

INFLUENCIA DE LA CONVECCIÓN EN LA TEMPERATURA DE CAVIDADES USADAS PARA CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE RADIACIÓN

Daniel Cárdenas García, David Licea Panduro, Edgar Méndez Lango
Centro Nacional de Metrología
km 4.5 Carretera a Los Cués, 76246, Querétaro, México
Tel. (442) 211 05 00 ext.3468 Fax. (442) 215 39 04
dcardena@cenam.mx

Resumen: Las cavidades isotérmicas que se utilizan para calibrar termómetros de radiación no son cerradas y esto permite la existencia de corrientes de convección que influyen en la uniformidad de la temperatura de la cavidad. Un termómetro de radiación recibe la radiación proveniente de la cavidad y que se encuentra en su campo de visión. Las corrientes de convección pueden ocasionar un gradiente de temperaturas en la cavidad de tal forma que la lectura del termómetro de radiación carezca de significado físico. Una forma de disminuir el efecto de las corrientes de convección es tapar la cavidad para aproximarse a un estado isotérmico dentro de la cavidad y posteriormente destapar para realizar la medición con el termómetro de radiación.

1. INTRODUCCIÓN

Los termómetros de radiación (IRT) se pueden calibrar con cavidades isotérmicas cuyos valores de temperatura tengan trazabilidad.

Como las cavidades que se utilizan no son cerradas, existen corrientes de convección que pueden influir en la uniformidad de la temperatura de la cavidad.

Se desea saber si el intercambio de calor por medio de corrientes de convección, entre una cavidad con el medio ambiente, es una variable significativa al medir la temperatura de la cavidad con un termómetro de radiación. Para esto se realizaron experimentos a dos temperaturas: una abajo y otra arriba de la temperatura ambiente.

2. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

2.1. Descripción

Los experimentos consisten en medir la temperatura de radiancia de una cavidad bajo dos condiciones. En la primera, la medición se realiza como comúnmente se usan estas cavidades: sin preparación previa. En la segunda, se tapa la

apertura de la cavidad por un tiempo para después retirar la tapa y realizar la medición.

La cavidad que utilizamos es cilíndrica y cerrada por un lado (fig. 1). El diámetro interno es de 35 mm y la longitud interna de 180 mm. Es de grafito (fig.2) y sus paredes tienen una emisividad nominal de 0.85 ± 0.10 [1].

A la cavidad se le puso una tapa con una apertura de 14 mm de diámetro (fig. 3). Dada la relación longitud/diámetro, la emisividad del grafito y la tapa con apertura, se estima que la cavidad tiene una emisividad efectiva mayor que 0.997 [2].

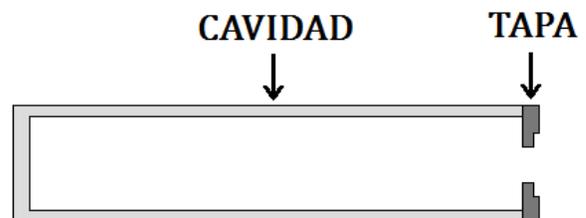


Fig. 1 Esquema de la cavidad con tapa.



Fig. 2 Vista frontal de la cavidad sin la tapa

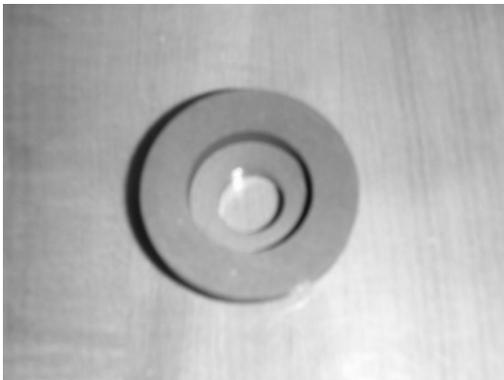


Fig. 3 Tapa con apertura de 14 mm de diámetro.

La cavidad se colocó en una probeta de vidrio con diámetro interno de 43 mm y longitud de 490 mm para facilitar su manejo.

2.2. Experimento 1

Para el primer experimento, a temperatura menor que la ambiente, la probeta se sumergió en un baño de temperatura controlada a $0.006\text{ °C} \pm 0.001\text{ °C}$ medida con un termómetro de resistencia de platino.

Se midió la temperatura de la cavidad con un IRT comercial calibrado (N.S. 20003042) el cual se enfocó al fondo de la misma. La incertidumbre de calibración para este IRT es de 0.06 °C ($k = 2$) para temperaturas menores que 200 °C .

El IRT se colocó a una distancia de 600 mm del fondo de la cavidad para que su campo de medición fuera menor que 14 mm [3]. El valor de temperatura de la cavidad obtenido en la primer serie de mediciones fue $0.6 \pm 0.1\text{ °C}$ (fig. 4).



Fig. 4 Medición de la temperatura de la cavidad con IRT

Si la diferencia entre el valor de temperatura del baño de 0.006 °C y la temperatura mostrada por el IRT de 0.6 °C se debe al intercambio de calor por convección entonces debemos observar un cambio si cubrimos la apertura de la probeta con un tapón. Para comprobar esto utilizamos un tapón de hule con diámetro de 43 mm y conductividad térmica menor que $0.2\text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$, (fig. 5).

La probeta se mantuvo tapada durante varias horas hasta llegar a un estado de equilibrio térmico.



Fig. 5 Arreglo experimental que muestra el tapón de hule tapando la apertura de la probeta.

Se midió la temperatura exterior del tapón desde el momento en que fue colocado. Se observó que su temperatura disminuyó desde el valor de temperatura ambiente hasta un valor estable de 18.2 °C . En ese momento se consideró que la

cavidad alcanzó un estado estable más cercano al isotérmico.

Posteriormente, se retiró el tapón y se midió la temperatura durante 10 minutos de donde se obtuvo el valor de $0.0 \pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ (fig. 6). En la tabla 1 se muestran los resultados de las mediciones.



Fig. 6 El IRT muestra el valor $0.0 \text{ }^\circ\text{C}$.



Fig. 7 Medición de la temperatura de la cavidad con PRT (izquierda), sin tapón, y después con IRT (derecha).

Para el segundo conjunto de mediciones, el PRT se pasó a través del tapón usado para disminuir las corrientes de convección (fig.8). Se midió la temperatura de la cavidad durante varias horas, y posteriormente, se retiraron el PRT y el tapón, y se midió la temperatura con el termómetro de radiación. Los resultados de las mediciones aparecen en la tabla 2.

	Baño (PRT)	IRT
Tapón	Temperatura / $^\circ\text{C}$	
No	0.006 ± 0.001	0.6 ± 0.1
Sí		0.0 ± 0.1

Tabla 1 Mediciones de la temperatura de la cavidad dentro de un baño de temperatura controlada.

2.3. Experimento 2

Se hizo una variante del experimento, esta vez se midió la temperatura de la cavidad con un termómetro de resistencia de platino (PRT). Este PRT tiene una incertidumbre de calibración de $0.001 \text{ }^\circ\text{C}$ a temperaturas menores que $200 \text{ }^\circ\text{C}$.

En el primer conjunto de mediciones se colocó el PRT dentro de la cavidad tocando el fondo y sin tocar sus paredes, sin tapan la apertura de la cavidad y se dejó así durante varias horas después de las cuales alcanzó un valor estable (fig. 7). A continuación se retiró el PRT y se midió con el IRT a una distancia de 600 mm del fondo de la cavidad.



Fig. 8 Medición de la temperatura de la cavidad con PRT, con tapón, y después con IRT.

	PRT	IRT
Tapón	Temperatura / $^\circ\text{C}$	
No	0.68 ± 0.01	0.7 ± 0.1
Sí	0.010 ± 0.004	0.0 ± 0.1

Tabla 2 Mediciones de la temperatura de la cavidad con PRT e IRT dentro de un baño de temperatura controlada.

Las cavidades de temperatura variable que se usan para calibrar IRT generalmente utilizan un termómetro de contacto ubicado cerca del fondo de la cavidad y, de acuerdo con [4], si la apertura es grande y expuesta al medio ambiente, las corrientes de convección pueden llevar a una desviación entre

la temperatura de radiancia de la cavidad y la temperatura que se mide con el termómetro de referencia. En consecuencia suponemos que la diferencia de temperaturas observada al medir con y sin tapón se debe a las corrientes de convección.

2.4. Experimento 3

El siguiente experimento se realizó a una temperatura mayor que la ambiente. La probeta con la cavidad se colocó en un horno de tres zonas cuya temperatura fue de 100 °C.

De nueva cuenta, en el primer conjunto de mediciones de temperatura se colocó el PRT dentro de la cavidad y tocando el fondo (fig. 9), pero sin tocar sus paredes, sin tapar la entrada y se dejó así durante varias horas, después de las cuales, alcanzó un valor estable. A continuación se retiró el PRT y se midió con el IRT (fig. 10).



Fig. 9 PRT dentro de la cavidad sin tapón, con la cavidad dentro de un horno de tres zonas.



Fig. 10 Medición de la temperatura de la cavidad con IRT.

En el segundo conjunto de mediciones, se colocó el tapón para disminuir las corrientes de convección. Se midió con el PRT durante varias horas hasta que se alcanzó un valor estable (fig. 11), y posteriormente, se retiraron el PRT y el tapón, y se

midió la temperatura con el IRT (fig. 12).

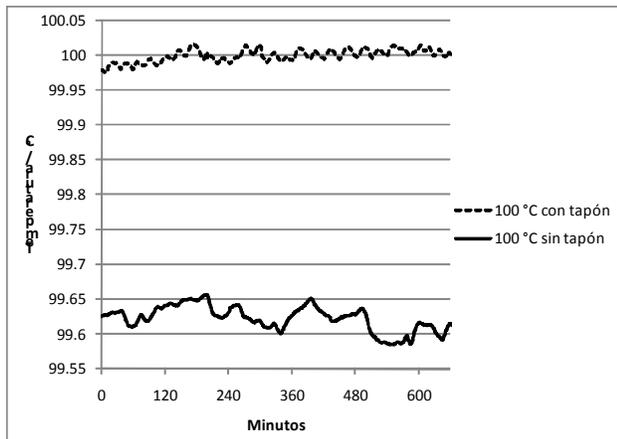


Fig. 11 PRT dentro de la cavidad con tapón



Fig. 12 Medición de la temperatura de la cavidad con IRT retirando el tapón.

En la gráfica 1 aparecen los resultados del comportamiento del valor de la temperatura de la cavidad medida con el PRT. En dicha gráfica, en los datos correspondientes a la medición con tapón, se observa una deriva residual, después de 120 minutos, del orden de centésimas de grado que se tomó en cuenta para la estimación de la incertidumbre total de las mediciones mostradas en la tabla 3.



Gráfica 1 Medición de la temperatura de la cavidad con PRT con y sin tapón

Tapón	PRT	IRT
	Temperatura / °C	
No	99.62 ± 0.02	99.6 ± 0.1
Sí	100.00 ± 0.01	100.0 ± 0.1

Tabla 3 Mediciones de la temperatura de la cavidad con PRT e IRT dentro de un horno de tres zonas.

3. DISCUSIÓN

Los experimentos mostrados son fáciles de reproducir en laboratorio y se pueden utilizar para establecer la magnitud de la variación debida a las corrientes de convección en una cavidad dada, particularmente en aquellas que se utilizan para calibración, y en su caso determinar si es significativo el error que introduce.

En nuestro caso, el error debido a las corrientes de convección es de 0.7 °C a 0 °C y 0.4 °C a 100 °C. Para reducir este error se tapó la apertura de la cavidad por más de 120 minutos, previo a la medición, para obtener una mejor aproximación a una cavidad isotérmica.

En la práctica, el error en temperatura debido a las corrientes de convección es función de la cavidad utilizada y las condiciones experimentales del laboratorio, por lo que cada laboratorio debe conocer el tiempo necesario para lograr un estado isotérmico en la cavidad que utiliza para calibrar IRT.

De los experimentos se concluye que el intercambio de calor por convección entre la cavidad y el medio

ambiente es una variable de influencia significativa que debe evaluarse para cada caso.

REFERENCIAS

- [1] W.W. Lozier, *Development of Graphite and Graphite Base Multicomponent Materials for High Temperature Service*, WADD TR 59-789, April 1960.
- [2] R.E. Bedford, *Effective Emissivity of Cavity Sources*, in *Theory and Practice of Radiation Thermometry*, chap. 12, ed. by D.P. DeWitt, G.D. Nutter (John Wiley & Sons, New York, 1989), pp. 657-767.
- [3] MINOLTA/LAND, CYCLOPS 300AF/300 INSTRUCTION MANUAL, 9222-1860-21, Printed in Japan.
- [4] J. Fisher, P. Saunders, M. Sadli, M. Battuello, C. W. Park, Y. Zundong, H. Yoon, W. Li, E. van der Ham, F. Sakuma, Y. Yamada, M. Ballico, G. Machin, N. Fox, J. Hollandt, M. Matveyev, P. Bloembergen and S. Ugur, *CCT-WG5 on Radiation Thermometry, Uncertainty Budgets for Calibration of Radiation Thermometers below the Silver Point*, BIPM, Sevres, April 2008.