

Resultados de la primera comparación interlaboratorio en humedad relativa en Panamá: fortalecimiento de la capacidad técnica y aseguramiento de la calidad de las mediciones

Results of the first interlaboratory comparison of relative humidity in Panama: strengthening technical capacity and assuring the quality of measurements

Resultados da primeira comparação interlaboratorial sobre humidade relativa no Panamá: reforço da capacidade técnica e garantia de qualidade das medições

- ID **FANNY CASTRO** (1)
- ID **EBONY PRADO** (1)
- ID **HÉCTOR ACEVEDO** (1)
- ID **JULIO GONZÁLEZ VANNUCCHI** (1)
- ID **ÁNGEL ALFREDO ESCORCHE** (2)
- ID **DIEGO ROMERO VELÁSQUEZ** (3)
- ID **ERICK DOMÍNGUEZ** (4)

(1) Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP), Panamá.

(2) Metricontrol Laboratories, S.A., Panamá.

(3) P&P Calibration Lab, Panamá.

(4) Soluciones Integrales en Gestión de Calidad, S.A. (SIGCSA), Panamá.

RECIBIDO: 28/7/2025 → APROBADO:15/10/2025 ✉ eprado@cenamep.org.pa

RESUMEN

Las comparaciones interlaboratorio tienen como principal objetivo evaluar el grado de equivalencia entre el laboratorio piloto y los laboratorios participantes. De esta manera se pueden validar los métodos de calibración, detectar oportunidades de mejora y realizar correcciones en los sistemas de medición, entre otros aspectos. En el año 2024, durante los meses de marzo a agosto, se realizó en Panamá la primera comparación interlaboratorio en calibración de medidores de humedad relativa, organizada y pilotada por el Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP) en el rango de 30 a 90 % HR con temperatura de referencia de 20 °C. Participaron en este ejercicio de

intercomparación tres laboratorios secundarios del país y dos técnicos en entrenamiento del Laboratorio de Humedad Relativa (H0) del CENAMEP AIP. Para el análisis de los resultados se utilizó la herramienta estadística del error normalizado, mediante la cual se determinó que aproximadamente el 85 % de las mediciones fue satisfactorio, lo que indica un buen nivel de concordancia entre los resultados obtenidos y los valores de referencia. La realización de este ejercicio permitió implementar acciones correctivas y preventivas oportunas, además de reforzar la credibilidad de los participantes ante clientes, organismos reguladores y demás partes interesadas.

Palabras clave: error normalizado, higrómetro, humedad relativa, incertidumbre, patrón.

ABSTRACT

The main objective of interlaboratory comparisons is to evaluate the degree of equivalence between the pilot laboratory and the participating laboratories. In this way it is possible to validate calibration methods, detect opportunities for improvement and make corrections in the measurement systems, among other topics. In the year 2024, during the months of March to August, the first interlaboratory comparison in calibration of relative humidity metrics was carried out in Panama, organized and piloted by the National Metrology Center of Panama (CENAMEP AIP) in the range of 30 to 90 % RH with a reference temperature of 20 °C. Three secondary laboratories in the country and two technicians in training from the Relative Humidity Laboratory (H0) of CENAMEP AIP participated in this intercomparison exercise. For the analysis of the results, the statistical tool of the normalized error was used, which determined that approximately 85 % of the measurements were satisfactory, indicating a good level of agreement between the obtained results and the reference values. This exercise made it possible to implement timely corrective and preventive actions and to reinforce the credibility of the participants with clients, regulatory agencies and other interested parties.

Keywords: hygrometer, relative humidity, standard error, standard, uncertainty.

RESUMO

O principal objetivo das comparações interlaboratoriais é avaliar o grau de equivalência entre o laboratório piloto e os laboratórios participantes. Dessa forma, é possível validar métodos de calibração, detectar oportunidades de melhoria, fazer correções nos sistemas de medição, entre outros. No ano de 2024, durante os meses de março a agosto, foi realizada a primeira comparação interlaboratorial na calibração de medidores de umidade relativa no Panamá, organizada e pilotada pelo Centro Nacional de Metrologia do Panamá (CENAMEP AIP) na faixa de 30 a 90 % UR com uma temperatura de referência de 20 °C. Três laboratórios secundários do país e dois técnicos estagiários do Laboratório de Umidade Relativa (H0) do CENAMEP AIP participaram desse exercício de intercomparação. Para a análise dos resultados, foi utilizada a ferramenta estatística de erro padrão, que determinou que aproximadamente 85 % das medições foram satisfatórias, indicando um bom nível de concordância entre os resultados obtidos e os

valores de referência. Esse exercício permitiu ações corretivas e preventivas em tempo hábil e reforçou a credibilidade dos participantes junto a clientes, reguladores e outras partes interessadas.

Palavras-chave: erro padrão, higrómetro, humidade relativa, incerteza, padrão.

INTRODUCCIÓN

El Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP) tiene entre sus funciones promover el desarrollo de la metrología en el país (Panamá, 2007; Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP), 2023); por esta razón se realizan con alta frecuencia ejercicios de comparaciones interlaboratorio, donde participan los laboratorios secundarios del país que se dedican a la prestación de diversos servicios de calibración.

Hasta el año 2023 no había registros de ejercicios de intercomparaciones nacionales en la magnitud de humedad relativa, específicamente en la calibración de higrómetros. Por esta razón, se convocó a posibles interesados, acción en la que tres laboratorios secundarios manifestaron su interés en participar, ya que ofrecen el servicio de calibración de higrómetros. Además, dichos laboratorios señalaron su satisfacción a la iniciativa liderada por el CENAMEP AIP de organizar este ejercicio de comparación, considerando el alto costo que implica para ellos contratar de forma individual los servicios de ensayos de aptitud con entidades o laboratorios fuera del país, siendo este un requisito necesario para sustentar sus acreditaciones y validaciones de métodos. De esta manera, y luego de una reunión de homologación, se organizó la primera comparación interlaboratorio en medidores de humedad relativa (higrómetros), donde el CENAMEP AIP tuvo las funciones de organizar, pilotar (asignación del valor de referencia), analizar, evaluar los datos enviados por los participantes y finalmente elaborar el informe de los resultados generados.

En adición a los tres laboratorios secundarios, en este ejercicio se incluyó como participantes a dos metrólogos del CENAMEP AIP que al momento de la organización de este ejercicio se encontraban en entrenamiento en el Laboratorio de Humedad Relativa (H0). Estos técnicos requerían, como última tarea para la autorización del servicio de calibración de medidores de humedad por el método dos presiones, participar y obtener resultados satisfactorios en una comparación (interna con su instructor o externa con otro INM). De esta manera, además del piloto, la intercomparación contó con cinco participantes.

Los objetivos alineados a este ejercicio de intercomparación comprenden: evaluar el grado de equivalencia de las calibraciones de medidores de humedad relativa entre el laboratorio piloto y los participantes, proporcionar un recurso orientado al aseguramiento de la calidad de los resultados emitidos por los participantes ante sus clientes y demás partes interesadas (International Organization for Standardization, 2017), proveer una herramienta objetiva para que los participantes demuestren su competencia técnica e incrementen su experiencia en ejercicios de comparación interlaboratorio y, adicionalmente, para los metrólogos en entrenamiento del CENAMEP AIP, obtener la autorización para la prestación del servicio de calibración de higrómetros por el método de comparación en un generador de humedad por dos presiones.

Para este ejercicio, se escogieron como patrones viajeros dos higrómetros capacitivos (sensor y lector), ya que este tipo de sensores son los más utilizados para las mediciones de humedad (Bentley, 1998). Los equipos seleccionados son propiedad del CENAMEP AIP y según las especificaciones técnicas tienen exactitud ± 1 % HR. Se decidió realizar las mediciones en el rango de 30 a 90 % HR con temperatura de referencia de 20 °C, debido a que el Laboratorio de Humedad Relativa (H0) del CENAMEP AIP cuenta con una capacidad de calibración y medición (CMC) reconocida en el Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM, por su abreviatura en francés) en el alcance mencionado, lo que respalda y sustenta la comparación interlaboratorio realizada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Laboratorios participantes

Participaron tres laboratorios secundarios nacionales de Panamá y dos metrólogos en entrenamiento pertenecientes al Laboratorio de Humedad Relativa (H0) de CENAMEP AIP. Con el fin de salvaguardar la confidencialidad de los resultados emitidos, a cada participante, incluyendo a los dos metrólogos internos de CENAMEP AIP en entrenamiento, se les asignó de forma aleatoria un código único con el cual reportaron los resultados obtenidos individualmente.

El personal del Laboratorio de Humedad Relativa del CENAMEP AIP se encargó de la organización, redacción del protocolo, transporte de patrones viajeros, recopilación de datos, asignación del valor de referencia, estudio de estabilidad de los patrones viajeros, evaluación de los resultados de los participantes y emisión del informe final de resultados.

Patrones viajeros y rango de medición

En este estudio se utilizaron dos higrómetros capacitivos, de marca HUMICAP Vaisala HM70 (Vaisala Oyj, 2007), cuyas características se describen en la Tabla 1.

Por otro lado, los puntos de medición establecidos en el protocolo de la intercomparación realizada en Panamá se muestran en la Tabla 2.

TABLA 1. Patrones de transferencia utilizados en la comparación interlaboratorio.

Cantidad	Marca	Modelo	Clase de exactitud	Alcance	Número de serie
1	Vaisala	Indicador MI70 y sonda HMP77	± 1 % HR	0 % HR a 90 % HR	Indicador: V1710628
					Sensor: V2310437
1	Vaisala	Indicador MI70 y sonda HMP77	± 1 % HR	0 % HR a 90 % HR	Indicador: G2930019
					Sensor: G3120001

TABLA 2. Puntos de medición en humedad relativa y temperatura de referencia.

Temperatura de referencia en la cámara (°C)*	Puntos nominales de medición en humedad relativa (% HR)			
20	30	50	70	90

*Temperatura en la cámara al momento de realizar las mediciones de la comparación interlaboratorio.

El proceso de medición inició en el Laboratorio de Humedad Relativa (H0) del CENAMEP AIP (piloto); posteriormente midieron los dos metrólogos en entrenamiento y nuevamente midió el piloto. Luego, los patrones de transferencia fueron trasladados por personal del CENAMEP AIP a los tres restantes laboratorios participantes en Panamá. En cada uno de ellos, las mediciones fueron realizadas por el personal especializado del laboratorio receptor, siguiendo sus propios procedimientos de calibración. Una vez finalizadas todas las rondas de mediciones en los laboratorios participantes, el laboratorio piloto (CENAMEP AIP) realizó una ronda final de medición, con el objetivo de asegurar la calidad de los datos obtenidos y estudiar la posible deriva de los patrones viajeros durante el proceso. Al final del ejercicio, los resultados por parte de los participantes corresponden a un total de 40 mediciones.

Mensurando y consideraciones generales para la realización de las mediciones

En el protocolo de la intercomparación, elaborado por el laboratorio piloto y consensuado con los participantes, se definió que el mensurando, es decir la magnitud que se desea medir (Joint Committee for Guides in Metrology, 2012), sería la corrección en humedad relativa de los patrones viajeros en cada punto de calibración (Ecuación 1).

$$Corrección (\% HR) = (\% HR)_{Patrón LABp} - \% HR_{Instrumento bajo prueba} \quad (1)$$

Donde:

Corrección: es la diferencia entre la humedad relativa indicada por el patrón del laboratorio participante y la humedad relativa indicada por patrón viajero (instrumento bajo prueba), ambos en % HR en cada valor nominal de humedad relativa acordado y a la temperatura de 20 °C.

% HR_{Patrón LABp}: es el valor del patrón en humedad relativa del laboratorio participante.

% HR_{Instrumento bajo prueba}: es el valor del instrumento bajo prueba (patrón viajero).

Para la obtención de los valores de corrección de los patrones viajeros, cada participante utilizó los procedimientos de medición internos de su laboratorio, aplicables para la calibración de higrómetros o medidores de humedad relativa. Las incertidumbres asociadas al valor de corrección, reportadas tanto por los participantes como por el piloto, se estimaron siguiendo los procedimientos internos de cada laboratorio y según lo establecido por el método GUM del BIPM (Joint Committee for Guides in Metrology,

2008). Cabe resaltar que los valores reportados por el piloto se utilizaron como valores de referencia para el cálculo del error normalizado; el CENAMEP AIP tomó en cuenta las componentes de histéresis y la estabilidad de los instrumentos durante la ejecución de la comparación.

También se estableció en el protocolo que los participantes debían seguir las siguientes instrucciones:

- Al final de la toma de datos, el valor medio corregido de la indicación del patrón de referencia en humedad del participante debe indicar el valor nominal con una tolerancia de ± 0.3 % HR; y, el valor medio corregido de la indicación del patrón de referencia en temperatura del participante debe indicar el valor nominal con una tolerancia de ± 0.3 °C.
- El participante no debe realizar ajustes en los patrones viajeros (ni en indicador, ni en sensor).
- Los patrones viajeros son operados con baterías recargables. Éstas deben ser cargadas antes de utilizar el equipo.
- Las mediciones deben realizarse con la sonda modelo HMP77 (con número de serie V2310437), conectada al puerto "Probe Port I" del indicador MI70 con serie V1710628.
- Las mediciones deben realizarse con la sonda modelo HMP77 (con número de serie G3120001), conectada "Probe Port I", del indicador MI70 con serie G2930019.

Método de medición de los laboratorios participantes

El método utilizado por los tres laboratorios secundarios participantes fue por comparación directa del valor de humedad relativa indicada por un higrómetro patrón respecto a la indicación en humedad relativa de los patrones viajeros.

Los tres laboratorios utilizaron como medios cámaras con control de temperatura y humedad relativa para obtener los puntos de calibración acordados en el protocolo, manteniendo una temperatura en la cámara de 20 °C.

En cuanto a los dos metrólogos en etapa de entrenamiento del Laboratorio de Humedad Relativa (H0) del CENAMEP AIP, ambos utilizaron el método de comparación del valor de humedad relativa de referencia obtenido por el método de dos presiones contra el valor indicado por los patrones viajeros. Este es el mismo método utilizado por el piloto para asignar el valor de referencia.

Método de medición utilizado por el laboratorio piloto

La corrección del valor de humedad relativa indicada por los patrones viajeros se obtiene por comparación directa del valor de humedad relativa de referencia por el método de generación de humedad por dos presiones y la indicación del instrumento bajo prueba. Las mediciones se realizan en orden ascendente iniciando por el valor más bajo de humedad relativa, manteniendo en la cámara una temperatura de 20 °C.

En la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida (GUM) se establece que la indicación de un instrumento puede diferir en una cantidad fija y conocida dependiendo de si las lecturas sucesivas son ascendentes o descendentes, lo que se conoce como histéresis

de un instrumento (Joint Committee for Guides in Metrology, 2008). Con el objetivo de determinar la histéresis de los instrumentos de la intercomparación, una vez realizadas las mediciones en orden ascendente, se midieron todos los puntos acordados en forma descendente iniciando por el valor más alto (90 % HR) hasta alcanzar el valor más bajo (30 % HR), tal cual lo establece el procedimiento interno de calibración del laboratorio piloto.

Obtención del valor de humedad relativa de referencia (laboratorio piloto)

Para la obtención del valor de humedad relativa de referencia (Ecuación 2), el Laboratorio de Humedad Relativa (H0) del CENAMEP AIP cuenta con un generador de humedad por dos presiones. El principio de funcionamiento del generador de humedad por dos presiones implica que una corriente de gas a una presión elevada se sature con respecto a la fase líquida o sólida del agua, para luego expandirla isotérmicamente a una presión inferior. Las mediciones de presión y temperatura de la corriente de gas, tanto en el saturador como en la cámara de pruebas después de la expansión, proporcionan los datos necesarios para calcular el contenido de vapor de agua de la corriente de gas (Hasegawa y Little, 1977; Thunder Scientific Corporation, 2023; Hardy, 1998).

$$\% \text{ HR (referencia)} = \frac{f_w(P_s, T_s)}{f_w(P_c, T_c)} \frac{e_w(T_s)}{e_w(T_c)} \frac{(P_c)}{(P_s)} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

$f_w(P_s, T_s)$: es el factor de mejoramiento en temperatura y presión del saturador.

$f_w(P_c, T_c)$: es el factor de mejoramiento en temperatura y presión de la cámara.

$e_w(T_s)$: es el factor de presión de vapor de saturación efectiva del aire con respecto al agua a presión absoluta P y temperatura en el saturador.

$e_w(T_c)$: es el factor de presión de vapor de saturación efectiva del aire con respecto al agua a presión absoluta P y temperatura en la cámara.

P_c : es la presión de la cámara en pascales.

P_s : es la presión del saturador en pascales.

Ambos factores de corrección se calcularon para las mediciones de presión y temperatura efectuadas en el saturador del generador ($f_w(P_s, T_s)$; $e_w(T_s)$) y en la cámara de prueba del generador (espacio donde se colocaron los objetos a calibrar) ($f_w(P_c, T_c)$; $e_w(T_c)$), para finalmente aplicar la Ecuación 2 de humedad relativa de referencia (Castro et al., 2023).

Cálculo de incertidumbre del laboratorio piloto: presupuesto

En la Tabla 3 se presenta el presupuesto de incertidumbre para el punto de 30 % HR para el sensor V2310437 / indicador V1710628. En dicho presupuesto se plasman las componentes que se consideraron en el sistema de medida del laboratorio piloto (método de dos presiones).

TABLA 3. Presupuesto de incertidumbre para el punto de medición 30 %HR.

Fuente	Valor	Unidad	Distribución de probabilidad	Divisor	c_i	Varianza	Grados de libertad
Componentes por presión de la cámara	195.686	Pa	Normal	1	6.93E-04	0.01838	5000
Componentes por presión del saturador	204.397	Pa	Normal	1	-4.87E-04	0.00991	5000
Componentes por temperatura de cámara	0.060	°C	Normal	1	-4.34	0.06780	5000
Componentes por temperatura del saturador	0.048	°C	Normal	1	4.34223032	0.04344	5000
Factor de mejora del generador 2500	0.0528	% HR	Rectangular	1.7	1	0.00093	50
Diferencia (RH calculado vs. generado)	0.07	% HR	Rectangular	1.7	1	0.00187	19
Factor e (Ts) ecuación de Wexler (factor e de la cámara)	0.0010	% HR	Rectangular	1.7	1	0.00000	50
Factor e (Tc) ecuación de Wexler (factor e del saturador)	0.0010	% HR	Rectangular	1.7	1	0.00000	50
Factor f (Ts, Ps) ecuación de Greenspan para el saturador	8.14E-05	% HR	Rectangular	1.7	1	0.00000	50
Factor f (Tc, Pc) ecuación de Greenspan para la cámara	5.65E-05	% HR	Rectangular	1.7	1	0.00000	50
Comparación en humedad (diferencia con respecto a la HR a partir de Td)	0.42	% HR	Rectangular	1.7	1	0.05880	50
Resolución del OBC	0.01	% HR	Rectangular	3.5	1	0.00001	50
Repetibilidad del OBC	0.03	% HR	Rectangular	3.2	1	0.00009	9
Histéresis del OBC	0.28	% HR	Rectangular	3.5	1	0.00653	29
Incertidumbre combinada (u_c)							0.21
Grados efectivos de libertad (Ve_{ff})							2893
Factor de cobertura (k)							2
Incertidumbre expandida (U)							0.89

Las componentes por presión de la cámara incluyen: calibración, resolución, repetibilidad y deriva del transductor de presión utilizado. Las componentes por presión del saturador incluyen: calibración, resolución, repetibilidad y deriva del transductor de presión utilizado. Las componentes por temperatura de la cámara incluyen: calibración, resolución, repetibilidad, deriva e histéresis del termómetro utilizado; además, estabilidad y homogeneidad en la cámara de prueba. Las componentes por temperatura del saturador incluyen: calibración, resolución, repetibilidad, deriva e histéresis del termómetro utilizado; además, estabilidad, uniformidad, eficiencia, impurezas del aire y del agua en el saturador.

Caracterización de los patrones viajeros

El vocabulario internacional de metrología establece que la estabilidad de un instrumento de medida se define como la aptitud de un instrumento de medida para conservar constantes sus características metrológicas a lo largo del tiempo, por ejemplo, en términos de cambio de una propiedad en un intervalo de tiempo determinado (Joint Committee for Guides in Metrology, 2012).

Para la ejecución de esta intercomparación, los equipos bajo prueba fueron medidos inicialmente por el laboratorio piloto en tres ocasiones (entre marzo y junio de 2024) y posterior a las mediciones de los participantes (en agosto de 2024), para un total de cuatro rondas de mediciones. Esto es sin contar las mediciones de los metrólogos en entrenamiento, quienes formaron parte de los participantes de la intercomparación.

Estas mediciones se realizaron para determinar la estabilidad de los patrones viajeros durante la realización de la comparación interlaboratorio. En la Tabla 4 se presenta la estabilidad de los higrómetros (patrones viajeros) utilizados durante la intercomparación. Se definió la estabilidad de los patrones viajeros en cada punto de medición como la mayor diferencia encontrada entre las correcciones de los objetos en las cuatro mediciones realizadas por el piloto. En consecuencia, el laboratorio piloto agregó el valor de la estabilidad encontrada dentro de su presupuesto de incertidumbre para esta comparación interlaboratorio.

TABLA 4. Estabilidad de los patrones viajeros entre marzo y agosto de 2024.

Patrones viajeros	Punto [% HR]	Máxima diferencia* [% HR]
Sensor: V2310437 Indicador: V1710628	30	0.25
	50	0.66
	70	0.28
	90	0.12
Sensor: G3120001 Indicador: G2930019	30	0.13
	50	0.47
	70	0.20
	90	0.16

*Máximo menos mínimo de las mediciones realizadas entre marzo y agosto de 2024.

Adicionalmente, en las Figuras 1 y 2 se presentan las mediciones en cada punto de calibración de los patrones viajeros sensor V2310437 con indicador V1710628 y sensor G3120001 con indicador G2930019, respectivamente.

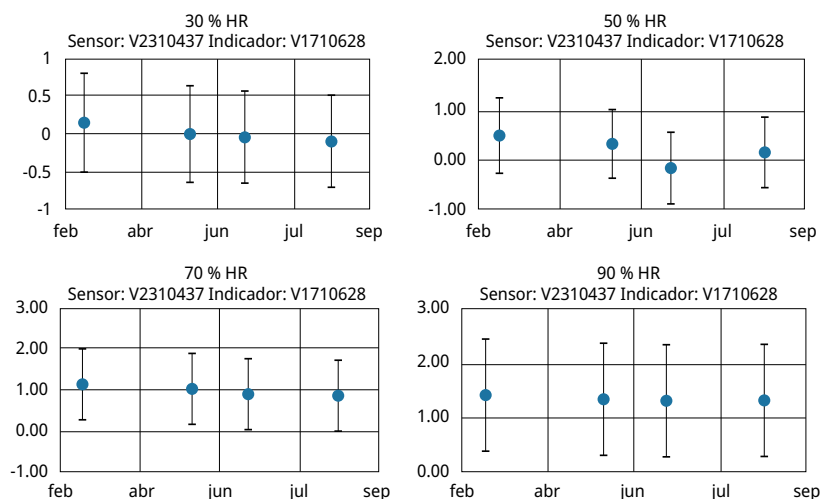


FIGURA 1. Estabilidad del sensor V2310437 con indicador V1710628. Los marcadores en color azul representan los valores de estabilidad obtenidos en las cuatro mediciones realizadas por el piloto, para cada uno de los puntos de calibración. Las barras asociadas a cada marcador indican la incertidumbre expandida de dichas mediciones. La mayor diferencia encontrada en cada punto define la estabilidad del sensor durante la intercomparación.

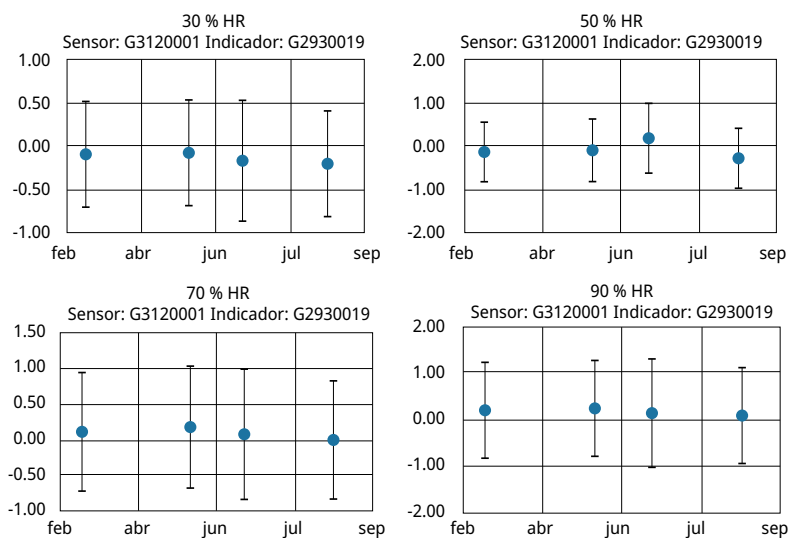


FIGURA 2. Estabilidad del sensor G3120001 con indicador G2930019. Los marcadores en color azul representan los valores de estabilidad obtenidos en las cuatro mediciones realizadas, para cada uno de los puntos de calibración. Las barras asociadas a cada marcador indican la incertidumbre expandida correspondiente a dichas mediciones. La mayor diferencia encontrada en cada punto define la estabilidad del sensor durante la intercomparación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Reporte de resultados de los participantes

En la Tabla 5 se presentan las correcciones con sus respectivas incertidumbres para cada punto nominal de humedad relativa medido por cada participante para cada patrón viajero.

Adicionalmente, en las Figuras 3 y 4 se presentan los resultados de todos los participantes con sus respectivas barras de incertidumbre. El orden en el que aparecen los resultados no corresponde necesariamente al orden en que midieron los participantes. Cada participante está identificado con un código asignado al inicio de la comparación y el valor de referencia asignado por el piloto se identifica como "CENAMEP AIP".

TABLA 5. Correcciones e incertidumbres expandidas de los participantes.

Participante		Sensor G3120001 con indicador G2930019				Sensor G3120001 con indicador G2930019			
		30 % HR	50 % HR	70 % HR	90 % HR	30 % HR	50 % HR	70 % HR	90 % HR
TH15	C	-0.13	-0.14	0.29	0.18	-0.13	-0.14	0.29	0.18
	U	0.66	0.75	0.91	1.05	0.66	0.75	0.91	1.05
TH54	C	0.05	0.37	1.06	0.90	0.05	0.37	1.06	0.90
	U	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
TH35	C	-0.15	-0.15	0.05	0.18	-0.15	-0.15	0.05	0.18
	U	0.60	0.70	0.84	1.02	0.60	0.70	0.84	1.02
TH46	C	-1.32	-1.85	-2.25	-1.92	-1.32	-1.85	-2.25	-1.92
	U	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
TH24	C	-0.72	-0.76	-0.27	0.62	-0.72	-0.76	-0.27	0.62
	U	0.70	0.80	0.80	1.00	0.70	0.80	0.80	1.00

Donde: C = corrección reportada; U = incertidumbre expandida reportada; temperatura de referencia: 20 °C.

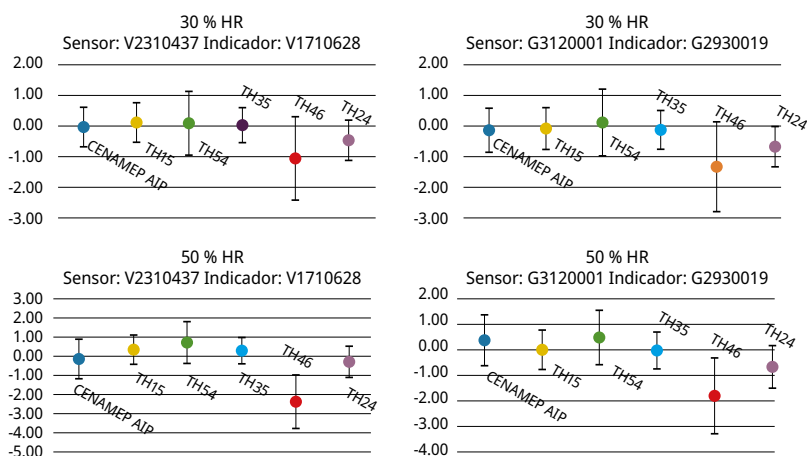


FIGURA 3. Resultados reportados a 30 y 50 % HR con sus barras de incertidumbre. Los marcadores de colores representan los resultados asociados a cada participante.

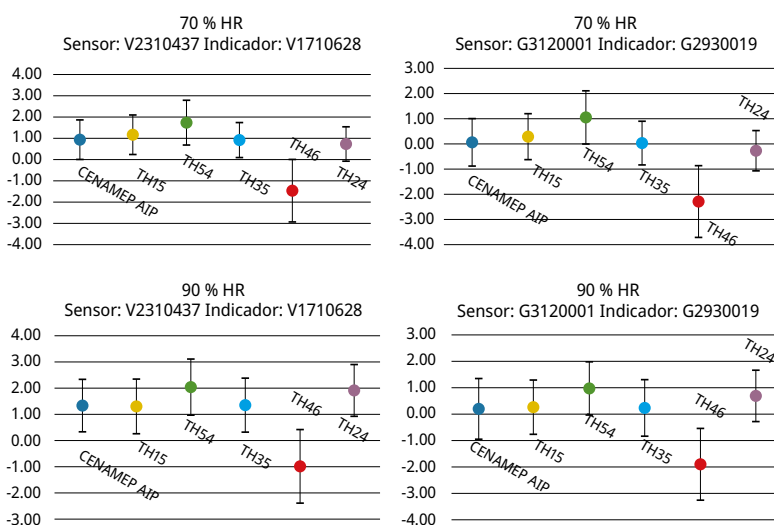


FIGURA 4. Resultados reportados a 70 y 90 % HR con sus barras de incertidumbre. Los marcadores de colores representan los resultados asociados a cada participante.

Presupuesto de incertidumbre de los laboratorios participantes

En las Tablas 6, 7 y 8 se presentan los presupuestos de incertidumbre de los laboratorios participantes (TH54, TH46 y TH24) en el punto de medición de 70 % HR para el sensor V2310437 / indicador V1710628.

TABLA 6. Participante TH54 - Presupuesto de incertidumbre.

Fuente	Tipo de distribución	Incertidumbre estándar
Calibración del patrón	Normal	0.3700
Resolución del patrón	Rectangular	0.0029
Deriva del patrón	Rectangular	0.3233
Interpolación	Rectangular	0.1278
Repetibilidad del patrón	Normal	0.0155
Estabilidad del medio	Normal	0.1155
Uniformidad del medio	Normal	0.0520
Repetibilidad del ítem	Normal	0.0255
Resolución del ítem	Rectangular	0.0029
Incertidumbre combinada estándar [% HR], $k = 1$	0.523	-
Factor de cobertura, k	2	-
Incertidumbre expandida [% HR]	1.05	-

TABLA 7. Participante TH46 – Presupuesto de incertidumbre.

Fuente	Tipo de distribución	Incertidumbre estándar
Repetibilidad	Normal $\sqrt{2}$	0.00000
Resolución	Rectangular $\sqrt{12}$	0.00029
Estabilidad del medio	Rectangular $\sqrt{3}$	0.00580
Uniformidad del medio	Rectangular $\sqrt{3}$	0.00580
Trazabilidad	Normal 2	0.55000
Resolución patrón	Rectangular $\sqrt{12}$	0.02900
Deriva	Rectangular $\sqrt{12}$	0.43000
Incertidumbre combinada estándar [% HR], $k = 1$	0.70	-
Factor de cobertura, k	2	-
Incertidumbre expandida [% HR]	1.4	-

TABLA 8. Participante TH24 – Presupuesto de incertidumbre.

Fuente	Tipo de distribución	Incertidumbre estándar
Dispersión lecturas del patrón	Normal	0.028
Calibración del patrón	Normal	0.280
Interpolación del patrón	Rectangular	0.007
Deriva del patrón	Rectangular	0.133
Resolución del patrón	Rectangular	0.003
Gradiente de temperatura	Rectangular	0.231
Estabilidad del medio	Rectangular	0.024
Uniformidad del medio	Rectangular	0.036
Dispersión de lecturas IBC	Normal	-0.017
Resolución del IBC	Rectangular	-0.003
Histéresis del IBC	Rectangular	-0.029
Incertidumbre combinada estándar [% HR], $k = 1$	0.39	-
Factor de cobertura, k	2	-
Incertidumbre expandida [% HR]	0.78	-

Todos los participantes utilizaron el método de comparación directa contra un higrómetro patrón. Sin embargo, en sus presupuestos de incertidumbre se pueden observar ligeras diferencias en las componentes que tomaron en consideración.

Cada participante desglosó la incertidumbre en componentes individuales (calibración, deriva, estabilidad, uniformidad, resolución, etc.), aplicando la metodología GUM (Joint Committee for Guides in Metrology, 2008). Entre las fuentes recurrentes en todos los participantes están la calibración del patrón, deriva del patrón, resolución de los patrones y patrones viajeros, así como las condiciones del medio (estabilidad y homogeneidad).

Como se puede observar en las tablas de resultados de los participantes, TH46 reportó la mayor incertidumbre expandida (1.4 % HR), seguido del participante TH54 (que reportó 1.05 % HR) y, por último, la menor incertidumbre expandida reportada fue la de TH24 (con 0.78 % HR). Esto indica diferencias en la forma de estimar y ponderar las fuentes de incertidumbre.

Evaluación de los resultados

El grado de equivalencia entre los resultados de medición reportados por los participantes y los emitidos por el piloto fue determinado mediante el uso de la herramienta estadística denominada error normalizado (E_n), en función de la humedad relativa.

Una medición de comparación es satisfactoria cuando su E_n es igual o inferior a uno y se considera insatisfactoria cuando es superior a uno (International Organization for Standardization, 2023). En este estudio, los valores de E_n se calcularon según la Ecuación 3.

$$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{tab}^2 + U_{ref}^2}} \quad (3)$$

Donde:

x : es la corrección reportada por el laboratorio participante, en porcentaje de humedad relativa (% HR), para cada punto de calibración.

U_{lab} : es la incertidumbre expandida reportada por el laboratorio participante, en porcentaje de humedad relativa (% HR), para cada punto de calibración.

X : es el valor de referencia (corrección) asignado por el piloto (CENAMEP AIP), en porcentaje de humedad relativa (% HR), para cada punto de calibración.

U_{ref} : es la incertidumbre expandida reportada por el piloto (CENAMEP AIP), en porcentaje de humedad relativa (% HR), para cada punto de calibración.

Los criterios de aceptación para el error normalizado fueron:

Valores de $|E_n| > 1$ indican resultados no satisfactorios.

Valores de $|E_n| \leq 1$ indican resultados satisfactorios.

Para ambos patrones de transferencia, en las Tablas 9 a la 13 se presentan las correcciones, así como las incertidumbres expandidas reportadas por el piloto identificado como "CENAMEP AIP" y los laboratorios participantes identificados con su código y su correspondiente valor de error normalizado.

TABLA 9. Resultados de las mediciones del participante TH15.

T [°C]	% HR*	Sensor V2310437 / Indicador V1710628					Sensor G3120001 / Indicador G2930019				
		CENAMEP AIP		TH15		E_n	CENAMEP AIP		TH15		E_n
		C	U	C	U		C	U	C	U	
		% HR	% HR	% HR	% HR	% HR	% HR	% HR	% HR		
20	30	-0.03	0.67	0.09	0.65	0.1	-0.16	0.71	-0.13	0.66	0.0
20	50	-0.16	1.04	0.35	0.76	0.4	0.24	0.95	-0.14	0.75	0.3
20	70	0.88	0.89	1.17	0.93	0.2	0.07	0.94	0.29	0.91	0.2
20	90	1.31	1.03	1.29	1.05	0.0	0.16	1.15	0.18	1.05	0.0

* Punto de medición (valor nominal).

TABLA 10. Resultados de las mediciones del participante TH54.

T [°C]	% HR*	Sensor V2310437 / Indicador V1710628					Sensor G3120001 / Indicador G2930019				
		CENAMEP AIP		TH54		E_n	CENAMEP AIP		TH54		E_n
		C	U	C	U		C	U	C	U	
		% HR	% HR	% HR	% HR	% HR	% HR	% HR	% HR		
20	30	-0.03	0.67	0.08	1.05	0.1	-0.16	0.71	0.05	1.05	0.2
20	50	-0.16	1.04	0.70	1.05	0.6	0.24	0.95	0.37	1.05	0.1
20	70	0.88	0.89	1.72	1.05	0.6	0.07	0.94	1.06	1.05	0.7
20	90	1.31	1.03	2.03	1.05	0.5	0.16	1.15	0.90	1.05	0.5

* Punto de medición (valor nominal).

TABLA 11. Resultados de las mediciones del participante TH35.

T [°C]	% HR*	Sensor V2310437 / Indicador V1710628					Sensor G3120001 / Indicador G2930019				
		CENAMEP AIP		TH35		E_n	CENAMEP AIP		TH35		E_n
		C	U	C	U		C	U	C	U	
		% HR	% HR	% HR	% HR	% HR	% HR	% HR	% HR		
20	30	-0.03	0.67	0.03	0.60	0.1	-0.16	0.71	-0.15	0.60	0.0
20	50	-0.16	1.04	0.28	0.70	0.4	0.24	0.95	-0.15	0.70	0.3
20	70	0.88	0.89	0.91	0.84	0.0	0.07	0.94	0.05	0.84	0.0
20	90	1.31	1.03	1.32	1.02	0.0	0.16	1.15	0.18	1.02	0.0

* Punto de medición (valor nominal).

TABLA 12. Resultados de las mediciones del participante TH46.

T [°C]	% HR*	Sensor V2310437 / Indicador V1710628					Sensor G3120001 / Indicador G2930019				
		CENAMEP AIP		TH46		E_n	CENAMEP AIP		TH46		E_n
		C	U	C	U		C	U	C	U	
		% HR	% HR	% HR	% HR	% HR	% HR	% HR	% HR		
20	30	-0.03	0.67	-1.06	1.4	0.7	-0.16	0.71	-1.32	1.40	0.7
20	50	-0.16	1.04	-2.35	1.4	1.3	0.24	0.95	-1.85	1.40	1.2
20	70	0.88	0.89	-1.49	1.4	1.4	0.07	0.94	-2.25	1.40	1.4
20	90	1.31	1.03	-0.99	1.4	1.3	0.16	1.15	-1.92	1.40	1.1

* Punto de medición (valor nominal).

TABLA 13. Resultados de las mediciones del participante TH24.

T [°C]	%HR*	Sensor V2310437 / Indicador V1710628					Sensor G3120001 / Indicador G2930019				
		CENAMEP AIP		TH24		E_n	CENAMEP AIP		TH24		E_n
		C	U	C	U		C	U	C	U	
		%HR	%HR	%HR	%HR	%HR	%HR	%HR	%HR		
20	30	-0.03	0.67	-0.49	0.70	0.5	-0.16	0.71	-0.72	0.70	0.6
20	50	-0.16	1.04	-0.24	0.80	0.1	0.24	0.95	-0.76	0.80	0.8
20	70	0.88	0.89	0.69	0.80	0.2	0.07	0.94	-0.27	0.80	0.3
20	90	1.31	1.03	1.89	1.00	0.4	0.16	1.15	0.62	1.00	0.3

* Punto de medición (valor nominal).

Como se puede observar en las Tablas 6 a 10, los valores obtenidos del error normalizado arrojaron resultados que se consideran satisfactorios, según el criterio establecido, para la mayoría de los participantes. Solo uno de los participantes (TH46) obtuvo resultados con error normalizado superior a 1, en los puntos de 50 % HR, 70 % HR y 90 % HR en ambos patrones viajeros (sensor V2310437 con indicador V1710628 y sensor G3120001 con indicador G2930019, respectivamente). En este sentido, se observa que este participante deberá realizar un análisis de sus procedimientos internos para determinar las razones por las cuales sus resultados fueron no satisfactorios. Precisamente, este ejercicio de intercomparación representa una herramienta valiosa que ayudará a identificar oportunidades de mejora para este laboratorio.

CONCLUSIONES

Se realizó una comparación interlaboratorio de medidores de humedad relativa en cuatro puntos en el rango de 30 % HR a 90 % HR con temperatura de referencia de 20 °C entre marzo y agosto de 2024, coordinada y pilotada por el CENAMEP AIP en Ciudad de Panamá. Como patrones de transferencia se utilizaron dos higrotermómetros con sensores capacitivos de humedad, cuyas derivas durante el ejercicio se estimaron con cuatro calibraciones realizadas por el técnico encargado de asignar el valor de referencia en el Laboratorio de Humedad Relativa (H0) del CENAMEP AIP.

Los resultados obtenidos en este ejercicio de intercomparación permitieron cumplir con los objetivos propuestos. Se evaluó el grado de equivalencia de las calibraciones de medidores de humedad relativa entre el laboratorio piloto y los tres laboratorios participantes, evidenciando niveles aceptables de compatibilidad en los resultados, conforme al análisis del error normalizado (E_n). Este ejercicio proporcionó un recurso valioso para el aseguramiento de la calidad de los resultados emitidos por los participantes, fortaleciendo la confianza en los servicios que ofrecen a sus clientes y demás partes interesadas.

Asimismo, la actividad ofreció una herramienta objetiva para que los participantes demuestren su competencia técnica para calibrar medidores de humedad relativa y continúen desarrollando experiencia en ejercicios de comparación interlaboratorio. Además, el ejercicio también contribuyó al proceso formativo de dos metrólogos del CENAMEP AIP, lo cual representó la finalización de su entrenamiento en el servicio de calibración de medidores de humedad relativa por el método de dos presiones. Este método tiene reconocimiento internacional por su CMC declarada en el BIPM.

Los valores obtenidos de $E_n \leq 1$ indican que los resultados reportados son consistentes con el valor de referencia, lo que respalda la validez metrológica de los procedimientos aplicados por los participantes. Además, esta metodología de evaluación no solo permite verificar la equivalencia técnica entre laboratorios, sino que también proporciona una herramienta objetiva para identificar posibles desviaciones, evaluar la adecuación de las estimaciones de incertidumbre y contribuir al fortalecimiento de la trazabilidad en las mediciones interlaboratorio.

Los valores de error normalizado se calcularon para 40 mediciones; alrededor del 15 % de estos valores excedieron el valor de 1. Estos resultados corresponden al mismo participante, por lo tanto, se le recomendó con base a su sistema de calidad implementado, realizar un análisis de sus mediciones y establecer acciones que vayan encaminadas a detectar posibles desvíos que originaron que sus resultados no fueran satisfactorios.

Será responsabilidad futura de los laboratorios participantes analizar los resultados obtenidos en esta intercomparación, para evaluar sus procesos y procedimientos de calibración y actualizar sus presupuestos de incertidumbre, cuando corresponda.

Como Centro Nacional de Metrología de Panamá, la realización de estos ejercicios de comparaciones interlaboratorios son una parte integral y permanente de nuestras funciones. Estos ejercicios son fundamentales para mantener la trazabilidad metrológica, evaluar de forma continua la competencia técnica de los laboratorios y detectar oportunamente posibles desviaciones en los procesos de medición. Además, fortalecen la confianza en los resultados emitidos, apoyan la formación del personal técnico y son un componente clave para cumplir con los requisitos de acreditación y

reconocimiento internacional. Su continuidad debe formar parte de la práctica regular de la infraestructura de la calidad, tanto en Panamá como en la región.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a los laboratorios secundarios participantes, en particular a Ángel Escorche de METRICONTROL LABORATORIES, S.A., a Gabriel Parra de P&P Calibration Lab, así como a Ámbar Lorenzo de SIGCSA, por su activa participación en este ejercicio y por cumplir en tiempo y forma con las mediciones requeridas para la sistematización y presentación de los resultados de esta comparación.

Se agradece también a todo el personal del CENAMEP AIP en Panamá, por brindar su apoyo en la coordinación y logística, lo que permitió al laboratorio de humedad relativa completar el cronograma establecido y ejecutar las tareas necesarias para la finalización de la comparación interlaboratorio. Asimismo, se reconoce el apoyo del Dr. Jaime Estrella E., Coordinador de I+D+i del CENAMEP AIP, por su valiosa colaboración en la revisión técnica para la publicación de la primera comparación interlaboratorio en humedad relativa en Panamá.

REFERENCIAS

- Bentley, R. E., 1998. *Handbook of temperature measurement. Vol. 1: temperature and humidity measurement*. Berlín: Springer.
- Castro, F.; Tejedor, A.; Prado, E. y Acevedo, H., 2023. Desarrollo del patrón nacional de humedad relativa en el Centro Nacional de Metrología de Panamá. En: *Acta de Artículos del Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología – APANAC 2023* [En línea]. Panamá: APANAC. pp. 342–348. [Consulta: 21 de enero de 2025].
Disponible en: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/apanac/article/view/3967/4512>
- Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP), 2023. *Visión Metroológica Panamá 2050* [En línea]. Panamá: CENAMEP AIP. ISBN 978-9962-8557-0-5. [Consulta: 21 de enero de 2025]. Disponible en: <https://www.cenamep.org.pa/wp-content/uploads/2023/07/LIBRO%20-%20CENAMEP%20-%20PARA%20PLATAFORMA%20DIGITAL.pdf>
- Hardy, B., 1998. ITS-90 formulations for vapor pressure, frost point temperature, dewpoint temperature and enhancement factors in the range -100 to +100 °C. En: *Papers and Abstracts from the Third International Symposium on Humidity and Moisture*, (1), pp. 214–222.
- Hasegawa, S. y Little, J. W., 1977. The NBS two-pressure humidity generator, mark 2. En: *Journal of Research of the National Bureau of Standards Section A: Physics and Chemistry*, 81A(1), pp. 1–10.
- International Organization for Standardization, 2017. *ISO/IEC 17025:2017. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*. Ginebra: ISO.
- International Organization for Standardization, 2023. *ISO/IEC 17043:2023. Evaluación de la conformidad – Requisitos generales para la competencia de los proveedores de ensayos de aptitud*. Ginebra: ISO.

- Joint Committee for Guides in Metrology, 2008. *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM 1995 with minor corrections)* [En línea]. Sèvres Cedex: JCGM. [Consulta: 22 de enero de 2025].
Disponible en: https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf.
- Joint Committee for Guides in Metrology, 2012. *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)* [En línea]. 3a ed. Sèvres Cedex: JCGM. [Consulta: 22 de enero de 2025].
Disponible en: https://www.bipm.org/documents/20126/41373499/JCGM_200_2012.pdf/f0e1ad45-d337-bbeb-53a6-15fe649d0ff1
- Panamá. Ley No. 52, del 11 de diciembre de 2007. *Gaceta Oficial Digital* [En línea], 19 de diciembre de 2007. [Consulta: 20 de enero de 2025].
Disponible en: <https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/25943/8093.pdf>
- Thunder Scientific Corporation, 2023. *Benchtop two-pressure humidity generator Series 2500 – Operation and maintenance manual* [En línea]. Ed. 25. Albuquerque: Thunder Scientific Corporation. [Consulta: 20 de enero de 2025].
Disponible en: https://www.thunderscientific.com/model_2500/
- Vaisala Oyj, 2007. *Guía del usuario: Medidor portátil de humedad y temperatura HUMICAP de Vaisala HM70* [En línea]. Helsinki: Vaisala. [Consulta: 20 de enero de 2025].
Disponible en: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/HM70%20User's%20Guide%20in%20Spanish.pdf>