

EFECTO SOBRE EL VALOR MEDIDO DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE UN MATERIAL POR EL MATERIAL UTILIZADO EN LA GUARDA, EN UN APARATO DE PLACA CALIENTE CON GUARDA

Leonel Lira Cortés

División de Termometría; Laboratorio de Propiedades Termofísicas
Centro Nacional de Metrología (CENAM)

km 4,5 Carretera a los Cués, el Marqués, Querétaro, México.

Tel. (442) 2110500, fax 2110548, llira@cenam.mx

Resumen: El Patrón Nacional de Conductividad Térmica de materiales sólidos aislantes usa un método primario de medición y utiliza un aparato de placa caliente con guarda. Dentro de los estudios de caracterización que se han realizado, se encuentra uno del efecto sobre el valor medido de la conductividad térmica respecto al material aislante que se emplea en la guarda del aparato. Se midió la conductividad térmica de una muestra de poliestireno y se uso como material de la guarda 1) poliestireno expandido, 2) fibra de vidrio, 3) fibra cerámica, para evaluar su efecto sobre el valor medido.

1. INTRODUCCIÓN

El patrón nacional de conductividad térmica de materiales sólidos aislantes emplea un método primario de medición y un aparato de placa caliente con guarda (APCG).

Un método primario de medición según la definición del Comité Consultivo de Cantidad de Materia (CCQM), de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM), es aquel que tiene las cualidades metrológicas más altas, cuya operación puede ser descrita y entendida completamente, para el cual se puede escribir una declaración completa de incertidumbre en términos de unidades del Sistema Internacional (SI) y cuyos resultados son, así pues, aceptados sin referencia a un patrón de la magnitud que se mide [1].

El método primario de medición de conductividad térmica de materiales sólidos aislantes se desarrolló para un aparato de placa caliente con guarda y consiste en un protocolo de medición, caracterizaciones y estudios que permiten escribir una declaración completa de la incertidumbre de la conductividad, en términos de unidades del sistema internacional de unidades (SI).

El aparato de placa caliente con guarda figura 1, es una disposición de una placa caliente y dos placas frías que generan un gradiente sobre la muestra colocada entre las placas. Se determina la conductividad térmica (λ) en estado permanente con la ecuación de Fourier: [2,3]

$$\lambda = q L / (A \Delta T), \quad (1)$$

donde q es el calor efectivo a través de la muestra en W; λ es la conductividad térmica de la muestra en W/m K; ΔT es la diferencia de temperatura entre la placa caliente y las placas frías en K o °C; L es el espesor de la muestra en m y A es el área de la sección transversal de la muestra en m².

2. APARATO PARA DETERMINAR LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

El principio de operación del aparato es la transferencia de calor por conducción en estado permanente.

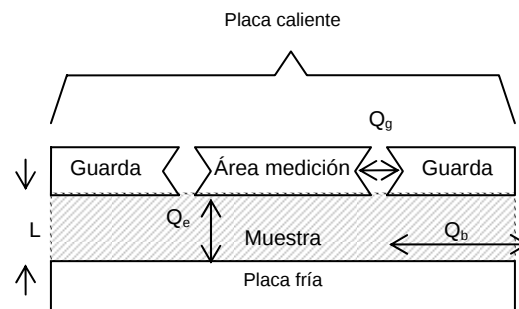


Figura 1. Diagrama del aparato de placa caliente con guarda.

En el diagrama (figura 1) se observa la placa caliente formada por una sección de medición y una de guarda. Una de las placas frías, una muestra y los distintos flujos de calor: Q_e el flujo axial de la

placa caliente a las placas frías, Q_b el flujo del borde de la muestra a medio ambiente y Q_g el flujo radial del área de medición a la guarda [4,5].

La guarda tiene la función de reducir el flujo de calor (Q_b) de la muestra hacia el exterior y el flujo radial (Q_g) del área de medición a la guarda.

En condiciones normales de operación, la muestra al menos debe cubrir el área de medición, el espacio de la guarda lo puede cubrir el mismo material o se puede cubrir con algún otro material aislante de valor de conductividad térmica similar.

Este estudio consistió en colocar diferentes materiales aislantes en la guarda y evaluar su influencia sobre un valor medido de la conductividad térmica.

La muestra de material fue poliestireno de 15 cm de diámetro y como guardas se utilizaron discos de 30cm de diámetro exterior y 15 cm de diámetro interior de a) poliestireno, b) lana cerámica y c) fibra de vidrio, con conductividades térmicas nominales de $\lambda = 0.03 \text{ W/m K}$, $\lambda = 0.08 \text{ W/m K}$ y $\lambda = 0.04 \text{ W/m K}$, respectivamente.

3 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA PRUEBA

Se instaló la muestra en el área de medición y el material de la guarda. Se fijan las condiciones de operación de las placas; caliente y frías y se espera hasta alcanzar las condiciones de estado permanente. Después que se alcanzó el estado permanente, identificado al observar la estabilidad de la temperatura en deriva o dispersión de los valores de temperatura en menos de $0.01 \text{ }^\circ\text{C/h}$ o $\pm 0.005^\circ\text{C}$, respectivamente, se realiza la adquisición de datos para su posterior análisis.

En la figura 2, se muestra el comportamiento de la temperatura durante la estabilización térmica. Por lo regular el APCG tarda de 6 a 8 horas en alcanzar el estado permanente.

4. ADQUISICIÓN DE DATOS

Los datos necesarios para el cálculo de la conductividad térmica son la energía disipada en el calefactor de la placa caliente, la temperatura de las placas, el área de medición y el espesor de la muestra.

La energía disipada (q) la proporciona una fuente de corriente directa y se calcula de las mediciones de diferencia de potencial (V) e intensidad de corriente eléctrica (I) en la resistencia de la placa caliente, con la relación:

$$q = V I \quad (2)$$

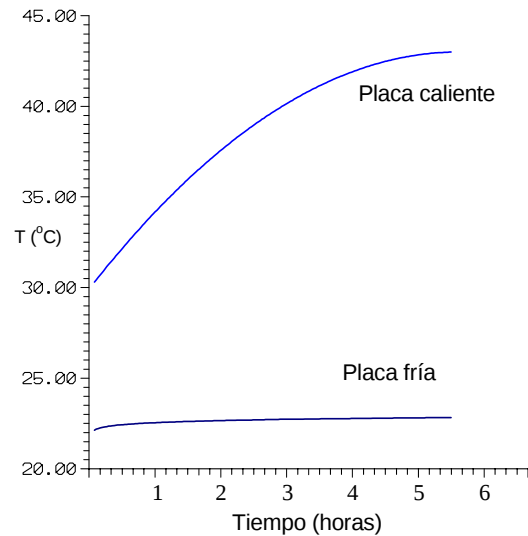


Figura 2. Estabilización de la temperatura de las placas para una muestra de poliestireno.

El área efectiva de transferencia se obtiene del valor de la superficie del área de medición y la mitad del área de separación entre el área de medición y la guarda; y se calcula con:

$$A = A_c + A_g/2 \quad (3)$$

donde A_c es el área de medición y A_g es el área del espacio entre la guarda y el área de medición.

La longitud o espesor del material se mide con un calibrador de alturas y con un micrómetro con la muestra instalada, ambos calibrados.

En la Tabla 1 se muestran los valores medidos en este experimento.

Tabla1. Valores medidos para determinar la conductividad térmica

Variable	Valor
Potencia	$1.385 \pm 0.000 \text{ 1 W}$
Área	$0.021 \text{ 405 7} \pm 0.000 \text{ 000 2 m}^2$
Espesor	$0.023 \text{ 5} \pm 0.000 \text{ 05 m}$

La temperatura de la placa caliente y fría se mide con termopares. La fuerza electromotriz medida de los termopares se convierte a lecturas de temperatura vía sus certificados de calibración.

Un experimento típico consiste en varias series de medición; cada serie contiene al menos 15 datos puntuales de cada variable. Por ejemplo, los valores de temperatura se promedian para cada termopar y, después, se promedian los valores de cada serie para obtener los datos de la prueba.

En la Tabla 2, se muestran los valores de las temperaturas de; la placa fría T_f , la placa caliente T_c , la temperatura de la prueba T_M , y la diferencia de temperatura ΔT .

La temperatura de la prueba (T_M) es el promedio de los valores de las temperaturas de la placa caliente (T_c) y la placa fría (T_f) y la diferencia de temperaturas (ΔT) es el que corresponde a la diferencia de las temperaturas de la placa caliente y la placa fría.

Tabla 2. Resultados para las temperaturas

serie	T_f °C	T_c °C	T_M °C	ΔT °C
1	10.611	33.330	21.970	22.719
2	10.566	33.326	21.946	22.760
3	10.611	33.333	21.972	22.722
4	10.594	33.334	21.964	22.740
5	10.601	33.350	21.975	22.749
promedio	10.597	33.335	21.965	22.738

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los valores se calcula el valor de la conductividad térmica (λ). Los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Conductividad térmica medida para los diferentes materiales de la guarda.

Muestra	Material de la guarda	Temperatura media °C	Conductividad térmica λ W/(m K)
Poliestireno	Poliestireno	22.02	0.0326 ± 0.0001
Poliestireno	Fibra cerámica	22.06	0.0324 ± 0.0001
Poliestireno	Fibra de vidrio	21.99	0.0325 ± 0.0001

6. CONCLUSIONES

Si los cambios de material en la guarda, generaran cambios significativos en el valor de la conductividad térmica medida, entonces se tendría que cuantificar la fuga térmica y evaluar el error debido a este efecto.

Además que se pondría en duda la validez del modelo experimental para aplicar la ley de Fourier y en consecuencia el modelo se tendría que modificar o cambiar el diseño del instrumento.

Las pruebas indican que el valor medido de la conductividad térmica del material no se modifica con el cambio del material de la guarda y los resultados son equivalentes, si el material de la guarda tiene un valor de conductividad del mismo orden que la muestra. Esto indica que el método y el modelo experimental son adecuados para calcular la conductividad térmica vía la ecuación de Fourier.

REFERENCIAS

- [1] Quinn, T.J., "Primary Methods of Measurement and primary standards", Metrologia, **34**, 61-65, 1997
- [2] ASTM, "ASTM-C-177-93 Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus", American Society for Testing and Materials, 1993 Annual Book of ASTM Standard, Vol 04.06, Standard ANSI/ASTM C- 177-93, Philadelphia, pp. 1-18, (1993).
- [3] Lira L., "Diseño y construcción de un instrumento para medir la conductividad térmica de materiales sólidos aislantes", Memorias de Congreso de ANIM, Chihuahua, Chih, (1997).
- [4] Lira L., "Instrumentación y Caracterización de un aparato para medir conductividad térmica de sólidos", Memorias de V Congreso de la AGM, Guanajuato, Gto. pp 31-35, (1997).
- [5] Salazar R., Diseño, construcción y caracterización de un equipo para medir conductividad térmica de materiales aislantes en el intervalo de temperatura de -75 a 250 °C, Tesis de Maestría, CENIDET, Cuernavaca, Mor.