

Medición de la Conductividad Térmica de Algunos Materiales Utilizados en Edificaciones

L. Lira-Cortés, González Rodríguez, O. J., Méndez-Lango, E.

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

RESUMEN

En el Centro Nacional de Metrología se mantiene el patrón de conductividad térmica de materiales sólidos aislantes. El sistema utiliza un método primario de medición con un aparato de placa caliente que opera en una condición de estado permanente. En este artículo se presentan los resultados de evaluar la conductividad térmica del poliestireno extruido y otros materiales que se emplean en las edificaciones en un intervalo de temperatura de 10°C a 60°C.

1. INTRODUCCIÓN

La conductividad térmica de un material es una medida de su capacidad de transferir energía térmica (calor), al imponerle un gradiente de temperatura. Para medir la conductividad térmica de materiales aislantes se puede usar un Aparato de Placa Caliente con Guarda (APCG).

Los valores experimentales de esta propiedad termofísica de transporte se usan en el diseño y simulación de cargas térmicas en edificios, en la operación de plantas y sistemas que utilizan energía, en la optimización o mejora del diseño de diversos componentes en las plantas de procesos industriales, en particular de equipos que involucran transferencia de calor por conducción.

Para mejorar el cálculo de cargas térmicas para modelar el comportamiento térmico de edificaciones con fines de ahorro de energía, es necesario contar con los valores de las propiedades termofísicas; densidad, viscosidad, capacidad calorífica y conductividad térmica. Actualmente en México no existen datos publicados de los materiales que se fabrican y utilizan en el país, por lo que se opta por tomar los resultados reportados en la literatura, cuyos valores, en su mayoría, no corresponden a los materiales mexicanos.

El CENAM cuenta con el Patrón Nacional de Conductividad Térmica de materiales aislantes, que permite medir tanto materiales aislantes como algunos otros que se emplean en la construcción de edificaciones. A la fecha se han realizado estudios a diferentes materiales, con la intención de obtener datos de conductividad térmica reales y aplicarlos con confianza en el cálculo de cargas térmicas.

En este trabajo se presentan los resultados de medición de la conductividad térmica de varios materiales de construcción: placa de poliestireno, placa de yeso, placa de PVC con relleno de aislante y bloque de piedra pómez con grava.

El principio de operación de un APCG se basa sobre la técnica de transferencia de calor por conducción en estado permanente entre dos placas frías y una placa caliente central que tiene una guarda [1]. A continuación se describe brevemente el aparato.

2. APARATO DE PLACA CALIENTE CON GUARDA

2.1. Principio de Operación

El APCG se describe detalladamente en [2-4]. Es un aparato primario que utiliza la técnica de transferencia de calor por conducción en estado permanente y permite determinar la conductividad térmica mediante la Ec. (1):

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

donde q es la rapidez del flujo de calor 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 a través de la muestra en K o °C, l es el espesor de la muestra en m y A es el área de la sección transversal en m².

Si la muestra es un compuesto laminar o contiene porosidades o celdas vacías en las que el calor se puede transmitir por convección y radiación, además de conducción, entonces λ , de la Ec. (1), es la conductividad térmica aparente de la muestra.

2.2. Instrumento

El APCG es un aparato primario que se usa para medir la resistencia y la conductividad térmica aparente de materiales aislantes, en la Fig. 1 se muestra una fotografía del aparato del CENAM.

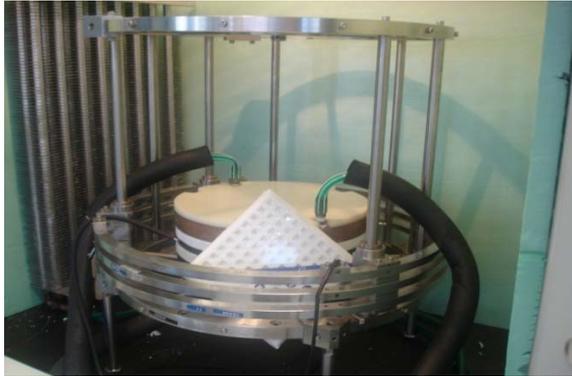


Fig. 1. Aparato para medir la conductividad térmica de materiales sólidos aislantes.

En la Fig. 2 se muestra un corte transversal de un APCG. El plato caliente conformado por el área de medición y la guarda y el plato frío mantienen las condiciones de frontera de temperatura constante en las superficies superior e inferior de la muestra.

En el caso ideal, el flujo de calor es unidimensional a través, de la muestra, desde el plato caliente hacia el plato frío en la dirección z (normal a la superficie de los platos). Bajo estas condiciones, el cálculo de la conductividad térmica aparente λ , o la resistencia térmica, $R=l/\lambda$, se puede realizar a partir del calor que se genera en el área de medición del plato caliente q , las temperaturas de los platos calientes y frío, T_c y T_f , el espesor de la muestra l , y el área A [2].

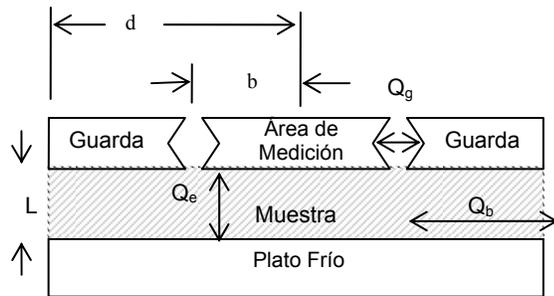


Fig. 2. Componentes principales del instrumento para medir la conductividad térmica de materiales sólidos aislantes.

2.3. Procedimiento para Realizar las Mediciones

El procedimiento para realizar las mediciones se puede resumir en las siguientes etapas:

1. Selección de la muestra,
2. Preparación de la muestra e instalación en el aparato,
3. Establecer el estado permanente térmico,
4. Adquisición de datos, y
5. Análisis de resultados.

2.3.1. Selección de la Muestra

Los factores más importantes en la selección de la muestra son el tamaño; diámetro y espesor, paralelismo y planicidad de la muestra.

El espesor es importante para mantener el error dentro del máximo permitido.

El diámetro se debe elegir tal que al menos cubra completamente el área de medición, es decir, al menos 152,4 mm.

Las superficies de la muestra deben ser planas y paralelas para obtener un buen contacto térmico, con las placas del APCG.

2.3.2. Preparación de la Muestra

En general, es necesario preparar las superficies de la muestra para asegurar un buen contacto térmico entre ésta y las placas del medidor. Si la muestra es rígida conviene colocar termopares en la superficie de contacto para una mejor determinación de la temperatura con las placas y acondicionar la muestra en una temperatura cercana a la temperatura de prueba; por ejemplo, colocarla en un horno para evitar la absorción de vapor de agua.

2.3.3. Establecimiento del Estado Permanente Térmico

Esta etapa se inicia después de la instalación de la muestra en el área de medición, el material de la guarda y el aislante necesario para minimizar la influencia de las condiciones ambientales.

El aparato se pone en operación para alcanzar las condiciones de temperatura a la que se realizará la prueba. El tiempo que se requiere para alcanzar el estado permanente en una muestra de 25,4 mm de espesor y homogénea de material aislante es de aproximadamente 5 h; este tiempo se incrementa al aumentar el espesor.

2.3.4. Adquisición de Datos

Los datos que se requieren son la potencia eléctrica, la temperatura superficial, el área de medición y el espesor de la muestra. De estas

variables sólo el espesor se mide directamente, los otros datos se calculan a partir de las mediciones

El flujo de calor se calcula por medio de las mediciones de intensidad de corriente eléctrica que circula por la resistencia calefactora y la caída de tensión en la misma, por medio de la relación:

$$Q = V I . \tag{2}$$

El área de transferencia se obtiene a partir del área medición y el área de separación; espacio entre el área de medición y la guarda; y se calcula por la formula:

$$A = A_c + A_g/2 , \tag{3}$$

donde A_c es el área de la sección de medición y A_g es el área comprendida entre el borde exterior de la sección de medición y el borde interior de la guarda.

Se usan 13 termopares para medir la temperatura de las placas. Los valores de la fuerza electromotriz de los termopares se almacenan en una PC. El manejo de los datos de intensidad de corriente, tensión eléctrica del calefactor, así como de los termopares se hace con un programa comercial. Los datos de diferencia de temperatura y temperatura de la placa caliente se grafican en función del tiempo para conocer si se ha alcanzado el estado permanente. Los datos almacenados en la PC que corresponden al estado permanente son analizaos para obtener el valor de la conductividad térmica.

2.3.5. Análisis de Resultados y Informe

Con los valores que se obtienen en la adquisición de datos, se calculan los valores de las variables necesarias: el flujo de calor, la temperatura de la placa fría, la temperatura de la placa caliente, la temperatura media o de la muestra, la diferencia de temperaturas a través de la muestra, y con los valores medidos del área de medición, y del espesor de la muestra, se calcula la conductividad y resistencia térmica.

El informe de medición incluye la identificación de la muestra, las condiciones ambientales de la prueba, las características más importantes de la prueba y los resultados con su incertidumbre. Los resultados son los valores promedio de las corridas que se realizan. Además también se informa cualquier observación adicional que se considere relevante.

3. MEDICIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Tabla 1. Informe de medición de la muestra de panel de PVC.

CENAM Laboratorio de Conductividad Térmica	
Nombre del Operador: Leonel Lira Cortés	Número de Prueba: tres Duración de la Prueba: 40 horas
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Muestra de material panel de PVC con aislante forma cuadrada.	
Identificación: Muestra de material panel de PVC relleno de aislante	
Características: Material aparentemente homogéneo con conductos rellenos de material aislante de 4,5 cm x 6,0 cm.	
Dimensiones: Placa rígida rellena de aislante cuadrada de 78,0 mm de espesor y lado de 300 mm.	
Notas: El cliente indicó la temperatura de la prueba entre 20°C y 30°C de su material	
DESCRIPCIÓN DEL APARATO: Aparato de placa caliente con guarda (APCG).	
Orientación de los platos: Horizontal	
Modo de operación: doble lado de medición	
PROCEDIMIENTO DE PRUEBA: Aparato de placa caliente con guarda (APCG) con flujo de calor permanente.	
Valores Experimentales	
Nombre de la variable:	Valor Promedio:
Potencia disipada durante la prueba	0,518 W
Temperatura en la placa caliente	30.51°C
Temperatura en la placa fría	13.93 °C
Gradiente de temperatura en la muestra	16.58°C
Temperatura media o de la prueba	22.22 °C
Temperatura ambiente	22.12 °C
Humedad relativa	27 %
Espesor de la muestra	78.0 mm
Área de medición	21404 mm ²
Resultados:	
Conductividad térmica aparente	0.0569 W/K m
Resistencia térmica	1.371 K m ² /W

Se evaluaron cuatro materiales; poliestireno, yeso, panel de PVC con aislante y un bloque de piedra pómez de grano fino con grava.

Las muestras de poliestireno, PVC y yeso son placas cuadradas de 30 cm x 30 cm y espesor de 2,50 cm, 7,8 cm, 1,78 cm, respectivamente. El bloque de piedra es rectangular de 18 cm x 30 cm con espesor de 10 cm aproximadamente.

En la Tabla 1 se muestra los resultados para el panel de PVC, junto con todos los datos del material. En la Tabla 2 se muestran los resultados para los cuatro materiales, los valores de conductividad van desde 0,03 W·m/K hasta 0,4 W·m/K, que corresponden a materiales desde aislantes hasta pobres conductores térmicos.

Tabla 2. Resultados de la conductividad térmica para las muestras de poliestireno, yeso, PVC y bloque.

Muestra	Espesor (mm)	Temperatura media (°c)	Conductividad térmica aparente (W/mK)
Poliestireno	23,5	22,02	0,032 6
Yeso	17,8	28,8	0,178
PVC	78,0	22,2	0,056 9
Bloque	100,5	29,45	0,391

4. ANALISIS DE INCERTIDUMBRE

La incertidumbre para la medición se estimó conforme a la guía para la expresión de la incertidumbre [5] y está dada por:

$$\frac{d\lambda}{\lambda}^2 = \frac{1}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial q} dq^2 + \frac{1}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial l} dl^2 + \frac{1}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial A} dA^2 + \frac{1}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial \Delta T} d\Delta T^2 \quad (4)$$

En la Tabla 3 se indican los valores estimados de incertidumbre que se calculan con la Ec. (4) para cada uno de los materiales.

Tabla 3. Incertidumbre estimada para los distintos materiales.

Muestra	Incertidumbre
Poliestireno	2 %
Yeso	5 %
PVC	10 %
Bloque	10%

5. CONCLUSIONES

Se utilizó el patrón nacional de conductividad térmica de materiales sólidos aislantes para determinar la conductividad de materiales de construcción, dos aislantes y dos materiales conductores pobres o no aislantes.

Los materiales que se midieron fueron fabricados para tener una conductividad térmica baja aunque no se comporten como aislantes.

Como resultado se observó que los materiales yeso y bloque no se pueden utilizar como aislantes térmicos para aplicaciones a las temperaturas que se probaron, pero el resultado de la conductividad térmica es un valor aceptable térmicamente para un material de construcción, para los cuales los valores de conductividad son cercanos a la unidad [6].

El análisis de incertidumbre muestra que los resultados presentan una incertidumbre del 2 % para los materiales aislantes; y del 10 % para materiales no aislantes o que exceden los límites de operación definidos en el patrón nacional.

El tiempo de realización de la prueba no se puede reducir puesto que es una técnica de estado permanente. En caso de que se quiera determinar la conductividad térmica en un tiempo mas corto, conviene diseñar una técnica transitoria que, aunque mas rápida, tiene mayor incertidumbre.

REFERENCIAS

[1] ASTM, “ASTM-C-177-97 Standard Test Method for Steady-State Thermal 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 (1993).

[2] Lira L., “Diseño y construcción de un instrumento para medir la conductividad térmica de materiales sólidos aislantes”, ANIIM-97, Chihuahua, Chih. , pp 101-105 (1997).

[3] 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., (1995).

[4] L. Lira, E. Mendez-Lango, “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”

Memorias del Simposio de Metrología, CENAM, 2006.

[5] Guía para la expresión de la incertidumbre en las mediciones, NMX-CH-140-IMNC, 2002.

[6] Guía para aplicar criterios de eficiencia energética en construcciones para uso habitacional. FIDE, México, (1998).