
DESARROLLO DEL PATRON NACIONAL DE HUMEDAD RELATIVA EN EL CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA DE PANAMA

Castro, Fanny

Centro Nacional de Metrología de Panamá
Panamá, Panamá
ORCID 0000-0001-7181-8203

Tejedor, Alejandra

Centro Nacional de Metrología de Panamá
Panamá, Panamá
ORCID 0000-0003-3576-5233

Prado, Ebony

Centro Nacional de Metrología de Panamá
Panamá, Panamá
ORCID 0000-0002-1614-5410

Acevedo, Hector

Centro Nacional de Metrología de Panamá
Panamá, Panamá
ORCID 0000-0003-3878-1298

Abstract

The national relative humidity standard has been implemented based on a humidity generator by the two-pressure method, allowing hygrometer calibrations in the range of 30 to 90 %hr maintaining a temperature of 20 °C, and uncertainties from 0,75 %hr to 1,5 %hr. This calibration service was subjected to international technical evaluations, achieving the publication of the calibration and measurement capability (CMC) in the KCDB 2.0 database of the International Bureau of Weights and Measures, therefore, the hygrometer calibrations performed by CENAMEP are recognized and valid worldwide by all signatory countries of the convention of the meter.

Keywords: Relative humidity, CMC, KCDB, calibration, uncertainty.

Resumen

El patrón nacional de humedad relativa ha sido implementado en base a un generador de humedad por el método de dos presiones, permitiendo calibraciones de higrómetros en el rango de 30 a 90 %hr manteniendo una temperatura de 20 °C, e incertidumbres desde 0,75 %hr a 1,5 %hr. Este servicio de calibración fue sometido a evaluaciones técnicas internacionales, logrando la publicación de la capacidad de calibración y medición (CMC) en la base de datos KCDB 2.0, del Buró Internacional de Pesas y Medidas, por ende, las calibraciones de higrómetros realizadas por el CENAMEP son reconocidas y válidas a nivel mundial por todos los países firmantes de la convención del metro.

Palabras claves: Humedad relativa, CMC, KCDB, calibración, incertidumbre.

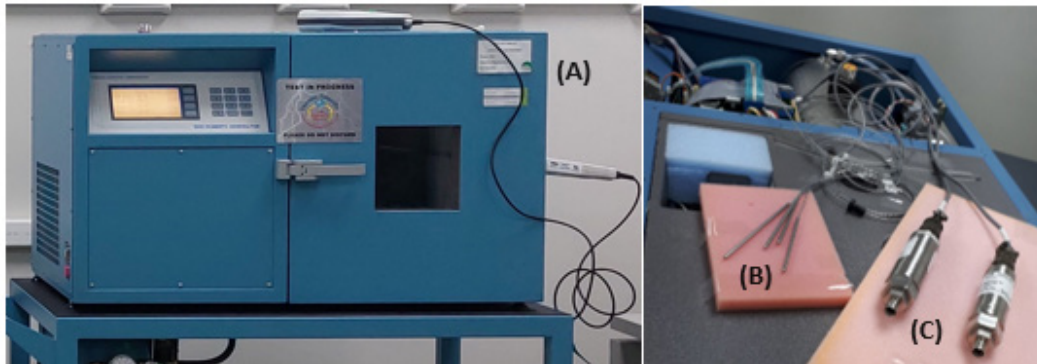
1. INTRODUCCIÓN

En la magnitud de humedad relativa, Panamá no contaba con un patrón nacional; por ello el laboratorio de humedad relativa del CENAMEP AIP ha trabajado desde el año 2016 en el desarrollo y establecimiento de este patrón utilizando un generador de humedad por el método de dos presiones de tipo comercial. Finalmente, en el mes de marzo del año 2023, luego de un riguroso proceso de evaluación por pares internacionales, el laboratorio secundario de humedad relativa del CENAMEP AIP logró publicar a nivel mundial las capacidades de calibración y medición (CMC por sus siglas en inglés), para el servicio de calibración de higrómetros, en la base de datos de comparaciones claves (KCDB por sus siglas en inglés) del Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM). Esta CMC tiene un alcance de 30 %hr a 90 %hr con incertidumbres entre 0.75 %hr a 1.5 %hr, manteniendo en la cámara de pruebas una temperatura de 20 °C.

2. MÉTODO

A. Generación de Humedad Relativa por el método de dos Presiones

La humedad relativa es el contenido de vapor de agua en una muestra de gas [1]. Para generar una muestra de aire con una humedad relativa conocida, por el método de dos presiones, es decir una humedad relativa de referencia, se requiere lograr que una corriente de gas a una presión elevada se sature con respecto a la fase líquida o sólida del agua y luego expandirla isotérmicamente (manteniendo la misma temperatura) a una presión inferior; las mediciones de la presión y la temperatura de la corriente de gas en el saturador, y 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 [2].

Fig.1 Generador de humedad por dos presiones y sensores internos

Generador de humedad (A). Sensores internos: termistores (B) son calibrados en el laboratorio de temperatura de CENAMEP AIP. Transductores de presión (C) son calibrados por el Centro Nacional de Metrología de México

El equipo utilizado para la generación de humedad cuenta con cuatro termistores (sensores de temperatura) y dos transductores de presión, ver Fig.1, estos sensores son calibrados para asegurar la trazabilidad de las mediciones al sistema internacional de unidades. La ecuación para la obtención de humedad relativa de referencia [3], [4], [5] está dada por la ecuación 1 y en la tabla 1 se presentan los factores de corrección aplicables a la dicha ecuación.

$$\%RH(\text{referencia}) = \frac{f_w(P_s, T_s)}{f_w(P_c, T_c)} \frac{e_w(T_s)}{e_w(T_c)} \frac{P_c}{P_s} * 100 \quad (1)$$

Las mediciones de presión de cámara (P_c) y saturador (P_s) deben ser tomadas en pascales (Pa) y las mediciones de temperatura del saturador (T_s) y la cámara (T_c) en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) [3], [4], [5].

Tabla 1. Factores de corrección de la humedad relativa de referencia

Factor de mejoramiento en temperatura y presión					
Greenspan [4], [5] $f_w = \exp \left[\alpha \left(1 - \frac{e_w}{P} \right) + \beta \left(\frac{P}{e_w} \right) - 1 \right]$ (2)	$\alpha = \sum_{i=0}^3 A_i T_i$	A0	3,53624E-04	B0	-1,07588E+01
		A1	2,93228E-05	B1	-2,53591E-04
	$\beta = \exp \sum_{i=0}^3 B_i T_i$	A2	2,61474E-07	B2	6,32529E-02
		A3	8,57538E-09	B3	6,33784E-07
Factor de presión de vapor efectiva del aire, con respecto al agua a presión absoluta P y temperatura					
Wexler (coeficientes modificados por Hardy) [4], [5] $e_w = \left\{ \sum_{i=0}^6 C_i (T + 273.15)^{i-2} \right\} + D \ln(T + 273.15)$ (3)	C0	-2,8365744 E+3	C4	1,6261698 E-5	
	C1	-6,028076559 E+3	C5	7.0229056 E-10	
	C2	1,954263612 E+1	C6	-1,8680009 E-13	
	C3	-2,737830188 E-2	D	2,7150305	

Ambos factores de corrección deben calcularse, tanto para las mediciones de presión y temperatura efectuadas en el saturador (y en la cámara (para poder aplicar la ecuación 1 de humedad relativa de referencia.

3. RESULTADOS

3.1 Proceso de calibración de medidores de humedad (higrómetros)

En la tabla 2, se presentan los datos de entrada para el cálculo de la humedad relativa de referencia y la lectura de un objeto bajo calibración (OBC) los valores corresponden al promedio de 10 mediciones de cada sensor.

Tabla 2. Datos de entrada

Ps* [Pa]	Pc* [Pa]	Ts* [°C]	Tc* [°C]	Humedad relativa de referencia** [%hr]	Lecturas OBC [%hr]	Corrección del OBC [%hr]
338051	100900	20,001	20,027	30,01	30,15	0,14

*Valores promedio de Ps, Pc, Ts y Tc corregidos utilizado la información correspondiente de los certificados de calibración de cada sensor.

**Aplicando la ecuación 1: Fw(Ps,Ts)= 1,0110E+00; ew(Ts)= 2339,33; Fw(Pc,Tc)= 1,0040E+00; ew(Tc)= 2343,19 se despeja el valor de humedad relativa de referencia.

La corrección es el valor añadido algebraicamente al resultado no corregido de una medición para compensar el error sistemático [6]. Al comparar el valor de referencia con las lecturas

del OBC obtenemos la corrección del OBC. Al utilizar el OBC a una humedad relativa de 30 % es necesario corregir el valor en 0,14 %hr (ecuación 4).

$$\text{Valor corregido} = \text{Lectura del OBC} + \text{corrección} \quad (4)$$

3.2 Incertidumbre de medida

Se estima de acuerdo con la guía de estimación de incertidumbre [7]. Debido a que para la obtención del valor de referencia en %HR son necesarias mediciones en temperatura (°C) y presión (Pa), se debe tomar en cuenta las componentes asociadas en las magnitudes °C y Pa. El modelo es extenso por lo que se calculan por separado y se identifican como componentes de Ps, Pc, Ts y Tc (ecuaciones 5, 6, 7 y 8 respectivamente) para luego colocarlas en modelo final de la corrección (ecuación 9) y la propagación de incertidumbres (ecuación 10).

Tabla 3. Componentes de incertidumbre para las mediciones en Ps, Pc, Ts y Tc

Componentes			Modelo matemático
Ps	Calibración	Deriva	$\delta P_s = \delta Cal_{P_s} + \delta Res_{P_s} + \delta Rep_{P_s} + \delta Der_{P_s} + \delta Hist_{P_s}$ (5)
	Resolución	Histéresis	
	Reproducibilidad		
Pc	Calibración	Deriva	$\delta P_c = \delta Cal_{P_c} + \delta Res_{P_c} + \delta Rep_{P_c} + \delta Der_{P_c} + \delta Hist_{P_c}$ (6)
	Resolución	Histéresis	
	Reproducibilidad		
Ts	Calibración	Eficiencia del saturador	$\delta T_s = \delta Cal_{T_s} + \delta Res_{T_s} + \delta Rep_{T_s} + \delta Der_{T_s} + \delta AC_{T_s} + \delta E_{Sat} + \delta Hist_{T_s} + \delta Un_{Tem} + \delta Imp_{aire} + \delta Imp_{agua}$ (7)
	Resolución	Histéresis	
	Repetibilidad	Uniformidad	
	Deriva	Impurezas aire	
	Autocalentamiento	Impurezas agua	
Tc	Calibración	Homogeneidad	$\delta T_c = \delta Cal_{T_c} + \delta Res_{T_c} + \delta Rep_{T_c} + \delta Der_{T_c} + \delta AC_{T_s} + \delta H_{cam} + \delta E_{cam} + \delta Hist_{T_c}$ (8)
	Resolución	Estabilidad	
	Reproducibilidad	Histéresis	
	Deriva		
	Autocalentamiento		

El modelo matemático de la corrección tomando en cuenta las componentes de Ps, Pc, Ts y Tc:

$$\text{Correccion} = (HR_{ref} + \delta Pc + \delta Ps + \delta Tc + \delta Ts + \delta f_{mej} + \delta HR_{g-c} + \delta e_{T_s} + \delta e_{T_c} + \delta f_{(P_s, T_s)} + \delta f_{(P_c, T_c)}) - (HR_x + \delta RH_{xresol} + \delta HR_{xrep} + \delta Hist_x) \quad (9)$$

La propagación de incertidumbre:

$$\begin{aligned}
 u_{(Correccion)}^2 = & (c_{Pc} \cdot u_{Pc})^2 + (c_{Ps} \cdot u_{Ps})^2 + (c_{Ts} \cdot u_{Ts})^2 + (c_{Tc} \cdot u_{Tc})^2 + (1 \cdot u_{fmej})^2 \\
 & + (1 \cdot u_{g-c})^2 + (c_{eTs} \cdot u_{eTs})^2 + (c_{eTc} \cdot u_{eTc})^2 + (c_{fs} \cdot u_{f(Ps,Ts)})^2 + (c_{fc} \cdot u_{f(Pc,Tc)})^2 \\
 & + (1 \cdot u_{HRxrep})^2 + (1 \cdot u_{RHxresol})^2 + (1 \cdot u_{Histx})^2
 \end{aligned} \quad (10)$$

Donde los coeficientes de sensibilidad de Ps, Pc, Ts y Tc corresponden a la derivada parcial de la ecuación de humedad relativa de referencia (1) con respecto a Ps, Pc, Ts y Tc en cada punto de calibración.

Los coeficientes de sensibilidad de e(Ts) y e(Tc) corresponden a la derivada parcial de la ecuación de humedad relativa de referencia (1) con respecto a e(Ts) y e(Tc) en cada punto de calibración. Los coeficientes de sensibilidad para f(Ps,Ts) y f(Pc,Ts) corresponden a la derivada parcial de la ecuación de humedad relativa de referencia (1) con respecto a f(Ps,Ts) y f(Pc,Ts).

Los demás coeficientes de sensibilidad son iguales a 1 por tratarse de componentes expresadas directamente en porcentaje de humedad relativa.

3.3 Publicación de la Capacidad de Medición y Calibración en la base de datos del Buró Internacional de Pesas y Medidas

En marzo de 2023, luego de un extenso proceso de revisión técnica, Panamá a través del CENAMEP AIP logró publicar su CMC (capacidad de medición y calibración) en la base de datos del Buró internacional de pesas y medidas KCDB por sus siglas en inglés, en la tabla 4 se detallan los valores declarados [8] en el rango de 30 a 90 %hr manteniendo en la cámara una temperatura de 20 °C.

Tabla 4. CMC en humedad relativa declarada por CENAMEP AIP

Parámetros	Valor mínimo medido	Valor máximo medido	Unidad	U Valor mínimo	U Valor máximo	Unidad	Factor de cobertura k	Nivel de confianza en %
Temperatura 20 °C	30	90	%hr	0,75	1,5	%hr	2	95

4. CONCLUSIONES

Gracias al desarrollo del patrón nacional de humedad y con la subsecuente publicación de la capacidad de calibración y medición (CMC), en la base de datos del Buró Internacional de Pesas y medidas, las calibraciones de higrómetros realizadas por el CENAMEP AIP son

reconocidas a nivel mundial y tienen trazabilidad al sistema internacional de unidades. Esto fortalece la confiabilidad en las mediciones de humedad relativa, en los centros de investigación y en la industria en general ya que estos organismos tendrán a su disposición los servicios de calibración de forma local por medio del CENAMEP AIP, evitando tener que enviar sus equipos a calibración en el extranjero.

El establecimiento del patrón nacional de humedad deja la puerta abierta para seguir investigando y desarrollando mejoras al mismo, por ejemplo, se identifica la oportunidad de mejora en la ampliación del rango para incluir humedades por debajo de 30 %hr y optar por ampliar el rango de temperatura de referencia de modo que no quede solo limitado en 20 °C.

REFERENCIAS

- [1] R. E. Bentley, Handbook of Temperature Measurement Vol. 1: Temperature and Humidity Measurement (Handbook of Temperature Measurement). Singapore: Springer, 1998.
- [2] S. Hasegawa y J. W. Little, "The NBS Two-Pressure Humidity Generator, Mark 2", J. Res. Nat. Bur. Standards Sect. A: Phys. Chemistry, vol. 81A, n. 1, pp 81, enero de 1977
- [3] "Reference Manuals - Thunder Scientific Operation & Maintenance Manuals". Thunder Scientific. Accedido el 8 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: https://www.thunderscientific.com/reference_manuals/
- [4] B. Hardy. "ITS-90 formulations for vapor pressure, frostpoint temperature, dewpoint temperature and enhancement factors in the range -100 to +100 °C", Papers and Abstracts from the Third International Symposium on Humidity and Moisture, vol 1, pp 214-222, abril de 1998
- [5] J. Nielsen, J. Lovell-Smith, M.J. de Groot, S. Bell, "Uncertainty in the Generation of Humidity", CCT/03-20 (BIPM, Sèvres Cedex, France, 2003)
- [6] J. V. Nicholas, Traceable temperatures: An introduction to temperature measurement and calibration. Chichester [England]: Wiley, 1994
- [7] "BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML. Evaluation of measurement data | Guide to the expression of uncertainty in measurement". Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 100:2008. Accedido el 11 de septiembre de 2023 [En línea]. Disponible: https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf/cb0ef43f-baa5-11cf-3f85-4dcd86f77bd6
- [8] "CMC Advanced Search". BIMP / KCDB. Accedido el 8 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.bipm.org/kcdb/cmc/search?domain=PHYSICS&areaId=6&keywords&countries=1&countries=59>

AUTORIZACIÓN Y LICENCIA CC

Los autores autorizan a APANAC XIX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC XIX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.