

ALGUNAS VARIABLES DE INFLUENCIA QUE AFECTAN A LAS CALIBRACIONES DE TERMÓMETROS DE RADIACIÓN INFRARROJA

Hugo Rodríguez, Edgar Méndez
Centro Nacional de Metrología

Esta es una traducción libre del artículo original (sin revisión) en inglés que fue enviado para su publicación en el 10th International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science, Tempmeko 2007. En consecuencia no puede ser citado como tal, sino como comunicación personal o privada con uno de sus autores.

ALGUNAS VARIABLES DE INFLUENCIA QUE AFECTAN A LAS CALIBRACIONES DE TERMÓMETROS DE RADIACIÓN INFRARROJA

Hugo Rodríguez, Edgar Méndez
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: Durante la calibración termómetros de radiación en el laboratorio de Termometría del Centro Nacional de Metrología, se detectaron algunas variables de influencia además de las que regularmente se consideran en este tipo de calibraciones. En este trabajo se presentan los efectos en los resultados producidos por a) la distancia del instrumento que se calibra a la fuente usada como cuerpo negro, b) el enfoque a esa fuente y c) el efecto de usar más de una cavidad.

Se discuten los resultados y se hacen algunas propuestas para mejorar la reproducibilidad en estas situaciones.

1. INTRODUCCIÓN

En las mediciones de temperatura con termómetros de radiación de foco fijo, por lo general se cree que la reproducibilidad de los resultados está asegurada solamente con cumplir la condición dada por la relación “distancia al blanco / diámetro del blanco” dada por los fabricantes, sin considerar un diámetro de blanco específico. En nuestras mediciones observamos que el diámetro de la abertura de la cavidad del cuerpo negro usada en la calibración tiene influencia en los resultados, aún cuando ese diámetro sea el doble o mayor que el mínimo deducido de esa relación. Hemos observado que las lecturas dependen de la distancia que hay entre el instrumento y la abertura de la cavidad y que no existe una región donde el valor de temperatura indicado por el instrumento que se calibra, permanezca sin cambios.

Para termómetros de radiación que tiene algún medio para el enfoque de la abertura, la imagen fuera de foco del fondo de la cavidad puede afectar a la radiancia que se mide. El caso opuesto también es cierto: medir la radiancia con enfoque al fondo de la cavidad puede resultar afectada por la imagen fuera de foco de la abertura y sus alrededores.

Cuando el intervalo de temperaturas de calibración de un termómetro de radiación requiere el uso de más de una cavidad de cuerpo negro, se espera que el error de medición del instrumento no varíe,

es decir, que los resultados obtenidos con esas cavidades sean iguales, pero algunas veces esto no es así. Esto indica que los métodos utilizados están sujetos a variables de influencia que dependen de cada cavidad.

Se presentan tres casos de calibración. Dos de ellos relacionados con el efecto de la distancia y el enfoque a la fuente usada como cavidad radiante y otro relacionado con el efecto de calibrar un termómetro con dos cavidades distintas, para cubrir un intervalo de temperaturas de calibración.

2. EFECTO DE LA DISTANCIA EN LA CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE ENFOQUE FIJO

Se determinaron los errores de medición de dos termómetros con campos visuales que corresponden a relaciones “distancia / diámetro de blanco” de 8:1 y 50:1, mediante la medición de las temperaturas de radiancia de una cavidad cilíndrica de 65 mm de diámetro y 170 mm de profundidad. La cavidad está diseñada para operar en el intervalo de 50 °C a 550 °C. Los resultados se muestran en la figura 1.

La temperatura de la cavidad se midió con un termómetro de resistencia de platino (TRP) cuyo extremo se insertó 160 mm dentro de un pozo preparado para este fin, en la pared cilíndrica de la cavidad. De esta manera, la parte sensible del TRP

queda a la misma profundidad que se encuentra la porción cónica de la cavidad. Las temperaturas medidas con este termómetro dieron los valores de referencia de las calibraciones.

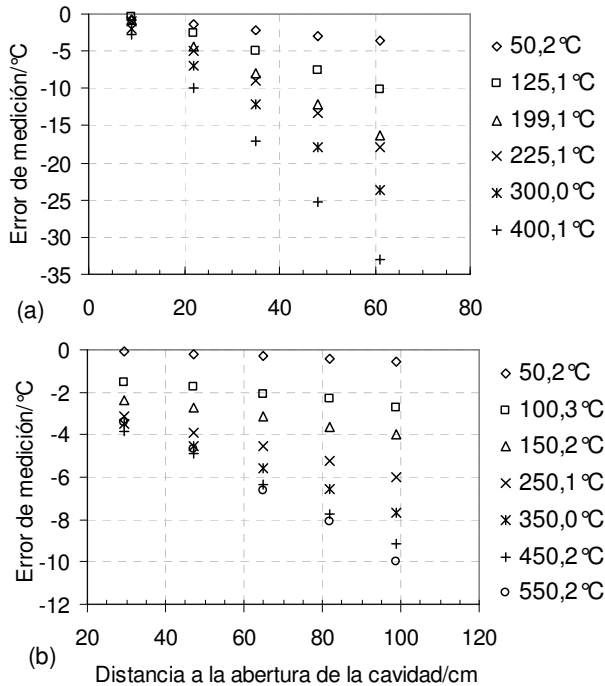


Fig. 1 Errores de medición obtenidos para dos termómetros de banda ancha de foco fijo, como función de la distancia del termómetro a la fuente radiante. Los campos visuales de los instrumentos son: (a) 8:1 y (b) 50:1.

De acuerdo con los campos visuales de cada instrumento, el diámetro de la cavidad utilizada lleva a distancias máximas de medición de 52 cm y 325 cm, respectivamente. A distancias mayores los sensores de los instrumentos no se irradian en su totalidad y las lecturas resultan afectadas por la pérdida de señal que se recibe de una fuente relativamente pequeña.

Cuando el campo visual de un termómetro se encuentra dentro de una mayor abertura de la cavidad que la deducida de la relación "distancia/diámetro", se espera que las lecturas permanezcan constantes al acercar el instrumento hacia la cavidad.

En los resultados mostrados en la figura 1 se observa el efecto del tamaño relativo de la fuente a

diferentes distancias: el error de medición se reduce cada vez que los instrumentos se colocan más cerca de la cavidad. El efecto resulta menos acentuado para el instrumento con campo visual de 50:1.

Con esos resultados, se determinó que el uso de una cavidad que tenga un diámetro que sea el doble de los mínimos definidos por los campos visuales de los instrumentos, como se indica en [1], no es suficiente para obtener lecturas invariantes.

2.1 Contribución de la respuesta angular del instrumento al efecto de la distancia en los termómetros de foco fijo

Para estudiar el efecto de la respuesta angular en las variaciones de los errores de medición que se muestran en la figura 1, se calcularon las temperaturas que debieran ser medidas a diferentes distancias con un instrumento con respuesta espectral de 8 μm a 15 μm y que tuviera un sensor con una respuesta angular normalizada tal como la que se muestra en la figura 2(a) y presentada en [2].

El cálculo de las temperaturas medidas se hizo con lecturas hipotéticas de la radiancia de un cuerpo negro con abertura de 65 mm, que tuviera un perfil de temperatura uniforme dentro de su cavidad y rodeado por un panel circular plano de 160 mm de diámetro externo, con un gradiente de temperaturas que se incrementara linealmente desde su borde hacia el perímetro del círculo que define a la abertura de la cavidad. La temperatura en el borde del panel se supuso cercana a la temperatura del laboratorio y que se eleva hasta un máximo de 48 $^{\circ}\text{C}$ en las proximidades de la abertura de la cavidad. Estos valores guardan semejanza con valores medidos en una situación real.

La figura 2(b) muestra el perfil de temperaturas de la cavidad, que incluye a la abertura y del panel circular que la rodea, como sería vista por el campo visual de un instrumento que se colocara a 75 cm, enfrente de la abertura de la cavidad.

Las temperaturas calculadas se obtuvieron luego de dividir en pequeñas secciones el campo observado por el instrumento y sumando su contribución a una señal total.

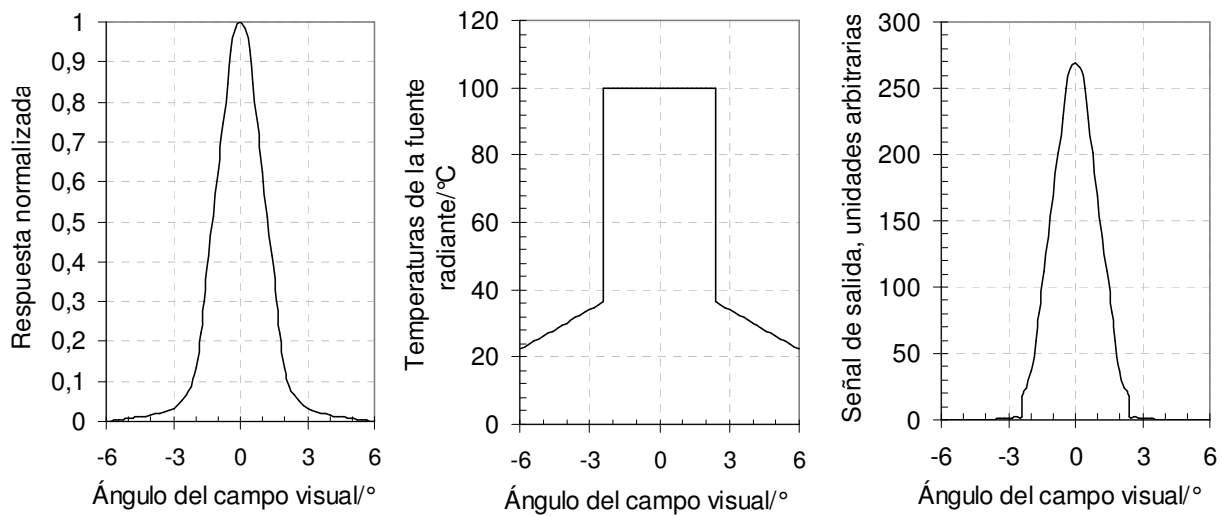


Fig. 2 (a) Respuesta angular normalizada hipotética para el sensor de un termómetro de banda ancha en función de su campo visual. (b) Perfil de temperatura hipotético para la cavidad y un panel circular que le rodea (ver texto), como sería visto por un termómetro colocado al frente, a 75 cm de distancia. (c) Señal de salida calculada cuando la cavidad está a 100 °C y el termómetro a la distancia indicada en (b).

Se calculó una potencia por unidad de área para cada una de las secciones en que se dividió el campo que se mide, como función de su temperatura. El valor obtenido se multiplicó con el valor de la respuesta angular normalizada del sensor que se muestra en la figura 2(a), correspondiente al ángulo donde se encuentra cada sección particular del campo observado por el termómetro.

Los valores de la potencia emitida por cada una de esas secciones, afectados por la respuesta espectral del detector, se obtuvieron al integrar la ecuación siguiente dada en [3], entre las longitudes de onda de los extremos de la banda de respuesta del instrumento:

$$L_{\lambda}(\varepsilon_{\lambda}, T_s, T_w, T_d) = \varepsilon_{\lambda} L_{\lambda}(T_s) + (1 - \varepsilon_{\lambda}) L_{\lambda}(T_w) - L_{\lambda}(T_d) \quad (1)$$

En su forma general, la ecuación 1 es la suma algebraica de las señales que inciden en el sensor del instrumento, algunas afectadas por la emitancia del objeto que se mide y evaluada a cada longitud de onda del espectro transmitido al sensor a través del sistema óptico del instrumento.

$L_{\lambda}(T)$ denota a la radiancia espectral de un cuerpo negro a valores de T y λ dados de temperatura y

longitud de onda, respectivamente. T_s es la temperatura del objeto que se mide, ε_{λ} la emitancia espectral del objeto, T_w es la temperatura de las paredes del lugar donde se realiza la medición, cuya radiancia se refleja en parte hacia el termómetro cuando el objeto no es un cuerpo negro. T_d es la temperatura de las paredes internas del instrumento que rodean al sensor del instrumento.

Para los cálculos, se supuso que el sensor y la temperatura de las paredes que lo rodean tienen el mismo valor que la temperatura del lugar donde se realiza la medición ($T_d = T_w$). Todas temperaturas se deben expresar en kelvin.

En el caso particular de este estudio, el objeto que se mide es la cavidad usada para la calibración y su emitancia se consideró igual a 1 para todas las longitudes de onda de la banda de respuesta del instrumento.

La figura 2(c) muestra la señal de salida calculada como función del campo observado por el instrumento a una distancia de 75 cm y a una temperatura de la cavidad de 100 °C. A esa distancia, el diámetro de la abertura de la cavidad define un ángulo de $\pm 2,5^{\circ}$ que cambia cada vez que el instrumento se acerca o se aleja de la cavidad,

produciendo diferentes valores de la señal total calculada.

La tabla 1 contiene los valores que se obtuvieron a la temperatura hipotética de 100 °C. Los resultados obtenidos a 25 cm se usaron como referencia para las desviaciones calculadas a otras distancias. Estas desviaciones no son los valores de error de medición del instrumento sino un efecto de las condiciones de medición.

La figura 3(a) muestra las desviaciones de las temperaturas calculadas en tres puntos de calibración hipotéticos. Para esas desviaciones, se usó el valor obtenido a 25 cm como referencia. En la figura 3(b), además de la desviación calculada a 300 °C, se muestran las desviaciones de los errores de medición de los instrumentos con referencia a los obtenidos a 25 cm, a esa misma temperatura. En ella, los valores que se muestran para el termómetro que tiene campo de observación de 50:1 fueron obtenidos por interpolación de los resultados mostrados en la figura 1(b).

En el ejercicio se observó que el perfil de temperaturas supuesto para el panel que rodea a la cavidad, también tiene una contribución en las desviaciones calculadas.

3 EFECTO DE LA DISTANCIA EN LA CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS QUE OFRECEN EL ENFOQUE DEL OBJETO

Un efecto distinto se observó al calibrar a diferentes distancias un termómetro que permite enfocar el objeto que se mide. En este experimento se usó un instrumento que tiene un campo de observación que define un ángulo de 1° en un plano, que corresponde a un ángulo sólido de $2,4 \times 10^{-4}$ sr aproximadamente. Su margen de enfoque va de 50 cm a infinito y la banda de respuesta de su detector es de 8 μm a 13 μm [4].

En uno de los casos, ese instrumento se calibró en el intervalo de 50 °C a 550 °C con enfoque a la abertura de la cavidad. En un segundo caso el enfoque se hizo a la pared del fondo de la cavidad. La cavidad utilizada para la calibración fue la que se describió en la sección 2.

La tabla 2 muestra los resultados de la calibración cuando se enfocó la abertura de la cavidad a un conjunto de distancias, entre esa abertura y el termómetro.

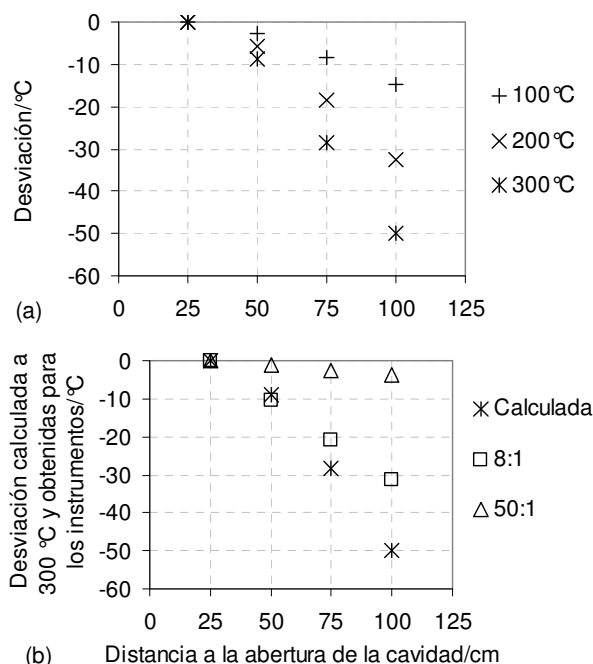


Fig. 3 (a) Desviaciones calculadas del error de medición en los termómetros de foco fijo como función de la distancia a la abertura de la cavidad, para la señal de salida que se muestra en (c) de la figura 2. (b) Desviaciones de los errores de medición obtenidos para esos termómetros y desviación calculada, a 300 °C.

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos con el enfoque a la pared del fondo de la cavidad, para un conjunto similar de distancias y el mismo intervalo de temperaturas de calibración.

La tabla 4 resume las diferencias de los errores de medición obtenidos a 50 cm y 100 cm debidas al enfoque de los dos blancos, donde:

$$\text{Diferencias del error} = \text{error al enfocar la abertura} - \text{error al enfocar el fondo de la cavidad}$$

En la figura 4 se muestran graficados los valores de las diferencias que se presentan en la tabla 4. La falta de uniformidad a 300 °C y 350 °C, a 100 cm de distancia, debe ser debida a la resolución del instrumento, que de manera automática cambia de 0,1 °C a 1 °C para temperaturas mayores que 200 °C.

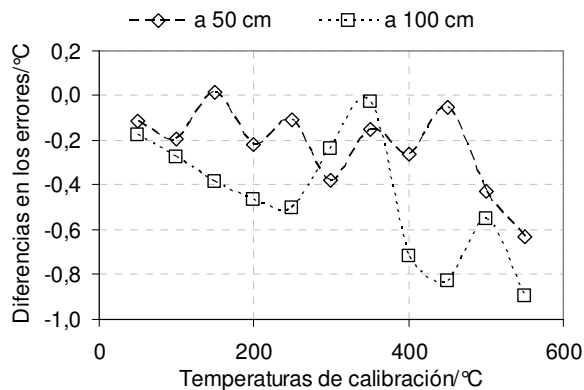


Fig. 4 Diferencias en los errores de medición en las calibraciones del termómetro que permite enfocar el objeto que se mide, al enfocar la abertura de la cavidad y la pared del fondo.

4 DISCREPANCIAS EN LOS RESULTADOS CUANDO SE USAN CAVIDADES DISTINTAS

En otro conjunto de experimentos, el termómetro que se describe en la sección 3 se calibró a diferentes distancias y mediante la medición de las temperaturas de radiancia de dos cavidades distintas.

Una cavidad fue la que se describe en la sección 2. La otra fue la del pozo de un tubo de calor de vapores de potasio con una abertura de 52 mm de diámetro y 450 mm de profundidad total, instalado permanentemente en un horno con calefacción eléctrica. El tubo de calor opera en el intervalo de 400 °C a 1000 °C.

Como se indicó en la sección 2, los valores de las temperaturas de referencia para la primera cavidad fueron dados por un termómetro de resistencia de platino insertado en su pared. Para la segunda, esas temperaturas se midieron con un pirómetro monocromático a 912 nm.

El enfoque del termómetro bajo calibración y del pirómetro de referencia, se hizo a las aberturas de las cavidades. La figura 5 muestra las discrepancias de los resultados al usar ambas cavidades.

Además de los efectos ya descritos, se encontraron otras variables de influencia que afectaron a los resultados:

- Gradientes de temperatura en las paredes de la cavidad cilindro-cónica,

- Enfoque del pirómetro de referencia.

4.1 Gradientes de temperatura en la cavidad cilindro-cónica

La temperatura medida en la pared de la cavidad depende de la profundidad de inmersión del termómetro patrón. Cambios en la posición del termómetro mostraron que hay una región más caliente localizada a profundidades entre 12 cm y 16 cm, con una diferencia máxima de 0,6 °C a 550 °C.

Al medir con el pirómetro patrón las temperaturas de radiancia de la pared del fondo de la cavidad, También se observó un gradiente mayor, que indica que el centro de esa pared está más fría que su perímetro (el cual está más cerca del calefactor). Se midieron diferencias de hasta 2,8 °C a 550 °C.

4.2 Enfoque del pirómetro patrón

La temperatura de radiancia medida en el pozo del tubo de calor depende de la región que se enfoca, que pudiera ser la abertura de la cavidad, la pared del fondo o cualquier posición entre estas. El enfoque visual no se recomienda, porque depende de las capacidades visuales del metrologo que realiza la calibración. Se puede usar un enfoque electro-óptico que produzca un perfil de temperatura con bordes afilados en las orillas de las aberturas de las cavidades.

4.3 Emisividad de las cavidades

La emisividad de las cavidades parece estar cerca de 1 luego de su verificación, que incluye una determinación teórica para la cavidad cilindro-cónica a 500 °C, realizada a partir de un perfil de temperaturas medido a lo largo de la pared cilíndrica [5] y la concordancia de las temperaturas de radiancia a temperaturas mayores que 650 °C, en el pozo del tubo de calor del horno a las dos longitudes de onda de trabajo del pirómetro patrón (652 nm y 912 nm), Para este pozo, un cálculo aproximado de su emisividad, con una ecuación simple dada en [6] también indica que su valor está cercano a 1.

5 DISCUSIÓN

Los resultados demuestran que la distancia de calibración y el enfoque de la cavidad afectan a los resultados de la calibración de termómetros de radiación, de los tipos que se presentan en este trabajo.

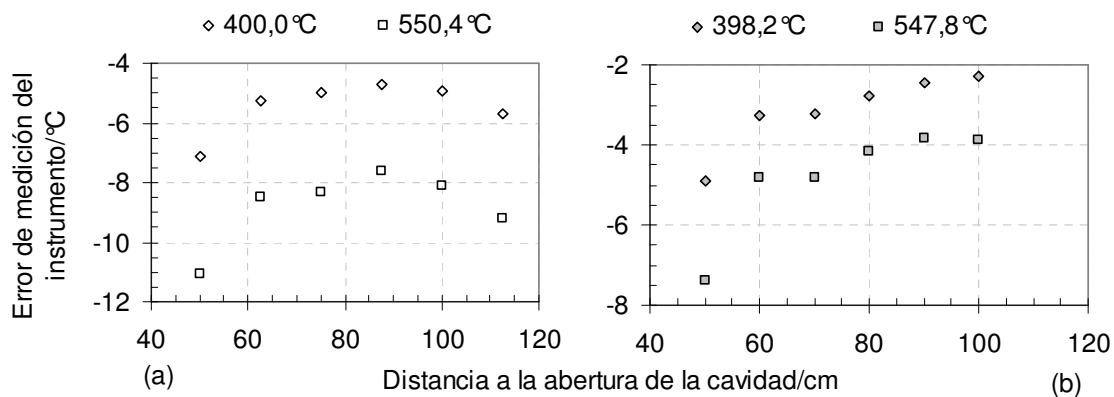


Fig. 5. Error de medición del termómetro que ofrece enfoque, al calibrarlo con dos cavidades diferentes: (a) al usar la cilindro-cónica con calefactor devanado en el cilindro externo (b) el pozo de un tubo de calor. Las temperaturas de calibración están indicadas en la parte superior.

Con el objetivo de mejorar la reproducibilidad, es obligatorio establecer condiciones de referencia para la distancia a la fuente radiante que genera las temperaturas de calibración. Estas condiciones posiblemente no serán repetidas durante el uso de los instrumentos calibrados, pero el usuario debe estimar las incertidumbres adicionales relacionadas con sus mediciones.

Para las desviaciones calculadas con la función de respuesta angular que se muestra en la figura 2(a), se observó que hay una tendencia similar a la que se tiene por los errores medidos de los instrumentos, cuyas desviaciones contra el error obtenido a 25 cm se muestran en la figura 1. Esto sugiere que el efecto de la distancia está relacionado con la respuesta angular de los detectores. Las curvas de interpolación que se pueden obtener para las desviaciones calculadas no se parecen a las obtenidas mediante mediciones. Éstas últimas parecen ser lineales mientras que las calculadas no lo son, pero en este ejercicio sólo se tomaron en consideración la respuesta angular y la distancia a la fuente. Existen otros factores que contribuyen a la generación de esas desviaciones, tales como aberraciones ópticas de las imágenes, producidas por los lentes de los instrumentos.

En la calibración del termómetro que permite enfoque, se observó que el cambio del blanco enfocado lleva a diferentes resultados. Es práctica común enfocar la abertura de la cavidad, pero se quiso conocer como los resultados eran afectados

por enfocar un blanco distinto, como la pared del fondo de la cavidad.

Cuando el termómetro que enfoca al objeto se calibró con dos cavidades distintas, se observó que los gradientes de temperatura que existen en las paredes de la cavidad cilindro-cónica llevan a resultados que discrepan de los obtenidos con la cavidad del pozo del tubo de calor. Esto se muestra en la figura 5 e indica que las temperaturas medidas en la pared de la cavidad cilindro-cónica requieren el uso de correcciones. Es importante tener en consideración que la pared cilíndrica donde se inserta el termómetro patrón, no es la pared cónica que es vista por el termómetro que se calibra.

6 INCERTIDUMBRES

Las incertidumbres de las mediciones que se estimaron antes de considerar los efectos de distancia y enfoque y que se reportan en este documento en las tablas 5 y 6, incluyen a las de los termómetros patrones, la de la resolución de los instrumentos, la de la dispersión de las lecturas, la de las correcciones de los gradientes de temperatura y las de las emisividades de las cavidades.

En la calibración del termómetro que ofrece enfoque, la incertidumbre incluye a la del efecto del tamaño de la fuente para este instrumento, además de las ya mencionadas. Sus combinaciones se muestran en la tabla 6.

Tabla 1. Desviaciones teóricas a 100 °C, al usar el valor calculado a 25 cm como referencia

Distancia a la cavidad/cm	Señal de salida (unidades arbitrarias)	Fracción (%)	Desviación vs. referencia/°C
25	269,6	100	0,0
50	258,4	97,4	-2,6
75	233,6	91,6	-8,4
100	206,8	85,1	-14,9

Tabla 2. 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} / °C	Error de medición del IBC / °C					
	a 50 cm	a 62,5 cm	a 75 cm	a 87,5 cm	a 100 cm	a 112,5 cm
50,2	-0,4	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2
100,2	-0,7	-0,2	0,0	0,1	0,0	-0,2
150,1	-2,0	-1,4	-1,2	-1,1	-1,2	-1,7
200,0	-3,1	-2,1	-1,9	-1,7	-1,9	-2,3
250,0	-4,1	-3,0	-2,9	-2,3	-2,5	-3,0
299,9	-4,9	-3,9	-3,4	-3,0	-3,2	-3,9
349,9	-6,0	-4,5	-4,0	-3,9	-3,9	-4,9
400,0	-7,1	-5,3	-5,0	-4,7	-5,0	-5,7
450,1	-8,0	-6,2	-6,0	-5,3	-5,9	-6,8
500,2	-9,1	-7,3	-7,1	-6,3	-6,7	-7,9
550,4	-11,1	-8,5	-8,3	-7,6	-8,1	-9,2

Tabla 3. Resultados al calibrar el instrumento a las distancias indicadas, medidas con enfoque al fondo de la cavidad de la fuente radiante.

t_{CAL} / °C	Error de medición del IBC / °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	0,0	0,0	0,0	-0,1
100,2	-0,5	-0,1	0,0	0,2	0,3	0,3	0,2	0,0
150,1	-2,0	-1,5	-1,4	-1,1	-0,9	-0,8	-1,1	-1,3
200,1	-2,9	-2,2	-1,8	-1,7	-1,6	-1,4	-1,7	-2,0
250,1	-4,0	-3,1	-3,1	-2,3	-2,1	-2,1	-2,2	-3,1
300,0	-4,6	-4,0	-3,8	-3,0	-2,9	-3,0	-3,2	-4,0
349,9	-5,8	-4,9	-4,4	-3,9	-3,9	-3,9	-4,2	-4,8
399,9	-6,8	-5,6	-5,0	-4,9	-4,3	-4,2	-5,0	-5,8
450,1	-8,0	-6,4	-6,1	-5,5	-5,1	-5,1	-6,0	-7,0
500,1	-8,6	-7,3	-7,1	-6,6	-6,1	-6,1	-6,9	-8,0
550,2	-10,4	-8,6	-8,2	-7,8	-7,2	-7,2	-8,1	-9,0

Tabla 4. Diferencias de los errores de medición al enfocar dos campos visuales de la fuente radiante: el borde de su abertura y la pared del fondo.

Temperatura de la pared /°C	a 50 cm /°C	a 100 cm/ °C
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

Cuando se usó el pirómetro como termómetro patrón, la incertidumbre incluyó a la de la longitud de onda de trabajo utilizada en este instrumento, la de la temperatura de referencia usada en su calibración y la de la no linealidad de su detector.

La incertidumbre "Final" de la tabla 5, para las calibraciones de los termómetros de enfoque fijo, se obtuvo luego de tomar en consideración los efectos de distancia y enfoque aquí descritos.

La tabla 6 muestra las incertidumbres correspondientes en la calibración del termómetro que ofrece enfoque.

Las contribuciones a la incertidumbre por los efectos de distancia y enfoque, se estimaron para una incertidumbre de ± 2 cm para la distancia a la fuente y de ± 5 cm en la distancia focal. Sus valores resultaron pequeños y sólo se obtuvieron cambios mínimos en las incertidumbres combinadas.

Tabla 5. Estimación de las incertidumbres en la calibración de los termómetros de foco fijo, para $k = 1$.

Temperatura de calibración/°C	Antes/°C	Incertidumbre del efecto de la distancia/°C		Final/°C	
		(FOV = 8:1)	(FOV = 50:1)	(FOV = 8:1)	(FOV = 50:1)
50	$\pm 0,6$	$\pm 0,03$	$\pm 0,00$	$\pm 0,60$	$\pm 0,6$
225	$\pm 0,9$	$\pm 0,19$	–	$\pm 0,92$	–
250	$\pm 1,1$	–	$\pm 0,02$	–	$\pm 1,1$
400	$\pm 1,6$	$\pm 0,34$	–	$\pm 1,6$	–
550	$\pm 2,8$	–	$\pm 0,05$	–	$\pm 2,8$

Tabla 6. Estimación de las incertidumbres en la calibración del termómetro que permite enfocar al objeto, para $k = 1$.

Temperatura de calibración/°C	Antes/°C		Incertidumbre por enfoque/°C	Final/°C
	Patrón: TRP	Patrón: Pirómetro		
50	± 0,6	–	± 0,05	± 0,6
250	± 2,2	–	± 0,04	± 2,2
550	± 3,3	–	± 0,08	± 3,3
600	–	± 2,5	± 0,01	± 2,5
650	–	± 1,0	± 0,01	± 1,0

CONCLUSIONES

Con el objetivo de mejorar la reproducibilidad de los resultados en las calibraciones de termómetros de radiación, deben establecerse condiciones de referencia para la distancia de calibración, tanto para aquellos que permiten enfocar el objeto como para los que no tienen dicha capacidad. Tales condiciones deben ser declaradas en el informe de calibración.

Para los termómetros de enfoque fijo, se puede proponer aquella distancia donde el instrumento “ve” una fuente que tenga un diámetro que sea el doble del que se calcula de la relación “distancia al blanco / diámetro del blanco” especificada por su fabricante, o 1 m como se recomienda en [1], cuando esa razón lleve a una distancia mayor.

Para los termómetros que ofrecen enfoque, puede determinarse una distancia donde los resultados tengan menos variaciones. Para los casos obtenidos en este trabajo y mostrados en la figura 5, se encontró que una distancia tal estaba alrededor de $90 \text{ cm} \pm 10 \text{ cm}$.

REFERENCIAS

- [1] Organización Internacional de Metrología Legal, Total Radiation Thermometers, documento D24, edición 1996 (E).
- [2] Página electrónica de la Internet: <http://www.zytemp.com/products/tn423L.asp#FOV>
- [3] J. Nicholas and D. R. White, *Traceable Temperatures*, (John Wiley and Sons, Ltd., New York, 2nd edition, 2001), pp. 359.
- [4] Land Infrared, *Instruction Manual*, No. 9222-1860-21, Japan, 1994.
- [5] C. K. Ma, correspondencia privada, 2006.
- [6] Y. Duan, Z. Yuan and J. Wu, *A new approximate calculation of the effective emmissivity of an isothermal blackbody cavity*, Memorias del 8° Simposio Internacional sobre Temperatura y Mediciones Térmicas en la Industria y en la Ciencia (Tempmeko 2001), (VDE Verlag GMBH, Berlin, Offenbach), pp. 253-258.