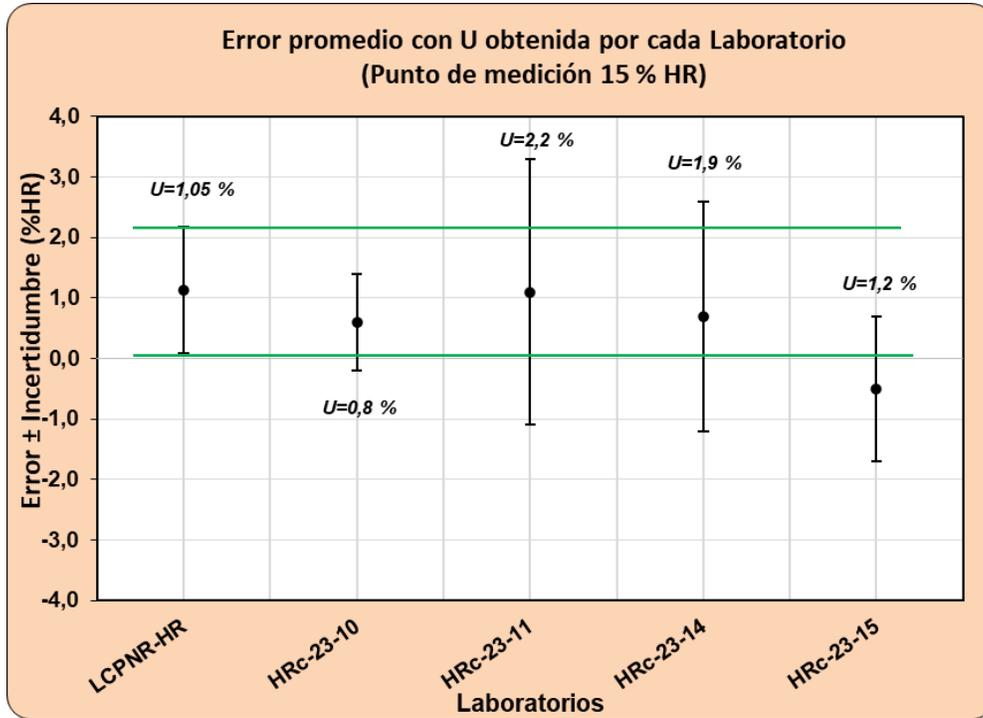


Gráfico 6. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (15 %HR).

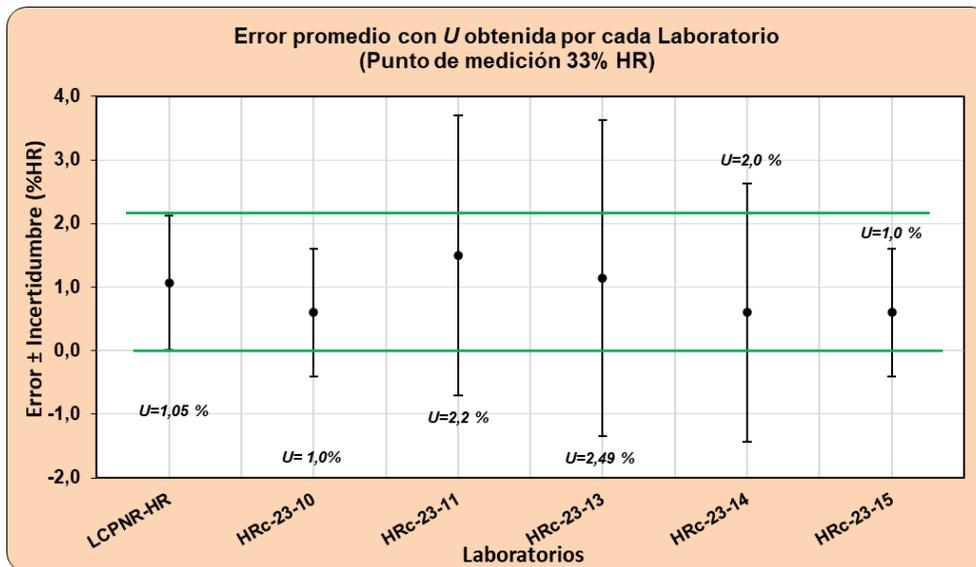


Gráfico 7. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (33 %HR).

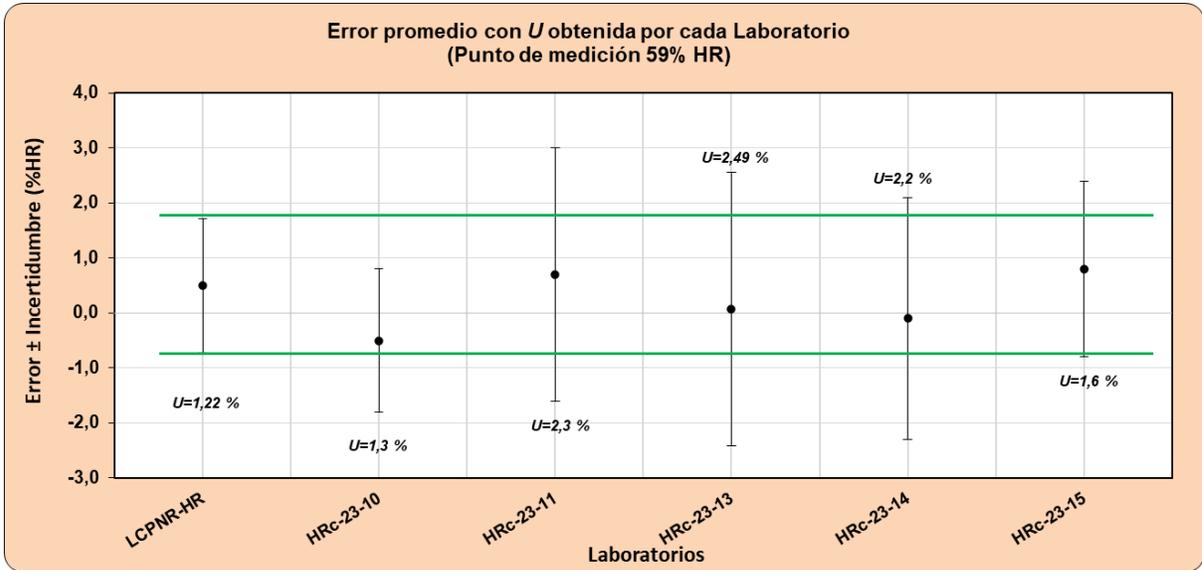


Gráfico 8. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (59 %HR).

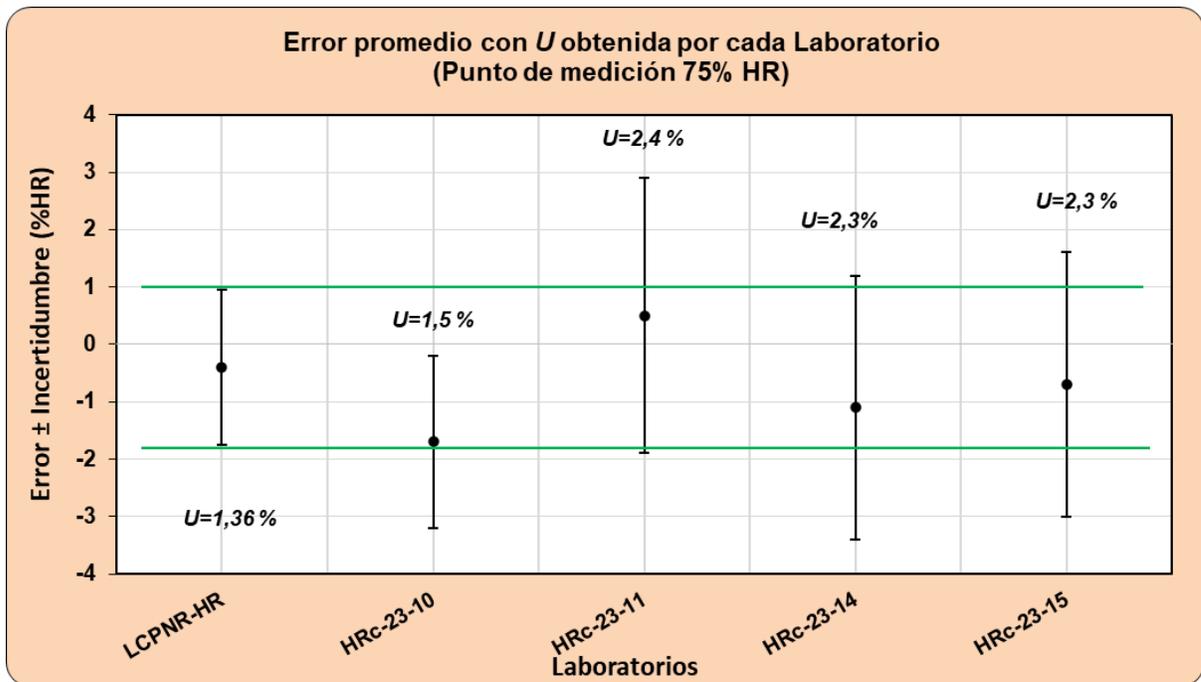


Gráfico 9. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (75 %HR).

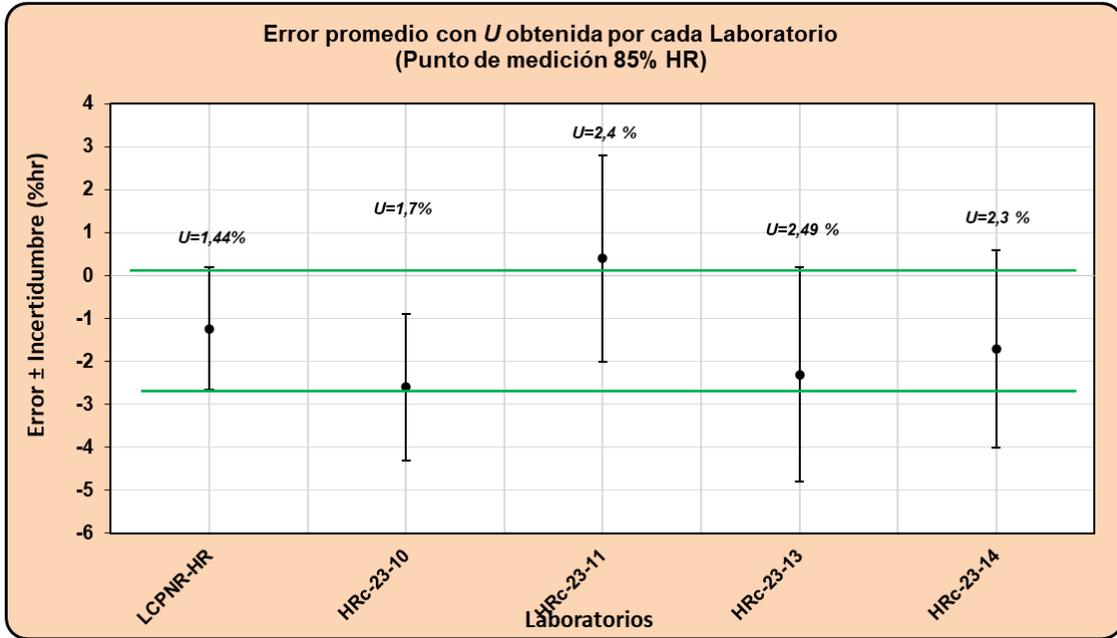


Gráfico 10. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (85 %HR).

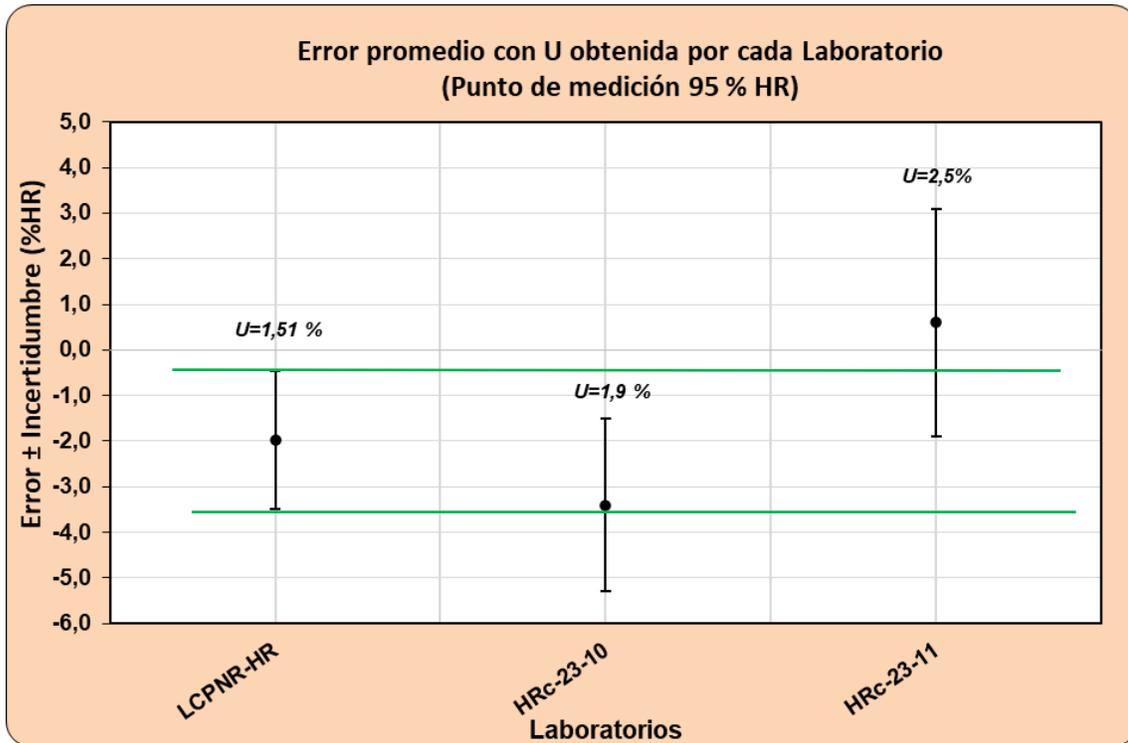


Gráfico 11. Error promedio de laboratorios participantes con incertidumbre expandida (95 %HR).

## 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)	Datos Error Promedio Laboratorios (% HR)					
	Error Promedio LCPNR-HR	HRc-23-10	HRc-23-11	HRc-23-13	HRc-23-14	HRc-23-15
15,0	1,13	0,6	1,1	-----	0,7	-0,5
33,0	1,07	0,6	1,5	1,14	0,6	0,6
59,0	0,50	-0,5	0,7	0,07	-0,1	0,8
75,0	-0,40	-1,7	0,5	-----	-1,1	-0,7
85,0	-1,23	-2,6	0,4	-2,30	-1,7	-----
95,0	-1,97	-3,4	0,6	-----	-----	-----

Tabla 7. Error promedio de los laboratorios participantes.

### Incertidumbre de los participantes

%HR	Datos Incertidumbre Promedio Laboratorios					
	LCPNR-HR (U_ref)	HRc-23-10	HRc-23-11	HRc-23-13	HRc-23-14	HRc-23-15
15,0	1,05	0,8	2,2	-----	1,9	1,2
33,0	1,05	1,0	2,2	2,49	2,0	1,0
59,0	1,22	1,3	2,3	2,49	2,2	1,6
75,0	1,36	1,5	2,4	-----	2,3	2,3
85,0	1,44	1,7	2,4	2,54	2,3	-----
95,0	1,51	1,9	2,5	-----	-----	-----

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-23-10	HRc-23-11	HRc-23-13	HRc-23-14	HRc-23-15
15,0	0,4	0,0	-----	0,2	1,0
33,0	0,3	0,2	0,0	0,2	0,3
59,0	0,6	0,1	0,2	0,2	0,1
75,0	0,6	0,3	-----	0,3	0,1
85,0	0,6	0,6	0,4	0,2	-----
95,0	0,6	0,9	-----	-----	-----

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

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

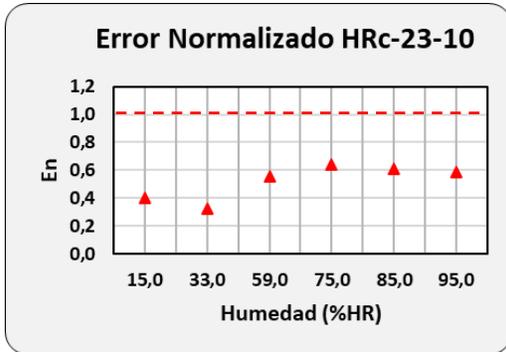


Gráfico (a)

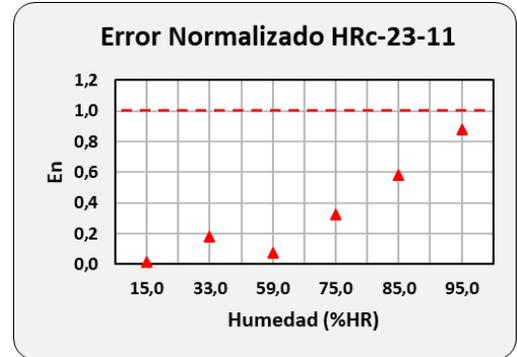


Gráfico (b)

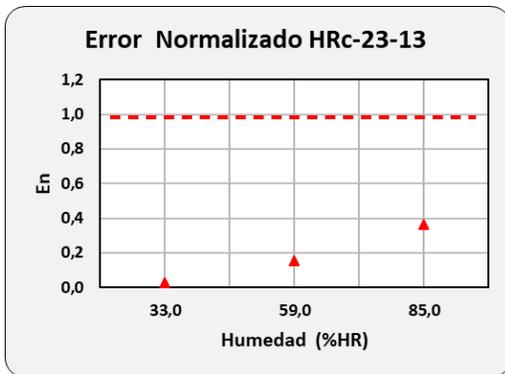


Gráfico (c)

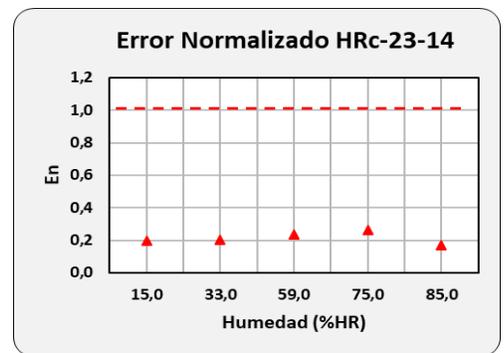


Gráfico (d)

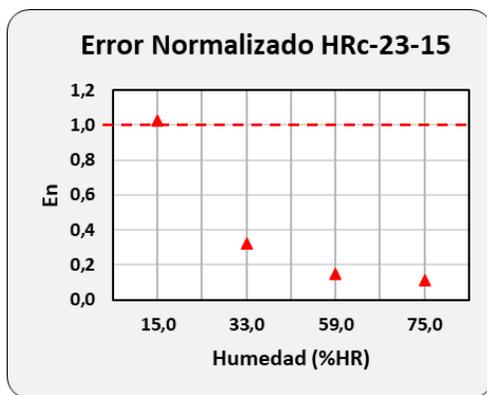


Gráfico (e)

(Cuadro intencionalmente en blanco)

Gráfico (f)

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 HR<sub>C</sub>-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 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 <sub>p</sub> ]	δ(%HR <sub>p</sub> ) <sub>der</sub>	[% HR <sub>IBC</sub> ]		δ(%HR) <sub>hist</sub>	δ(%HR) <sub>instb</sub>	δ(%HR) <sub>incho</sub>	U <sub>exp</sub> [%HR]	MCM %HR
					REP	URES					
1	HRc-23-10	ok	*	*	*	ok	*	*	*	(0,8 a 1,9)	1
2	HRc-23-11	*	ok	*	ok	ok	ok	*	*	(2,2 a 2,5)	2,5
3	HRc-23-13	ok	*	*	ok	ok	ok	*	*	(2,49 a 2,54)	3,5
4	HRc-23-14	ok	ok	ok	ok	ok	*	*	*	(1,9 a 2,3)	≤ 3
5	HRc-23-15	*	*	*	ok	ok	ok	*	*	(1,2 a 2,3)	4,0

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 a mejorar y/o con observaciones.

### Laboratorio HRc-23-10

- El laboratorio no indica un valor de corrección de sus patrones en el protocolo de mediciones.  
Esto sucede para todos los puntos de calibración del ensayo de aptitud.  
Se adjunta protocolo de mediciones de 15%HR como ejemplo.

PROTOCOLO DE CALIBRACION					
Set Point	15 %HR @ 23 °C			Observaciones	
CONDICIONES AMBIENTALES					
T° Inicial	20,2	%HR Inicial	50,5		
T° Final	20,7	% HR Final	47,4		
Lectura Nº	Hora	LECTURA DEL PATRON		LECTURA DEL IBC	
		Standard reading		IBC reading	
		t (°C)	% HR	t (°C)	% HR
1	19:00	22,96	15,75	-	16,4
2	19:01	22,96	15,75	-	16,4
3	19:02	22,96	15,75	-	16,4
4	19:03	22,96	15,75	-	16,4
5	19:04	22,96	15,75	-	16,4
6	19:05	22,96	15,75	-	16,4
7	19:06	22,96	15,75	-	16,4
8	19:07	22,96	15,75	-	16,4
9	19:08	22,96	15,75	-	16,4
10	19:09	22,96	15,75	-	16,4
Promedio		22,96	15,75		
<b>Valor de Corrección</b>		0,00	0,00		
<b>Promedio Corregido</b>		22,96	15,80		

- El laboratorio presenta el mismo valor de contribución de incertidumbre por deriva en todos los puntos de calibración (0,017 %HR). Se recomienda mejorar esta evaluación en orden al estudio del historial de calibraciones de su patrón.

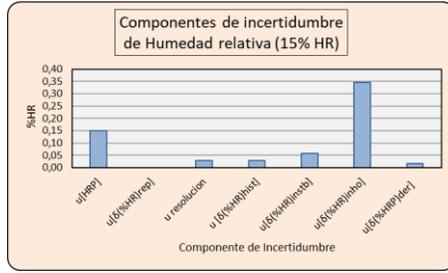
15 %HR @ 50%HR	$u [\delta (\%HR_p)_{der}]$
Valor	0,030
Divisor	1,732
Valor/Divisor	0,017
Resultado <sup>2</sup>	0,0003

- El laboratorio presenta el mismo valor de contribución de incertidumbre por repetibilidad en todos los puntos de calibración (0,00 %HR).

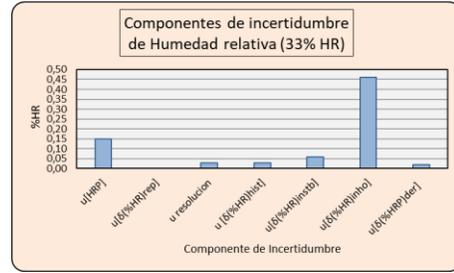
PROTOCOLO DE CALIBRACION					
Set Point	59 %HR @ 23 °C				Observaciones
CONDICIONES AMBIENTALES					
T° Inicial	20,2	%HR Inicial	50,5		
T° Final	20,7	% HR Final	47,4		
Lectura Nº	Hora	LECTURA DEL PATRON Standard reading		LECTURA DEL IBC IBC reading	
		t (°C)	% HR	t (°C)	% HR
1	7:10	22,96	59,80	-	59,3
2	7:11	22,96	59,80	-	59,3
3	7:12	22,96	59,80	-	59,3
4	7:13	22,96	59,80	-	59,3
5	7:14	22,96	59,80	-	59,3
6	7:15	22,96	59,80	-	59,3
7	7:16	22,96	59,80	-	59,3
8	7:17	22,96	59,80	-	59,3
9	7:18	22,96	59,80	-	59,3
10	7:19	22,96	59,80	-	59,3
<b>Promedio</b>		22,96	59,80		
<b>Valor de Corrección</b>		0,00	0,00		
<b>Promedio Corregido</b>		22,96	59,80		

59 %HR @ 50%HR	u [ δ(%HR) <sub>rep</sub> ]
Valor	0,0000
Divisor	1,0
Valor/Divisor	0,000
Resultado <sup>2</sup>	0,0000

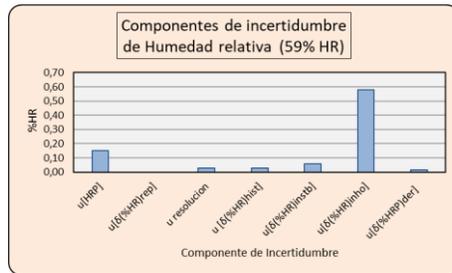
- El laboratorio evalúa la histéresis en 59%HR. Se recomienda mejorar esta evaluación para obtener una representación fiel del comportamiento del instrumento bajo calibración. Se sugiere seguir lo que indica el protocolo de mediciones para esta contribución.
- El laboratorio presenta el mismo valor de contribución por incertidumbre por inestabilidad en todos los puntos de calibración (0,058 %HR). Se recomienda mejorar esta evaluación en orden al estudio de la cámara generadora de humedad utilizada en las calibraciones. Por otra parte, la incertidumbre por inhomogeneidad tiene un valor que va desde 0,346 HR a 0,924 %HR. (La especificación del fabricante de su cámara generadora es mejor que 0,1 %HR). Se recomienda revisar este componente por tener un peso importante en el calculo de incertidumbre final.
- Se adjuntan gráficos como complemento a lo anterior.



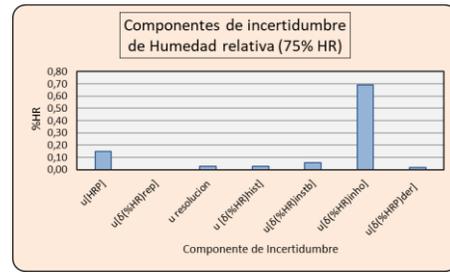
a) Representación en el punto de 15 %HR.



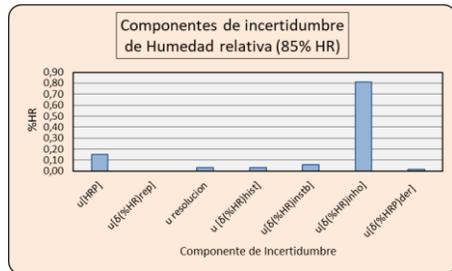
b) Representación en el punto de 33 %HR.



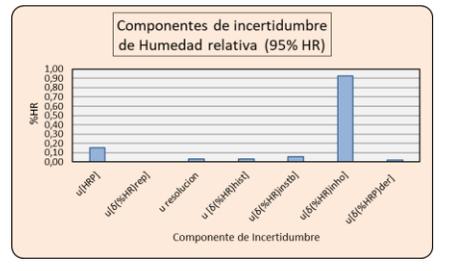
c) Representación en el punto de 59 %HR.



d) Representación en el punto de 75 %HR.



e) Representación en el punto de 85 %HR.

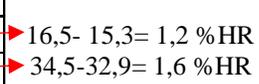


f) Representación en el punto de 95 %HR.

### Laboratorio HRc-23-11

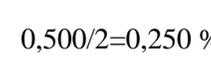
- El laboratorio presenta error en el cálculo de desviación en el reporte final en archivo excel de acuerdo a lo siguiente:

Temperatura del Vapor de agua en la cámara 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 %
23,0	15,3	16,5	1,1	2,2
23,1	32,9	34,5	1,5	2,2
23,1	58,7	59,4	0,7	2,3
23,1	75,0	75,5	0,5	2,4
23,1	84,6	85,0	0,4	2,4
23,1	94,6	95,2	0,6	2,5



- El laboratorio reporta una deriva de un 50% de la incertidumbre de su patrón. Se recomienda que el laboratorio realice un estudio de deriva de su patrón de acuerdo a su historial de calibraciones.

15 %HR @ 50%HR	$u [HR_p]$	$u [\delta(\%HR_p)_{der}]$
Valor	0,500	0,250
Divisor	2,0	1,732
Valor/Divisor	0,25	0,144
Resultado <sup>2</sup>	0,06	0,0208



- Presenta el mismo valor de contribución por incertidumbre por inestabilidad y por inhomogeneidad en todos los puntos de calibración (0,693 %HR y 0,808%HR). Se recomienda mejorar esta evaluación en orden al estudio de la cámara generadora de humedad utilizada en las calibraciones.

### Laboratorio HRc-23-13

- El laboratorio presenta los valores de su patrón, instrumento bajo calibración (IBC) error e incertidumbre de la medición con una resolución de 0,01%. Se recomienda presentar los valores con una resolución similar al instrumento bajo calibración.

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 %
23,0	32,23	33,37	1,14	2,49
22,9	58,90	58,97	0,07	2,49
22,9	83,31	81,01	-2,30	2,54

Resolución del instrumento bajo calibración: 0,1 % HR.

- El laboratorio presenta el mismo valor de contribución por incertidumbre de su patrón en todos los puntos de calibración (0,54 %HR). Se recomienda mejorar esta evaluación para el cálculo de su incertidumbre final en la planilla de respaldo de resultados.

Se adjunta cuadro de valores:

Punto de calibración %HR	$u[HR_p]$
33	0,54
59	0,54
85	0,54

- El laboratorio presenta el mismo valor de contribución de incertidumbre por deriva en todos los puntos de calibración. 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	Marca	Modelo	Alcance	Resolución	Incertidumbre Expandida	Fecha de Calibración
Humedad				%HR	0,01 %HR	1,08 %HR	

59 %HR @ 50%HR	$u [ \delta(\%HR_p)_{der} ]$
Valor	0,800
Divisor	1,732
Valor/Divisor	0,462
Resultado <sup>2</sup>	0,2133

- Presenta el mismo valor de contribución de incertidumbre por inestabilidad y por inhomogeneidad en todos los puntos de calibración (0,087 %HR y 1,010%HR). Se recomienda mejorar esta evaluación en orden al estudio de la cámara generadora de humedad utilizada en las calibraciones.

### **Laboratorio HRc-23-14**

El laboratorio evalúa la histéresis de forma diferente a lo indicado en el protocolo de mediciones del ensayo de aptitud Hrc-23.

El laboratorio evalúa de la siguiente manera:

$$\delta(HR)_{his} = \frac{(HR_{desves(asc)} - HR_{desvest(des)})}{\sqrt{12}} = \frac{(0,128 - 0,110)}{\sqrt{12}} = 0,005 \%HR.$$

<i>15 %HR @ 50%HR</i>	<i>u [ δ(%HR)<sub>hist</sub> ]</i>
<b>Valor</b>	0,017
<b>Divisor</b>	<b>3,464</b>
<b>Valor/Divisor</b>	0,005
<b>Resultado<sup>2</sup></b>	0,000

El protocolo indica lo siguiente:

<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).	$u[\delta(HR)_{hist}]$	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. $\delta(HR)_{his} = (HR_{asc} - HR_{des})$	Rectangular	$\sqrt{12}$	1

$$\delta(HR)_{his} = \frac{(HR_{(asc)} - HR_{(des)})}{\sqrt{12}} = \frac{(15,80 - 15,72)}{\sqrt{12}} = 0,023 \%HR.$$

- El laboratorio presenta los siguientes valores en inestabilidad e inhomogeneidad de acuerdo a la siguiente tabla:

<b>Punto de calibración %HR</b>	$u[\delta(\%HR)_{instb}]$	$u[\delta(\%HR)_{inho}]$	$U[(HR)(k=2)]$
15	0,577	0,612	1,926
33	0,577	0,612	1,952
59	0,722	0,612	2,217
75	0,722	0,612	2,277
85	0,722	0,612	2,339

Se recomienda mejorar la evaluación de inhomogeneidad en orden al estudio de la cámara generadora de humedad utilizada en las calibraciones.

**Laboratorio HRc-23-15**

- Presenta error en el cálculo del error de medición 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 %
23,1	15,0	14,4	-0,5	1,2

→ 14,4 - 15,0 = -0,6 %HR

- El laboratorio presenta los mismos valores de incertidumbre de su patron de acuerdo al cuadro adjunto:

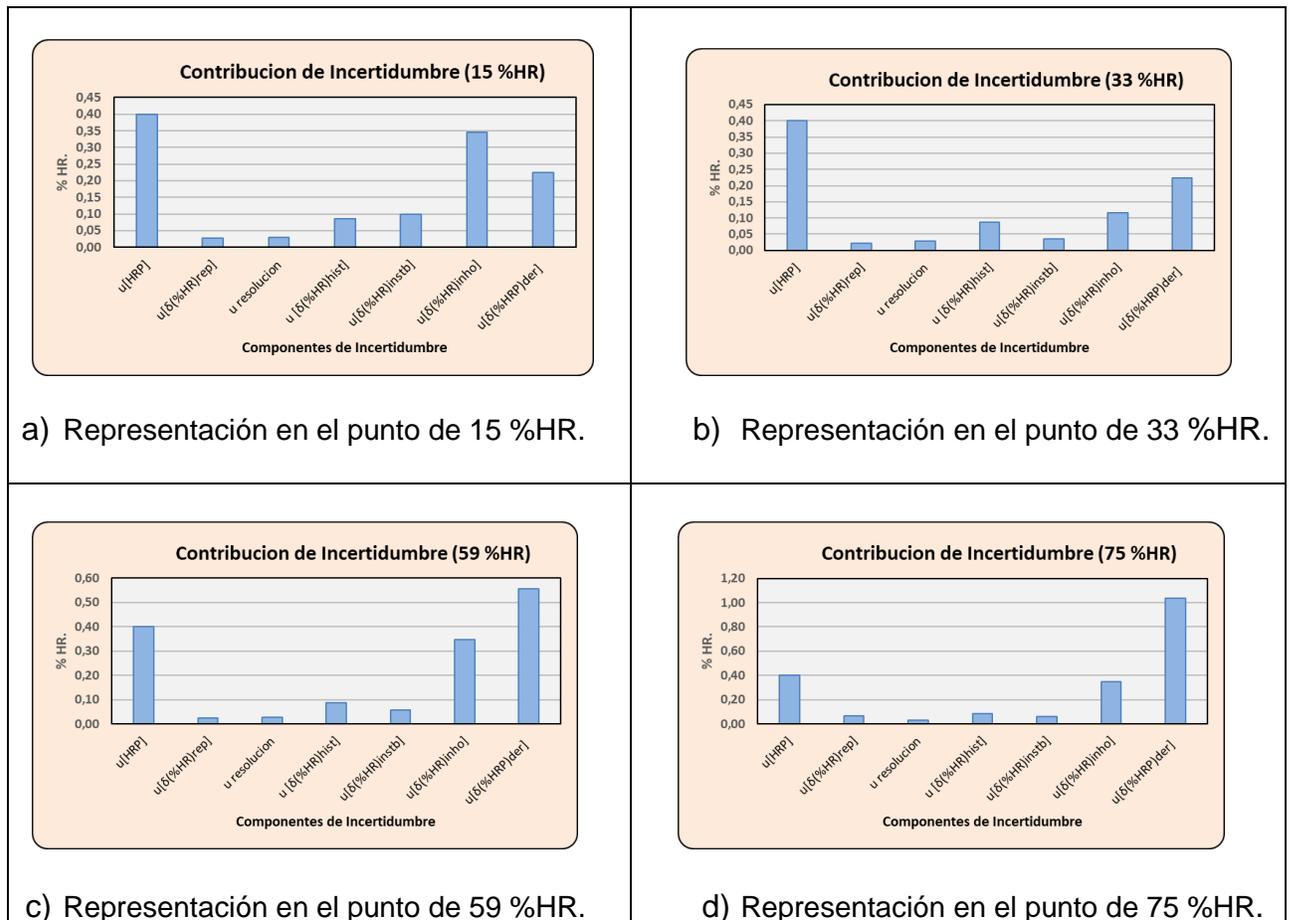
	<b>Punto de calibración %HR</b>	$u[HR_p]$
Valor	15	0,40
Valor	33	0,40
Valor	59	0,40
Valor	75	0,40

Se recomienda mejorar esta evaluación para el cálculo de su incertidumbre final en la planilla de respaldo de resultados.

- La deriva del patron de calibración representa un aporte importante con respecto al cálculo de incertidumbre final; se recomienda evaluar y controlar este parámetro a fin de obtener mediciones confiables en el tiempo.

Punto de calibración %HR	$u[\delta(\%HR) \text{ deriva}]$
15	0,223
33	0,223
59	0,557
75	1,033

- Se adjuntan gráficos como complemento a lo anterior.



- El laboratorio presenta el mismo valor de contribución por incertidumbre por inestabilidad y por inhomogeneidad en los puntos de calibración de 59 % y 75 %. Se recomienda mejorar esta evaluación en orden al estudio de la cámara generadora de humedad utilizada en las calibraciones.

<b>Punto de calibración %HR</b>	$u[\delta(\%HR)_{instb}]$	$u[\delta(\%HR)_{incho}]$	$U[(HR)(k=2)]$
15	0,0981	0,3464	1,18
33	0,035	0,115	0,97
59	0,058	0,346	1,55
75	0,058	0,346	2,34

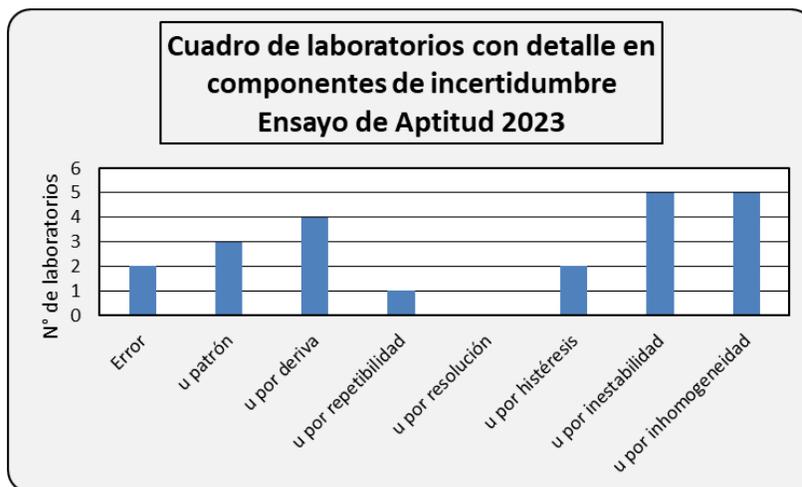
### CONCLUSIONES RONDA Hrc-23

- De los resultados obtenidos por los laboratorios participantes en este ejercicio de acuerdo al criterio de cálculo de error normalizado “**Ronda HRC-23**” integrantes de la RNM de Chile, se obtiene el siguiente Resultado:
- Resultado **SATISFACTORIO** en un 100 % equivalente a 5 participantes.

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

Variables	Número de laboratorios con problemas de evaluación (n)	Número de laboratorios con problemas de evaluación, variables a mejorar y observaciones. (%)
Error	2	40
Incertidumbre del patrón	3	60
Incertidumbre por deriva	4	80
Incertidumbre por repetibilidad	1	20
Incertidumbre por resolución	0	0
Incertidumbre por histéresis	2	40
Incertidumbre por inestabilidad	5	100
Incertidumbre por inhomogeneidad	5	100

Nota: N° de laboratorios evaluados: 5.



## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la disposición de participación en esta comparación a los 5 laboratorios participantes que presentaron resultados en este ensayo de aptitud HRc-23 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)