

CARACTERIZACIÓN DE UN APARATO DE PLACA CALIENTE CON GUARDA EN DESARROLLO EN EL CENAM, PARA DETERMINAR LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES SÓLIDOS AISLANTES

Víctor Martínez ¹, Leonel Lira ^{1,2}

¹ División de Termometría; Laboratorio de Conductividad Térmica
CENAM; Centro Nacional de Metrología
Km 4.5 carretera a los Cues el Marqués, Qro.
Tel. (442) 2110500, fax 2110548, vmartine@cenam.mx, llira@cenam.mx

² Departamento de Ingeniería Mecánica, Laboratorio de Térmica
CENIDET, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Prol. Av. Palmira s/n, Col. Palmira. Cuernavaca, Mor.
Tel. y Fax (777) 3-12-76-13, E-mail: llira@cenidet.edu.mx

Resumen: Se obtuvo la caracterización de los distintos elementos que forman un aparato de placa caliente con guarda para determinar la conductividad térmica de materiales sólidos aislantes térmicos, esto para definir su intervalo de operación y evaluar la exactitud que se puede alcanzar con dicho instrumento. El instrumento está compuesto por dos placas frías y una placa caliente con guarda, la caracterización se realiza en cada elemento independiente y posteriormente en conjunto.

1. INTRODUCCIÓN

La conductividad térmica es la característica física que presentan los materiales y que representa su capacidad para conducir calor cuando están sometidos a una diferencia de temperatura.

La conductividad térmica es la constante positiva λ en la expresión de la Ley de Fourier de conducción de calor:

$$q = -\frac{\lambda A \Delta T}{L}$$

donde q es el flujo de calor, A el área transversal, L el espesor del espécimen en la dirección de flujo de calor y ΔT la diferencia de temperatura a la que se somete el espécimen.

El Aparato de Placa Caliente con Guarda (APCG) es un instrumento primario para la determinación de la conductividad térmica de materiales aislantes [1]

El APCG lo constituyen dos placas frías y una placa caliente. La placa caliente está formada por dos secciones concéntricas, una de medición y otra de aislamiento. Cada sección se fabrica de una pieza de material conductor térmico (cobre). Las placas frías se construyen con sendos serpentines para el flujo de un líquido refrigerante. La potencia en el

calefactor eléctrico en la placa caliente se suministra conectándolo a una fuente de tensión. Los instrumentos de medición y control que utiliza este patrón son: multímetros, sensores de temperatura, selectores de canal, amplificadores, fuentes de potencia y controles de temperatura y de potencia.

En el laboratorio de conductividad térmica del CENAM se encuentra en caracterización un instrumento de este tipo.

Se presentan las características de las placas frías y las pruebas que se realizaron, así como la construcción y operación de la placa caliente.

2. PLACAS FRÍAS

Las placas frías del aparato son dos, las cuales fueron donadas por el *National Institute of Standards and Technology*, NIST.

Estas placas son discos de cobre cilíndricos de 305 mm de diámetro; en su interior se ha maquinado una espiral doble de 12,7 mm de ancho y profundidad de 9,5 mm. Por la espiral circula un fluido con temperatura controlada para mantener la superficie de la placa isotérmica [2,3]; a este arreglo se le coloca una tapa de cobre de 305 mm de diámetro con un espesor de 6,4 mm.

Las placas deben cumplir con ciertas características mecánicas, que se tomaron en cuenta durante su maquinado, que se realizó en los talleres del CENAM. En la tabla 1 se presentan las especificaciones requeridas según la referencia [4]. En la tabla 2 se muestran las especificaciones que tienen las placas frías que integran el instrumento, en general ambas placas cumplen con todas las especificaciones mecánicas, excepto la planitud ya que las placas presentan una desviación, respecto a las especificaciones, de 10 μm .

Tabla 1. Especificaciones dimensionales de las placas frías

Características	Especificaciones
Diámetro de las placas	304,8 mm
Planitud de las placas	41 μm
Emisividad de las placas	Mayor que 0,8

Tabla 2. Mediciones de las placas con la máquina de coordenadas

Característica medida	Valor promedio (mm)	
	1	2
Placa frías		
Planitud de la cara de trabajo	0,051	0,053
Paralelismo	0,110	0,115
Espesor promedio y desviación estándar	27,763 \pm 0,012	27,684 \pm 0,012

Posterior a la caracterización mecánica se realizaron pruebas de uniformidad térmica de las placas, las cuales consistieron en medir la temperatura en distintas posiciones radiales en cada una de las placas. Para ello se hace recircular el fluido de un baño termostático por el interior de las placas con el fin de mantener una temperatura constante y uniforme en la superficie de las mismas. El fluido que circula es una mezcla de agua con etilenglicol mantenido en el baño a una temperatura con una estabilidad del orden de 0,0008 $^{\circ}\text{C}$ en el intervalo de 0 a 60 $^{\circ}\text{C}$ según especificaciones del fabricante.

Se realizaron mediciones sobre las placas frías para tres valores diferentes de temperatura en el intervalo de 10 $^{\circ}\text{C}$ a 40 $^{\circ}\text{C}$. Las temperaturas se midieron con respecto a la temperatura del centro de la placa ($r = 0$). En las figuras 1 y 2 se muestran los resultados que se obtuvieron de las pruebas en cada placa fría.

La temperatura indicada por el termopar en el extremo ($r = 152,4 \text{ mm}$) se desvía más de 0,2 $^{\circ}\text{C}$

con respecto a las demás para temperaturas de la placa diferentes a 20 $^{\circ}\text{C}$ como se observa en las figuras. Este efecto se debe a la influencia de la temperatura ambiente sobre el termopar en la orilla de la placa.

En las otras posiciones se tiene que la diferencia de temperatura es menor que 0,1 $^{\circ}\text{C}$, que es del orden de la incertidumbre de la medición de temperatura. En la figura 2 se observan dos valores medidos a la temperatura de 40 $^{\circ}\text{C}$ en donde se aprecia el efecto de reducir la “fuga de calor” del termopar al colocar una mayor parte de su cuerpo en contacto térmico con la placa.

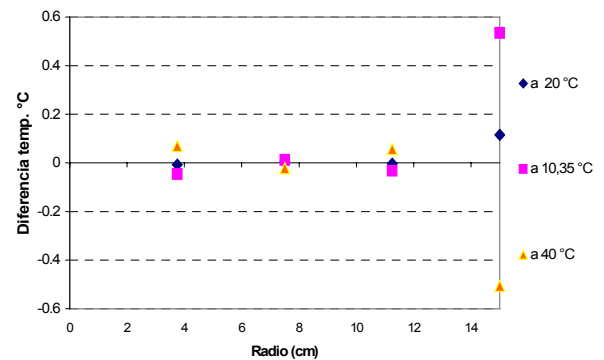


Fig. 1. Diferencia de temperatura con respecto al centro de la placa. Placa 1.

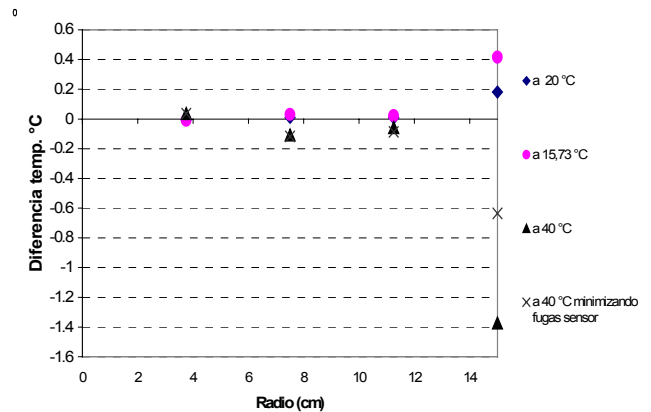


Fig. 2. Diferencia de temperatura con respecto al centro de la placa. Placa 2.

3. PLACA CALIENTE

La placa caliente está formada por dos secciones: el área de medición y la guarda. Estas secciones están unidas por tres pernos de acero inoxidable que permiten que exista un espacio anular uniforme entre ellas de aproximadamente 0,8 mm.

3.1 Área de medición

La sección de medición es de cobre y está integrada, a su vez, por dos partes que se ensamblan para formar el área de medición. En la unión de las dos partes se aloja el calefactor.

La parte central del ensamble consiste de un disco de cobre de 117 mm de diámetro y de 12,2 mm de espesor, el cual contiene una ranura de 11 mm x 0,3 mm donde se aloja el calefactor. El calefactor es comercial, de tipo cinta de 10,7 mm de ancho, 365 mm de largo y 0,2 mm de espesor con un valor de resistencia de 94,3 Ω .

La segunda sección consiste de un anillo con diámetro interno de 117 mm, un diámetro externo de 164,7 mm y un espesor de 12,2 mm. En la Figura 3 se muestra el esquema de la sección de medición.

Posterior a la fabricación y colocación de la cinta del elemento calefactor, el anillo se calienta en una parrilla eléctrica a una temperatura aproximada de 60 °C, lo cual permite que la parte central se aloje sin dificultades en el hueco. Al dejarse enfriar, este ensamble forma la sección del área de medición [5].

3.2 Pernos para la unión de las secciones

Estos pernos son acero inoxidable y su función es unir el disco central con el anillo exterior de la placa caliente, además de mantener el espacio anular uniforme y permitir el paso de los cables eléctricos para energizar el calefactor y los alambres de los termopares. En la figura 3 se muestran los dibujos de fabricación de los pernos [5].

3.3 Guarda

La sección de guarda es una placa anular de cobre de 12,2 mm de espesor, de 305 mm de diámetro exterior y 166,3 mm de diámetro interior. En una posición específica ($r = 122,6$ mm) tiene una ranura para alojar el elemento calefactor, el cual permite controlar la transferencia de calor radial del conjunto. Un esquema de la guarda se presenta en la figura 5.

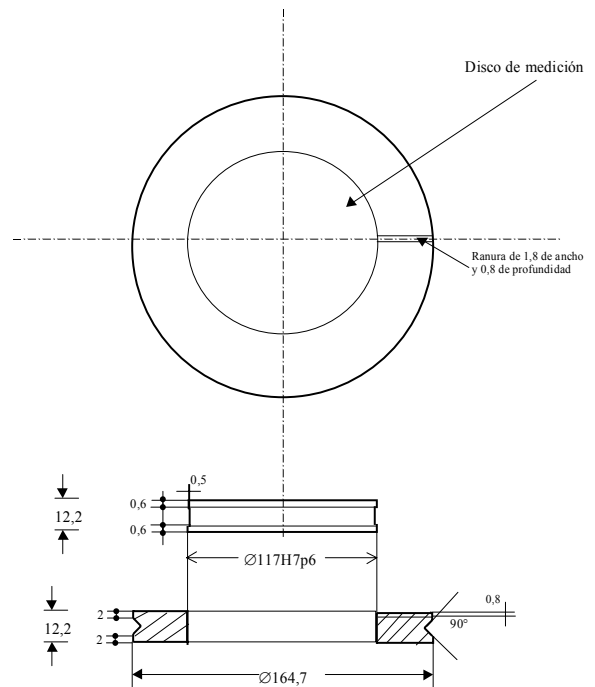


Fig. 3. Esquema de la sección de medición. La parte superior es la vista superior y la parte inferior la vista lateral de un corte en el diámetro para mostrar detalles de las partes componentes. Material: cobre. Acotaciones en mm.

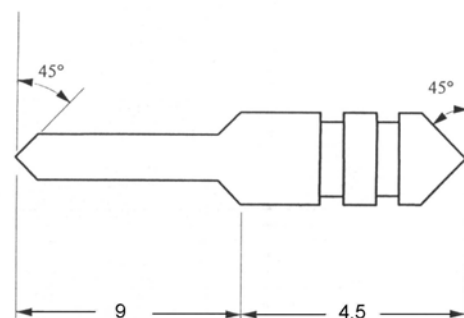


Fig. 4. Esquema del perno de unión. Diámetros de 1,6 y 3,2 mm. Acotaciones en mm.

3.4 Pruebas dimensionales de la placa caliente

En una máquina de medición por coordenadas se determinaron las dimensiones de la placa caliente, los resultados se presentan en la Tabla 3. En esta

tabla, la planitud y el paralelismo del área de medición, corresponden a las especificaciones [4].

Tabla 3. Resultados de mediciones dimensionales de la placa caliente.

Característica medida	Valor promedio (mm)	
	Sección medición	Sección guarda
Planitud cara 1	0,051	0,217
Planitud cara 2	0,059	0,039
Paralelismo	0,084	0,164
Espesor promedio y desviación estándar	12,218 ± 0,004	12,269 ± 0,056
Diámetro interno	-	173,193
Diámetro externo	156,914	-

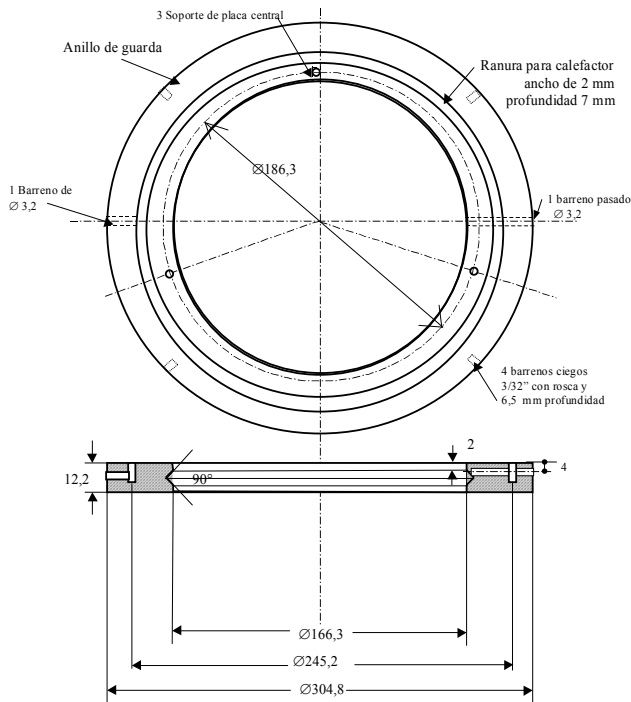


Fig. 5. Esquema de la sección de guarda. La parte superior es la vista superior y la parte inferior la vista lateral de un corte en el diámetro para mostrar detalles de las partes componentes. Material: cobre. Acotaciones en mm.

3.5 Pruebas térmicas a la placa caliente.

Las pruebas de caracterización de los principales elementos que forman el aparato se realizan en el laboratorio sin condiciones controladas con el fin de

determinar la mejor configuración para su operación óptima.

Se realizaron dos tipos de prueba con el fin de observar los efectos de la distribución de temperatura en las placas calientes bajo las siguientes condiciones: a) Distribución de temperatura en la sección de medición, sin suministrar potencia a la guarda. b) Distribución de temperatura en la sección de medición con suministro de potencia eléctrica a la guarda. La potencia por unidad de área entregada es equivalente en la sección de medición y en la sección de guarda.

Para las pruebas se colocaron 10 termopares: 4 en la sección de medición y 4 en la sección de guarda y dos en el espacio anular entre las dos secciones, uno en un extremo de la sección de medición y el otro en un extremo de la sección de guarda. En las dos condiciones, los resultados de medición de la temperatura en los diez puntos distribuidos de la placa caliente se muestran en la Figura 6.

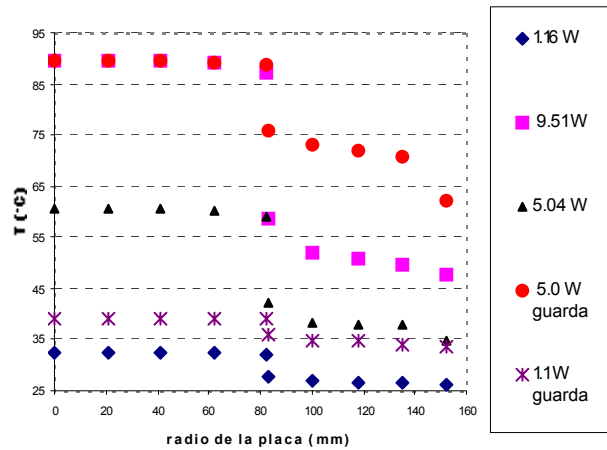


Fig. 6. Distribución experimental de la temperatura radial en la placa caliente

De los resultados obtenidos en las pruebas para las dos condiciones de la guarda se observa el efecto de aplicar potencia a la guarda; al minimizar la diferencia de temperatura entre las dos secciones se reducen los gradientes de temperatura en la sección de medición. Se pueden comparar los resultados de suministrar, por ejemplo, 1 W de potencia a la sección de medición cuando no se aplica potencia a la guarda. En este caso se obtienen variaciones de temperatura en la sección de medición de 0,5 °C y una diferencia de temperatura con respecto a la guarda de 4,3 °C.

Para la misma potencia en la sección de medición y aplicando potencia los resultados son de 0,1 °C y 3,5 °C respectivamente

4. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Las pruebas realizadas hasta el momento muestran que la suposición de que las placas son isotérmicas, se mantiene dentro del nivel de incertidumbre en la medición de temperatura que es del orden de 0,1 °C.

Para las placas frías, según las pruebas realizadas con el baño termostático utilizado, se obtiene que la uniformidad de las placas es de 0,1 °C excepto en los bordes en contacto con el ambiente.

En la placa caliente se presenta una mayor uniformidad de su temperatura cuando la transferencia de calor radial se mantiene al mínimo al reducir la diferencia de temperatura entre las dos secciones, tal como se mostró en la figura 6. Por lo que para reducir esta diferencia de temperatura en el espacio anular se tiene que encontrar la potencia adecuada.

La siguiente parte de la caracterización consistirá en observar el comportamiento del instrumento completo y operarlo de forma manual para conocer las alternativas de control y obtener la mejor estabilidad del instrumento.

Posteriormente se evaluará la conveniencia de realizar la automatización del sistema y se iniciara la evaluación del aparato con los materiales de prueba existentes para así determinar los límites de operación confiables del instrumento.

REFERENCIAS

- [1] Salmon, D. *Thermal conductivity of insulations using guarded hot plates, including recent developments and sources of reference materials*. Meas. Sci. Technol. 12 (2001) R89–R98
- [2] Zarr, R. R., y Hahn, M. H *Line-Heat-Source Guarded-Hot-Plate Apparatus*. ASTM.1995.
- [3] Siu, M. C. I. And Bulik, C. en Review of Scientific Instruments Vol 52 No. 11 November 1981. AIP. Pp. 1709-1716.
- [4] Norma ASTM C177-97 *Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurement and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus*. 1997.
- [5] Martínez Fuentes, V. *Sistema primario de conductividad térmica de aislantes térmicos. Diseño y construcción* Tesis de Maestría. CICATA- IPN. Querétaro, Qro. Mayo de 2003