

# EFFECTO DE LA DISTANCIA A LA FUENTE RADIANTE EN LA CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE RADIACIÓN

Hugo Rodríguez Arteaga  
Centro Nacional de Metrología  
Carretera a Los Cues km 4,5  
Municipio El Marqués, Querétaro, C.P. 76241, México  
Teléfono: 01-442-2110500 ext. 3465; e-mail: hrodrigu@cenam.mx

**Resumen:** Se presenta la variación del error de medición de un termómetro de radiación, luego de calibrarlo a diferentes distancias de un cuerpo negro.

El instrumento bajo calibración (IBC) permite enfocar el objeto que se mide, por lo que también se presenta la variación del error de medición debida al enfoque de los dos campos visuales del arreglo: al borde de la abertura de la cavidad del cuerpo negro y al fondo de dicha cavidad.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el uso de los termómetros de radiación, por lo general se pide que el tamaño del objeto sea mayor que el campo visual del instrumento. Esto, mediante una relación geométrica "D/d" del instrumento, donde "D" es la distancia al objeto y "d" es el diámetro del campo observado por el termómetro, pero no se indica la distancia a la que el instrumento debe colocarse del objeto que se mide.

En la calibración de un termómetro de ese tipo, la distancia nominal puede ser 1 m, como se establece en [1], o alguna otra que cumpla con la relación D/d del instrumento. En todo caso, su valor debe ser declarado en el certificado o informe de calibración.

La necesidad de realizar la calibración a otras distancias puede ser el cumplimiento del requisito dado en el documento referido, que establece que el diámetro de la abertura de la fuente de radiación sea dos veces mayor que el campo visual del instrumento.

Ello puede ser difícil de realizar cuando el instrumento tiene una relación D/d relativamente pequeña, por ejemplo 8/1, que indicaría que el diámetro de la abertura de la fuente, a la distancia nominal de 1 m, debiera ser igual a 25 cm que es mucho mayor que los diámetros de fuentes de cuerpo negro comerciales.

Si el diámetro de la cavidad no fuera muy grande, ello podría obligar a colocar el instrumento muy cercano a la fuente y ello podría provocar un mal funcionamiento o incluso daños por estar expuesto a temperaturas altas.

Por otra parte, en [1] tampoco especifica si la distancia de calibración debe medirse desde la pared del fondo de la cavidad o desde su abertura y cuando el instrumento que se calibra tiene medios para enfocar al objeto que se mide, tampoco indica cual de esos dos campos debe ser enfocado.

En este trabajo se presentan las variaciones obtenidas en los resultados de calibrar un termómetro de radiación a diferentes distancias, medidas desde el fondo de la cavidad de la fuente radiante y desde su abertura y con enfoque a esos campos visuales.

## 2. ARREGLO DE LOS INSTRUMENTOS PARA EL EXPERIMENTO

### 2.1 Método

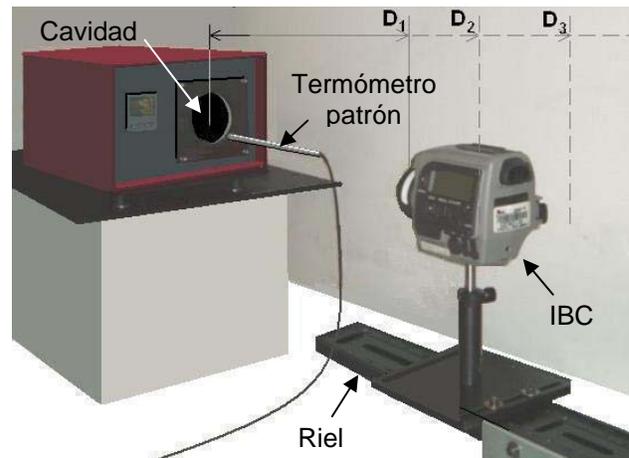
Para la realización del experimento, se compararon las temperaturas medidas en una cavidad de cuerpo negro comercial con un termómetro de radiación, con las obtenidas con un termómetro de resistencia de platino colocado en un pozo hecho en las paredes de la cavidad, para estos propósitos.

Para obtener los resultados a diferentes distancias, la posición del IBC se cambió con un riel que permitió variar su distancia a la cavidad y mantener su alineamiento con su eje geométrico. Véase la figura 1.

### 2.2 Equipos e instrumentos

Para la calibración se utilizaron los siguientes equipos:

- Una cavidad de cuerpo negro con emisividad mayor que 0,995 [2], con diámetro de 65 mm y 170 mm de profundidad máxima. Su pared interna forma un cilindro de 151 mm de longitud que se une en el fondo a un cono cóncavo de 120°. La temperatura de la cavidad se puede variar desde 35 °C hasta 550 °C.
- El IBC fue un termómetro de radiación con alcance de medición desde -50 °C hasta 1000 °C en un campo visual de medición que define un ángulo de 1° en un plano (una relación D/d de 57:1 aproximadamente) y enfoque desde 50 mm hasta infinito. El instrumento cuenta con una termopila como detector. La banda de respuesta espectral del instrumento va desde 8 μm hasta 13 μm [3]. La resolución de las lecturas es de 0,1 °C hasta 200 °C y 1 °C para temperaturas mayores.
- Un termómetro de resistencia de platino (TRP), con tallo de Inconel de 6,4 mm de diámetro y 383 mm de longitud. Este termómetro está calibrado desde -39 °C hasta 660 °C, en puntos fijos de la Escala Internacional de Temperatura de 1990.
- Un riel óptico con otros accesorios de montaje.



**Fig. 1** Montaje de los instrumentos para el experimento.

Por el campo visual del instrumento, el diámetro de la cavidad debe ser mayor que 0,9 cm a la distancia de 50 cm y mayor que 2 cm a 112,5 cm.

El extremo del TRP donde se encuentra su sensor, se introdujo en el pozo de la pared de la cavidad a una profundidad de 16 cm, medida desde el borde de la abertura de la misma. Las temperaturas medidas en la pared con este patrón, se designaron como  $t_{CAL}$  en las tablas y en las figuras.

**2.3 Procedimiento**

Con el IBC se midieron las temperaturas de la cavidad de la fuente radiante que se dan en las tablas 1 y 2, a las distancias ahí indicadas. Una vez ajustada una temperatura, se hicieron las mediciones a las diferentes distancias.

**Tabla 1** Resultados al calibrar el instrumento a las distancias indicadas, medidas con enfoque al borde de la abertura de la cavidad de la fuente radiante.

$t_{CAL} / ^\circ C$	Error de medición del IBC / °C					
	a 50 cm	a 62,5 cm	a 75 cm	<b>a 87,5 cm</b>	a 100 cm	a 112,5 cm
50,2	-0,4	-0,2	-0,2	<b>-0,1</b>	-0,2	-0,2
100,2	-0,7	-0,2	0,0	<b>0,1</b>	0,0	-0,2
150,1	-2,0	-1,4	-1,2	<b>-1,1</b>	-1,2	-1,7
200,0	-3,1	-2,1	-1,9	<b>-1,7</b>	-1,9	-2,3
250,0	-4,1	-3,0	-2,9	<b>-2,3</b>	-2,5	-3,0
299,9	-4,9	-3,9	-3,4	<b>-3,0</b>	-3,2	-3,9
349,9	-6,0	-4,5	-4,0	<b>-3,9</b>	-3,9	-4,9
400,0	-7,1	-5,3	-5,0	<b>-4,7</b>	-5,0	-5,7
450,1	-8,0	-6,2	-6,0	<b>-5,3</b>	-5,9	-6,8
500,2	-9,1	-7,3	-7,1	<b>-6,3</b>	-6,7	-7,9
550,4	-11,1	-8,5	-8,3	<b>-7,6</b>	-8,1	-9,2

**Tabla 2** Resultados al calibrar el instrumento a las distancias indicadas, medidas con enfoque al fondo de la cavidad de la fuente radiante.

$t_{CAL} / ^\circ C$	Error de medición del IBC / $^\circ C$							
	a 50 cm	a 60 cm	a 70 cm	a 80 cm	a 90 cm	a 100 cm	a 110 cm	a 120 cm
50,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	<b>0,0</b>	0,0	0,0	-0,1
100,2	-0,5	-0,1	0,0	0,2	<b>0,3</b>	0,3	0,2	0,0
150,1	-2,0	-1,5	-1,4	-1,1	<b>-0,9</b>	-0,8	-1,1	-1,3
200,1	-2,9	-2,2	-1,8	-1,7	<b>-1,6</b>	-1,4	-1,7	-2,0
250,1	-4,0	-3,1	-3,1	-2,3	<b>-2,1</b>	-2,1	-2,2	-3,1
300,0	-4,6	-4,0	-3,8	-3,0	<b>-2,9</b>	-3,0	-3,2	-4,0
349,9	-5,8	-4,9	-4,4	-3,9	<b>-3,9</b>	-3,9	-4,2	-4,8
399,9	-6,8	-5,6	-5,0	-4,9	<b>-4,3</b>	-4,2	-5,0	-5,8
450,1	-8,0	-6,4	-6,1	-5,5	<b>-5,1</b>	-5,1	-6,0	-7,0
500,1	-8,6	-7,3	-7,1	-6,6	<b>-6,1</b>	-6,1	-6,9	-8,0
550,2	-10,4	-8,6	-8,2	-7,8	<b>-7,2</b>	-7,2	-8,1	-9,0

**Tabla 3** Componentes de incertidumbre y su combinación, en las mediciones realizadas para determinar los valores del error de medición del IBC.

$t_{CAL} / ^\circ C$	Calibración del TRP / $^\circ C$	Tipo A / $^\circ C$		De la resolución / $^\circ C$		Emitancia de la cavidad / $^\circ C$	Combinación / $^\circ C$ ( $k = 1$ )
		del TRP	del IBC	del TRP	del IBC		
50,2	0,008	0,017	0,13	0,003	0,029	0,08	$\pm 0,2$
100,2	0,010	0,007	0,09	0,003	0,029	0,18	$\pm 0,2$
150,1	0,010	0,008	0,10	0,003	0,029	0,28	$\pm 0,3$
200,0	0,011	0,005	0,07	0,003	0,029	0,38	$\pm 0,4$
250,0	0,011	0,004	0,14	0,003	0,29	0,48	$\pm 0,6$
299,9	0,012	0,005	0,20	0,003	0,29	0,58	$\pm 0,7$
349,9	0,013	0,010	0,20	0,003	0,29	0,68	$\pm 0,8$
399,9	0,014	0,006	0,20	0,003	0,29	0,79	$\pm 0,9$
450,1	0,015	0,007	0,24	0,003	0,29	0,89	$\pm 1,0$
500,2	0,016	0,008	0,30	0,003	0,29	1,0	$\pm 1,1$
550,3	0,017	0,018	0,40	0,003	0,29	1,1	$\pm 1,2$

**3. RESULTADOS**

Para analizar los resultados, se calcularon los valores del error de medición del IBC de la manera siguiente:

$$\text{Error de medición del IBC} = \text{temperatura medida con el IBC} - \text{temperatura medida con el TRP}$$

**3.1 Resultados con enfoque a la abertura de la cavidad**

Bajo estas condiciones, se tomaron lecturas para las temperaturas que se muestran en la primera columna de la tabla 1, a las distancias indicadas en los encabezados de las otras columnas. Los resultados se muestran en el cuerpo de la tabla y están graficados en la figura 2.

**3.2 Resultados con enfoque al fondo de la cavidad**

En otro conjunto de experimentos, se enfocó el fondo de la cavidad y se repitieron las mediciones

de la manera ya descrita. La tabla 2 muestra los resultados y están graficados en la figura 3.

### 3.3 Incertidumbre de los valores del error de medición

Se tomaron en consideración las incertidumbres de los componentes siguientes:

- De la calibración del TRP,
- De la resolución de la unidad de lectura del TRP,
- De la dispersión de las lecturas debida a la estabilidad de la temperatura de la cavidad,
- De la resolución de la unidad de lectura del IBC,
- De la dispersión de las lecturas del IBC, a las distancias de calibración indicadas en las tablas 1 y 2,
- De la emitancia de la fuente radiante, considerada con un valor igual a  $0,99 \pm 0,01$ .

La tabla 3 contiene los valores de la combinación de las incertidumbres estimadas para las mediciones realizadas.

## 4. DISCUSIÓN

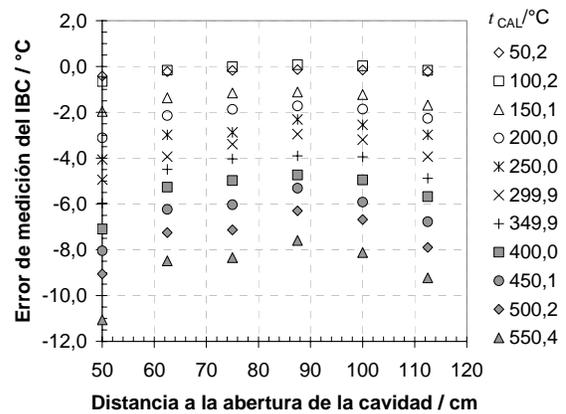
### 4.1 Efecto de la distancia a la cavidad

En las figuras 2 y 3 se observa que el valor del error de medición del IBC no es constante para cada temperatura de calibración. Es evidente que la distancia entre el IBC y la cavidad es una variable de influencia.

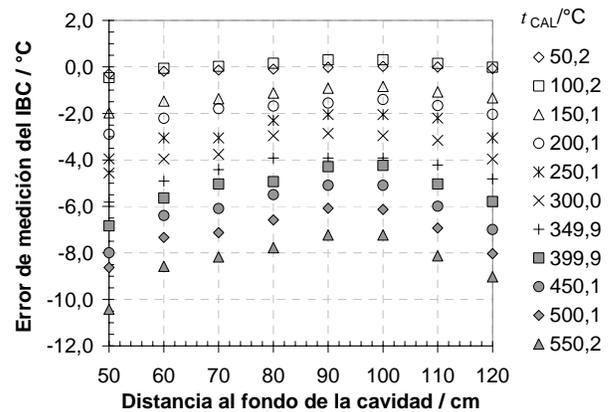
También se aprecia que en los extremos, los valores del error son mayores y que hay una distancia a la fuente radiante para la cual las temperaturas de la cavidad medidas con el IBC, tienen una desviación menor de las medidas con el patrón.

Cuando el enfoque se hace al borde de la abertura de la cavidad, esa condición se obtiene a la distancia de 87,5 cm, mientras que cuando se enfoca el fondo de la cavidad, ello se logra entre 90 cm y 100 cm.

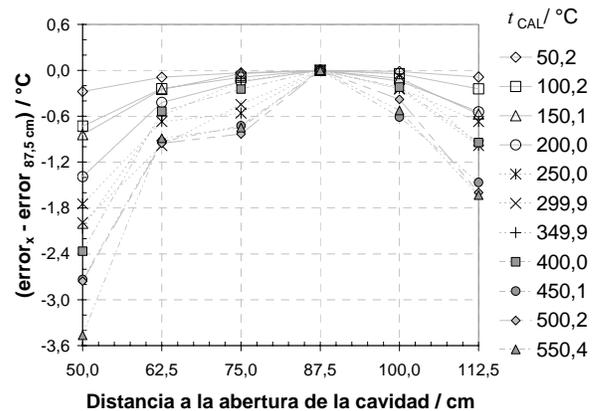
Las figuras 4 y 5 muestran las desviaciones de los valores del error de medición obtenidos a cada una de las distancias indicadas en la tabla 1, con respecto a los obtenidos a 87,5 cm y 90 cm respectivamente.



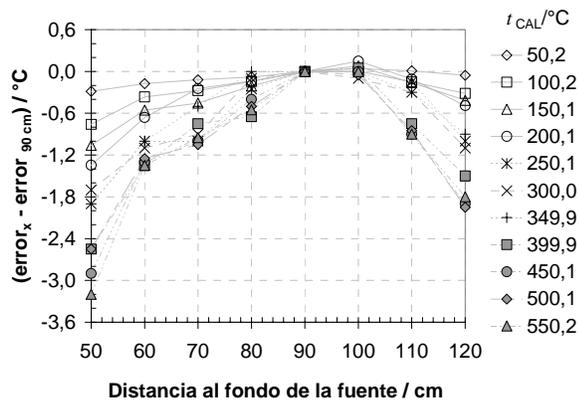
**Fig. 2** Valores del error de medición del IBC reportados en la tabla 1, con enfoque al borde de la abertura de la cavidad.



**Fig. 3** Valores del error de medición del IBC reportados en la tabla 2, con enfoque al fondo de la cavidad.



**Fig. 4** Desviación contra el error obtenido a 87,5 cm cuando se enfoca el borde de la abertura de la cavidad.



**Fig. 5** Desviación contra el error obtenido a 90 cm cuando se enfoca el fondo de la cavidad.

**4.2 Efecto del enfoque**

La tabla 4 muestra que existen diferencias en el error de medición del IBC por el efecto que se tiene al enfocar los dos campos visuales ya descritos. En esa tabla se presentan las diferencias obtenidas para las distancias de calibración de 50 cm y 100 cm.

Dichas diferencias se determinaron al restar el error obtenido con enfoque al fondo de la cavidad del obtenido con enfoque al borde de la abertura de la misma, para una misma distancia y para cada una de las temperaturas de calibración.

**Tabla 4** Diferencias de los valores del error de medición a dos distancias a la fuente, por enfocar campos visuales distintos

$t_{CAL} / ^\circ C$	Diferencias	
	a 50 cm	a 100 cm
50,2	-0,1	-0,2
100,2	-0,2	-0,3
150,1	0,0	-0,4
200,0	-0,2	-0,5
250,0	-0,1	-0,5
299,9	-0,4	-0,2
349,9	-0,1	0,0
399,9	-0,3	-0,7
450,1	-0,1	-0,8
500,2	-0,4	-0,6
550,3	-0,6	-0,9

**5. CONCLUSIONES**

Los resultados demuestran que aún con una fuente radiante cuya cavidad tiene un diámetro mucho mayor que dos veces la determinada con la relación D/d del campo visual del instrumento, hay una dependencia del error de medición con la distancia a la fuente y la región de enfoque.

También se observa que existe una región donde es menor la dependencia con la distancia de calibración. Para ambas condiciones de enfoque, esas regiones son prácticamente coincidentes.

Las variaciones de los resultados de la calibración por el efecto de la distancia a la fuente y del enfoque al objeto, son variables de influencia que requieren ser controladas con condiciones de referencia, las cuales deben ser declaradas en los documentos emitidos con la calibración.

**REFERENCIAS**

- [1] Organización Internacional de Metrología Legal, Total Radiation Thermometers, documento D24, edición 1996 (E).
- [2] Especificaciones del “Manual de operación” de la cavidad de cuerpo negro “Landcal” tipo P550P; Publicación No. PP970321, Land Infrared, 1999, pp. 3.
- [3] Especificaciones del “Manual de instrucciones” de la termómetro infrarrojo Cyclops 300 AF; Publicación No. 9222-1860-21, Land Infrared, pp. 59.