

# Cámara con Flujo de Aire para la Calibración en Temperatura de Termohigrómetros

Jesús A. Dávila P., Enrique Martines L.

Centro Nacional de Metrología  
km 4,5 Carretera a Los Cués, 76246, Querétaro, México.  
jdavila@cenam.mx

## RESUMEN

Los termohigrómetros tienen un diseño y construcción tal que su calibración en temperatura generalmente no se puede hacer en baños líquidos, por lo que se deben calibrar en pozos secos inmersos en baños líquidos o en cámaras con temperatura controlada. En particular, la calibración en pozo seco presenta problemas debido a la inadecuada transferencia de calor entre el medio de calibración y el termómetro y, por lo general, el proceso requiere de largos periodos de estabilización. Se construyó una cámara con flujo de aire para la calibración en temperatura de termohigrómetros en el alcance de 0 °C a 50 °C. Se describen las características de la cámara y se presentan los resultados de calibración de un termohigrómetro al operar la cámara como "pozo seco" y como pozo con flujo de aire.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los termohigrómetros miden la temperatura y la humedad en espacios abiertos con aire o gas en circulación, tales como almacenes, laboratorios, cámaras ambientales, ductos, cuartos limpios, entre otros.

El resultado de la medición de temperatura en gases es afectado por los diversos factores como se describe en la literatura [1, 2]. Estos factores se deben a la inadecuada transferencia de calor entre el medio y el sensor.

La circulación de aire mejora la uniformidad de la temperatura del medio y reduce los tiempos de respuesta del termómetro.

Generalmente, los termohigrómetros tienen termómetros de baja exactitud, es decir, alcanzan incertidumbres desde  $\pm 0,1$  °C hasta  $\pm 1$  °C [3, 4]. Sin embargo, se pueden usar termómetros de mejor calidad, como termómetros de resistencia de platino, en aplicaciones donde se requiere medir temperatura ambiente con incertidumbre menor; este trabajo no considera la calibración de este tipo de termómetros.

Los termómetros que forman parte de termohigrómetros no se pueden sumergir directamente en líquidos y deben ser calibrados en cámaras o en baños con pozo seco.

Cuando se calibra con cámaras ambientales, la existencia de gradientes térmicos y la inestabilidad de la cámara son los principales problemas.

Los pozos secos no son mejores: la inadecuada transferencia de calor entre el termómetro y el pozo seco provoca:

- que se requieran periodos de tiempo largos para alcanzar una lectura estable;
- falta de reproducibilidad; y
- dependencia de la lectura en el termómetro con la temperatura ambiente.

En el laboratorio de humedad del CENAM se construyó una cámara con flujo de aire para calibrar los termómetros de los termohigrómetros que opera en el intervalo de 0 °C a 50 °C. Se describe su diseño, su caracterización y su operación.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA

La cámara tiene circulación de aire y se sumerge en un baño líquido con temperatura controlada. La temperatura del aire se controla a la misma temperatura del baño.

La cámara es cilíndrica y de acero inoxidable, con un diámetro de 8 cm y una altura de 20 cm. El sistema incluye un serpentín de aproximadamente 4 m de largo y diámetro de 0,64 cm. La cámara y el serpentín se sumergen en un baño líquido con temperatura controlada.

Con la ayuda de una bomba de aire y un controlador de flujo másico se inyecta gas a la cámara a través del serpentín; El serpentín permite acondicionar la temperatura del aire a aproximadamente la temperatura del baño.

La cámara tiene acometidas para colocar un termómetro patrón y un termohigrómetro, el cual

contiene al termómetro bajo calibración. La cámara tiene también un conducto para controlar la salida de aire hacia el ambiente. En la Fig. 1 se muestra una fotografía de la cámara y el serpentín.



Fig. 1. Cámara con serpentín para el acondicionamiento térmico de aire.

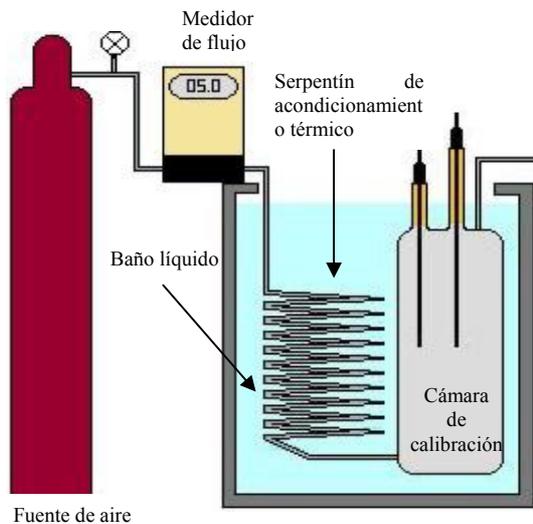


Fig. 2. Esquema del sistema de calibración

La cámara y el serpentín se colocan en el baño líquido con temperatura controlada y se sumergen aproximadamente 5 cm por debajo del nivel del líquido. El serpentín sirve para acondicionar la temperatura del gas que entra a la cámara. En la Fig. 2 se muestra un esquema de la operación del sistema.

Las acometidas donde se colocan el higrotermómetro y el termómetro patrón se aíslan térmicamente para reducir el efecto de la temperatura ambiente.

**3. CARACTERIZACIÓN**

El sistema se caracterizó en el efecto del flujo, estabilidad y gradientes de temperatura. La caracterización se realizó con dos termómetros calibrados de resistencia de platino tipo industrial.

**3.1. Determinación del Efecto del Flujo**

Para determinar la condición de flujo de aire hacia la cámara y asegurar la reproducibilidad de los resultados, se realizaron mediciones a diferentes valores de flujo entre 0 L/min y 10 L/min. Estas mediciones se realizaron con un termómetro que se colocó en el centro de la cámara a temperatura controlada y se le hizo circular aire.

Al mismo tiempo se colocó un termómetro en el baño líquido que contiene a la cámara; este termómetro permitió conocer la diferencia de temperatura dentro de la cámara y el baño, lo cual es necesario para evaluar el efecto del flujo en la temperatura de la cámara. El sistema utilizado para medición y control de flujo cubre el alcance de 0 L/min a 20 L/min.

La Fig. 3 muestra los resultados para cuatro valores de flujo. Se encontró que para flujos mayores de 5 L/min el valor de temperatura dentro de la cámara no se ve afectado por cambio de flujo.

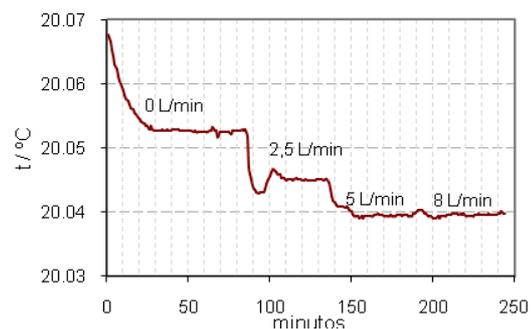


Fig. 3. Determinación del flujo de aire para operar de la cámara de calibración.

**3.2. Estabilidad**

La estabilidad de la cámara se midió en dos condiciones i) sin flujo de aire y, ii) con flujo de aire. En ambos casos la estabilidad de la temperatura fue menor que 1 mK en el intervalo de 0 °C a 50 °C, la

cual se determinó de la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de la temperatura medida dividida entre raíz de doce, es decir se asume una distribución rectangular [5]. Los valores de estabilidad se determinaron en un periodo de aproximadamente una hora.

**3.3. Gradientes**

El gradiente se determinó de la diferencia entre los dos termómetros, uno de los cuales se mantuvo en una posición fija. La evaluación de los gradientes se realizó al operar la cámara como pozo seco y con flujo de aire; donde  $\Delta t$  está definido por:

$$\Delta t = t_1 - t_2, \tag{1}$$

donde  $t_1$  es la temperatura indicada por el termómetro fijo,  $t_2$  es la temperatura indicada por el termómetro que cambia de posición.

Para evaluar los gradientes horizontales, los termómetros se colocaron en la cámara a la misma profundidad, uno ellos se colocó en el centro de la cámara ( $t_1$ ) y el otro a una distancia de aproximadamente 4 cm ( $t_2$ ) respecto al termómetro del centro. Los gradientes horizontales sólo se midieron en dos puntos dado que la cámara cuenta con acometidas fijas.

El gradiente ( $\Delta t$ ) se midió sin flujo de aire y con flujo de aproximadamente 6 L/min.

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la medición de los gradientes horizontales a diferentes valores de temperatura.

Tabla 1. Gradientes horizontales en la cámara y su respectiva incertidumbre.

Temperatura de prueba $t / ^\circ\text{C}$	Gradiente horizontal ( $\Delta \pm u$ ) $^\circ\text{C}$	
	Sin aire	Con aire
0	0,15 ± 0,04	-0,03 ± 0,01
10	0,12 ± 0,03	0,02 ± 0,01
20	0,08 ± 0,02	0,04 ± 0,01
40	-0,16 ± 0,05	0,03 ± 0,01
50	-0,19 ± 0,05	0,04 ± 0,01

En los resultados de la Tabla 1 se observa que los gradientes horizontales disminuyen cuando hay flujo de aire.

Se realizaron mediciones de temperatura dentro de la cámara con dos termómetros uno fijo y el otro a diferentes profundidades. Estas mediciones se realizaron con flujo de aire a 6 L/min y sin flujo. Los resultados obtenidos a 40 °C se muestran en la Fig. 4.

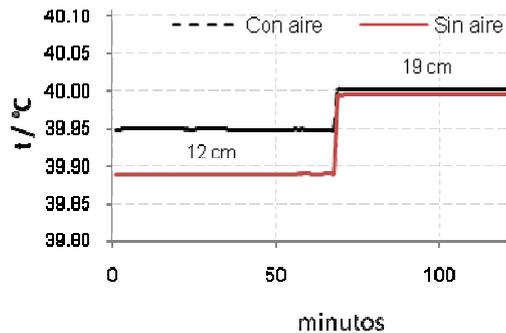


Fig. 4. Diferencia de temperatura por inmersión.

En la Fig. 4 se puede observar que la circulación de aire reduce la diferencia de temperatura entre las dos profundidades de inmersión. La diferencia obtenida respecto a la temperatura del termómetro fijo permitió evaluar el gradiente de temperatura. Los gradientes de temperatura fueron aproximadamente 0,1 °C sin flujo de aire, y de 0,05 °C con flujo de aire.

**4. CALIBRACIÓN DE UN TERMÒMETRO AMBIENTAL POR DOS MÉTODOS**

Se realizó una comparación entre los sistemas de calibración de termómetros ambientales al usar la cámara sin flujo y con flujo de aire.

Se calibró un termómetro con en el intervalo de 10 °C a 50 °C. El termómetro forma parte de un termohigrómetro.

Se utilizó como patrón un termómetro de resistencia de platino tipo industrial, cuyo vástago se aisló con un tubo de nylamid de aproximadamente 2 cm de pared para evitar la influencia de la temperatura ambiente. El tubo a su vez sirvió de guía para colocar el termómetro dentro de la cámara de prueba.

Durante la calibración los termómetros se colocaron a una profundidad de 16 cm y separados 4 cm entre uno y otro.

Las fuentes de incertidumbre consideradas en el sistema de calibración por pozo seco y con flujo de aire son, Incertidumbre del patrón  $u_p$ ; Incertidumbre por resolución  $u_{res}$ ; Incertidumbre de las lecturas  $u_{lec}$ ; Incertidumbre de la cámara  $u_{cam}$ .

En la Tabla 2 se muestran los valores de incertidumbre debido a la cámara  $u_{cam}$  con flujo y sin flujo de aire. Estos valores incluyen las incertidumbres por estabilidad, gradientes horizontales y verticales.

Tabla 2. Contribución de la Incertidumbre de la cámara para la calibración en pozo con aire y sin aire.

$t / ^\circ\text{C}$	$u_{cam}$ (sin aire)	$u_{cam}$ (con aire)
10	0,09	0,03
20	0,07	0,04
30	0,07	0,03
40	0,11	0,03
50	0,12	0,04

La incertidumbre del patrón  $u_p$ , en el intervalo de calibración es  $0,014\text{ }^\circ\text{C}$  ( $k=1$ ).

La incertidumbre de las lecturas  $u_{lec}$  en cada punto de prueba fue de  $0,01\text{ }^\circ\text{C}$ . Se obtuvo de la desviación estándar de la muestra calculada a partir de al menos quince mediciones.

El instrumento bajo calibración tiene una resolución de  $0,1\text{ }^\circ\text{C}$ . La incertidumbre debida a esta componente es de  $0,03\text{ }^\circ\text{C}$  ( $k=1$ ) y se obtuvo al aplicar una distribución rectangular.

Cuando la cámara se usa sin flujo de aire, la fuente de mayor contribución es la incertidumbre de la cámara.

En la Fig. 5 se muestran los resultados de la calibración. Los valores de incertidumbre corresponden a un factor de cobertura  $k=2$ .

Los resultados obtenidos muestran que los valores de corrección se reducen cuando el sistema se opera con un flujo de aire. Esto se debe a que el flujo de aire dentro de la cámara mejora la transferencia de calor entre el medio y los termómetros, además, reduce los gradientes de temperatura. La reducción de los gradientes de temperatura disminuye en aproximadamente la mitad su contribución en la incertidumbre expandida.

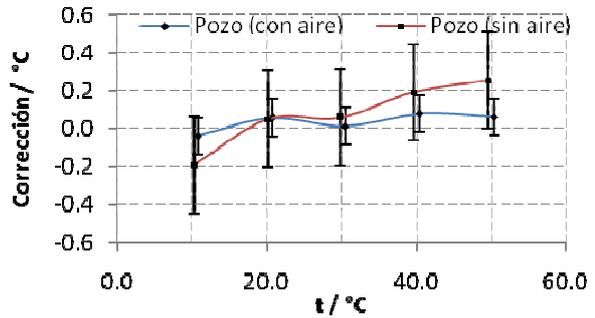


Fig. 5. Resultados de calibración en temperatura de un termohigrómetro en dos condiciones de operación del sistema de calibración.

### 5. CONCLUSIONES

Se construyó una cámara con flujo de aire que permite calibrar los termómetros de termohigrómetros en el intervalo de  $0\text{ }^\circ\text{C}$  a  $50\text{ }^\circ\text{C}$ , el cual tiene ventajas respecto al sistema de calibración con pozo seco.

La circulación de aire en la cámara mejora la transferencia de calor entre el medio y los termómetros: se reducen los gradientes de temperatura.

Los resultados de calibración en temperatura de un termohigrómetro en un pozo seco y con flujo de aire, muestran una reducción en la incertidumbre cuando se opera con flujo de aire. Esta reducción es aproximadamente la mitad de la incertidumbre con respecto a la obtenida con pozo seco.

### REFERENCIAS

- [1] Danniels, C. E., *Measurement of gas temperature and the radiation compensating thermocouple*, Journal of Applied Meteorology, vol. 7, 1968, pp.1026-1035.
- [2] Ney E. P., Maas R. W., Huch W. F., *The measurement of atmospheric temperature*, Journal of Meteorology, vol. 18, 1960, pp.60-80.
- [3] CENAM, ema A. C., Guía sobre trazabilidad e incertidumbre en la medición de temperatura ambiental en laboratorios de ensayo, 2004.
- [4] CENAM, ema A. C., Guía sobre trazabilidad e incertidumbre en la medición de temperatura de gases en laboratorios de ensayo, 2004.
- [5] CENAM, ema A. C., Guía sobre trazabilidad e incertidumbre en las mediciones de caracterización térmica de baños y hornos de temperatura controlada, 2008.