



CADI 2016

7,8 Y 9 DE SEPTIEMBRE
RESISTENCIA - CHACO

ISBN 978-950-42-0173-1



III CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA

En conjunción con:

CAEDI 2016
IX CONGRESO ARGENTINO DE
ENSEÑANZA DE LA INGENIERIA



UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL
RESISTENCIA



UNIVERSIDAD NACIONAL
DEL NORDESTE
FACULTAD
DE INGENIERIA



confedi

ISBN 978-950-42-0173-1

Editores:

Alejandro Farias

Jorge Pilar

Cesar J. Acuña

CADI 2016

III CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA

En conjuncion con:

CAEDI 2016

IX CONGRESO ARGENTINO DE ENSEÑANZA DE LA INGENIERIA

7,8 y 9 de Septiembre de 2016
Resistencia | Chaco | Argentina

Actas del III Congreso Argentino de Ingeniería: CADI 2016. 1° Edición
Compilado por Alejandro Rubén Farías, Jorge Pilar, César J. Acuña
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Resistencia - 2016.
Libro digital, PDF - Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-950-42-0173-1



FABRICACIÓN DE UN EQUIPO DE PLACA CALIENTE PARA DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES

Juan J. Corace¹, GIDER – Facultad de Ingeniería – UNNE – jcorace@ing.unne.edu.ar

María R. Aeberhard², GIDER – Facultad de Ingeniería – UNNE – raquelaeberhard@yahoo.com.ar

Pablo E. Martina³, GIDER – Facultad de Ingeniería – UNNE – pablo@ing.unne.edu.ar

Resumen — La conductibilidad térmica es un parámetro cuyo conocimiento es importante para caracterizar un material. En escenarios y condiciones adversas la conductibilidad térmica es un dato clave para el diseño y construcción, ésta propiedad evidencia la cantidad de calor que se pierde o se gana en situaciones reales. La bibliografía aporta datos de conductividad térmica de diversos materiales, pero existen algunos que por ser nuevos o fabricados para un uso específico y/o determinado para un tipo de obra, de los que no se cuentan con datos fidedignos o los márgenes de variación son muy amplios. Esto motivó se desarrolló un dispositivo denominado “Aparato de Placa Caliente” o “Hot Plate” con el cual se puede establecer el coeficiente de conductividad térmica para diferentes materiales. El aparato se construyó siguiendo las especificaciones de las Normas IRAM 11.559 y ASTM C177-85. Los resultados alcanzados con el mismo han demostrado concordancia con valores de conductividad térmica obtenidos de ensayos comparativos. La utilización del aparato permite determinar conductibilidades de todo tipo de material bajo diferentes condiciones de temperatura. El equipo cubre el vacío que existe en nuestro medio para caracterizar materiales térmicamente en montajes cuya arquitectura o configuración no es tradicional y tiene como objetivo aportar conocimientos científicos transferibles a la actividad industrial para mejorar la calidad y dar valor agregado.

Palabras clave — transferencia de calor, conductibilidad, placa caliente.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes: en distintas áreas de la ciencia y de la ingeniería se presenta el problema de determinar la distribución de temperaturas y el flujo de calor, tal el caso de intercambiadores como ser calderas, condensadores, radiadores, etc., las barras de combustibles (núcleos) de los reactores nucleares, donde se debe realizar un análisis completo de la transferencia de calor de los elementos combustibles para evitar el agotamiento de los mismos, en la calefacción y acondicionamiento de aire en edificaciones para determinar la cantidad de aislamiento con el fin de evitar pérdidas o ganancias de calor, y, como éstos, muchos ejemplos más.

Entre las líneas de investigación que realiza el grupo G.I.D.E.R. (Grupo de Investigación y Desarrollo en Energías Renovables) de la facultad de Ingeniería de la UNNE, una está referida al estudio del comportamiento térmico de materiales, donde se ensayan prototipos experimentales, para conocer el comportamiento térmico de los mismos y establecer su caracterización para su uso en obra. Los resultados alcanzados en proyectos que abarcaron dichas líneas de investigación, demostraron que para mejorar tanto la calidad de los materiales, como también la rentabilidad de los procesos, es necesario estudiar el almacenamiento y transporte de la energía en las estructuras que conformarán dichos

materiales. La transferencia de calor requiere el cálculo simultáneo de los efectos del calor latente y sensible, y depende de las complejas características morfológicas de los mismos.

Con el desafío de estudiar el comportamiento térmico de materiales y ante la perspectiva de ensayar con materiales metálicos, específicamente chapas que formarían parte de bobinas estáticas y el material aislante de dichas bobinas proporcionados por la firma IMPSA, se observó la posibilidad de construir un aparato con el que, a partir de una muestra conocida, pueda determinarse, en forma directa, la conductividad térmica de materiales aún no estudiados o cuya configuración sea no tradicional.

1.2 Conductividad Térmica

En todas las aplicaciones prácticas desempeña un papel importante el coeficiente de conductividad térmica. Este coeficiente es una constante del material, que depende también de la dirección del flujo de calor, de la temperatura y del grado de humedad del mismo.

La conductividad térmica se define como la cantidad de calor que se transmite en una dirección, por unidad de tiempo y de superficie, cuando el gradiente de temperatura es unitario [1]. Este coeficiente se indica con la letra griega lambda λ , y su unidad se expresa en W/(mK).

Según la ley que rige la transferencia de calor en los sólidos (Ley de Fourier de la conducción [1]), una vez que se ha alcanzado el régimen permanente, la velocidad de transmisión calorífica a través de un muro es:

$$q = -\lambda.A. \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Donde q es la velocidad de transmisión del calor a través del espesor, en W/s, λ es el coeficiente de conductividad térmica del material, en W/ m.K, A es la sección del material, perpendicular al flujo del calor, en m^2 , dT es la variación de temperatura entre las caras fría y caliente, en K y dx es el espesor en la dirección del flujo de calor (x), en metros.

De (1) se obtiene el coeficiente de conductividad térmica λ , en función de los demás parámetros.

Entre los factores que intervienen en la conductividad térmica se pueden mencionar el efecto de la temperatura ya que es diferente para metales y no metales. Según la ley Wiedemann-Franz [2] la conductividad térmica de los metales es aproximadamente proporcional al producto de la temperatura absoluta multiplicada por la conductividad eléctrica. Es decir, que en los metales el efecto de la temperatura sobre la conductividad térmica se debe principalmente a los electrones libres, mientras que en los no metales se debe mayormente a las vibraciones de la red cristalina.

La estructura del material es otro factor que modifica la conductividad térmica, es decir que depende de las diferentes direcciones de la red cristalina, y de la convección, ya que, por ejemplo, en ausencia de la misma, los gases son malos conductores del calor.

La deducción de una ley física para determinar el coeficiente de conductividad térmica presenta grandes dificultades ya que habría que considerar las dimensiones celulares (en el caso de sólidos porosos), los espesores de las capas de moléculas de agua en la superficie interna y los coeficientes de conductividad térmica de cada una de las partes componentes [3].

En el caso de los sólidos, las conductividades térmicas deben determinarse experimentalmente ya que, como se expuso anteriormente, dependen de numerosos factores. En el caso de sólidos porosos o láminas superpuestas, la conductividad térmica depende extraordinariamente de la

fracción de huecos, del tamaño de los poros, del espacio interláminas y de la fracción de aire contenido entre láminas.

1.3 Conductividad Térmica en los metales

En metales de alta pureza, el mecanismo de transporte de calor se realiza fundamentalmente por los electrones libres. Los valores de la conductividad son los más altos ya que los electrones no son tan fácilmente dispersados y además existe un gran número de electrones libres que participan en la conducción térmica.

La bibliografía proporciona datos de conductividad térmica de muchos materiales, pero no se registran valores para materiales específicos como son los materiales de las probetas proporcionadas por IMPSA. En ello radica la importancia de este trabajo, en determinar valores inequívocos de conductividad térmica, que hasta el momento, la bibliografía carece.

1.4 Aparato de Placa Caliente

Distintas normas [4,5] indican que el coeficiente de conductividad térmica puede ser obtenido mediante la utilización de un aparato denominado de placa caliente, que consiste esencialmente en una fuente caliente constituida por una placa calefactora que comprende una parte central, el corazón, fuente calorífica principal y un anillo de guarda para propiciar la unidireccionalidad del flujo de calor de la resistencia central, separados por un espacio no mayor de 3 mm. Esta fuente está ubicada en el centro del equipo. La fuente caliente se alimenta por medio de cuatro conductores eléctricos distribuidos en la zona central y en un anillo de guarda. Estos conductores se conectan a dos variadores de tensión (rango: 0-220 V) que permiten una alimentación progresiva con corriente eléctrica alterna, que calienta paulatinamente la placa caliente a través de la resistencia

De este circuito eléctrico se miden permanentemente la tensión y la corriente. A ambos lados de la placa caliente se colocan dos placas de material conductor (preferentemente cobre) con el objeto de formar una superficie homogénea de transmisión del calor.

Superpuestas a las placas conductoras se ubican las probetas del material a ensayar, y a continuación las placas refrigerantes correspondientes a la fuente fría. Dentro de estas fuentes circula agua de la red a efectos de mantener constante la temperatura. Todo lo apuntado se observa en la figura 1:

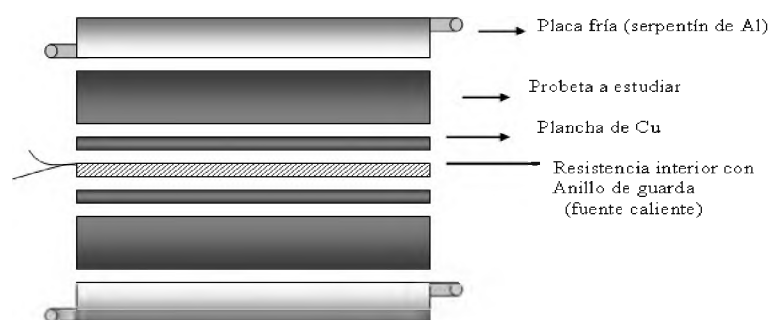


Figura 1

En ambas caras de las probetas a ensayar (simétricas e idénticas en su composición física), deben colocarse sensores de temperatura, previamente calibradas para desechar errores de medición, en número suficiente para registrar permanentemente las temperaturas de la superficie fría y caliente, ubicadas simétricamente en ambos lados de la probeta para garantizar el contacto con las paredes de la misma y lograr uniformidad en la medición. El

conjunto se rodea de un material aislante para impedir fugas de calor al exterior. Se forma así una especie de “pared agrupada” horizontal formado por varias capas, donde el calor generado por la resistencia eléctrica en el centro se transmite hacia ambos lados externos por conducción.

Una de las normas internacionales que rigen la construcción y el funcionamiento de los equipos de placa caliente para la determinación de la conductividad térmica de los materiales es la ASTM (American Standards for Testing Materials), ASTM C177-85: Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot Plate Apparatus [4].

Otra de las normas que rigen el estudio de la conductividad térmica de los materiales es la Norma IRAM 11.559: Acondicionamiento térmico de edificios. Método de determinación de la conductividad térmica de materiales de construcción mediante el aparato de placa caliente [5], por el Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.

El aparato construido y ensayado en el laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería de la UNNE, se basó principalmente en esta norma. Ésta establece muy claramente todos los parámetros, dimensiones, materiales, y condiciones que deberán valerse para construir el aparato, y una vez construido establece concretamente los pasos a seguir para que el ensayo pueda obtener valores correctos y comparables.

2. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es exponer y difundir el diseño, construcción y funcionamiento de un dispositivo denominado Aparato de Placa Caliente también conocido como “Hot Plate” con el cual se puede determinar el coeficiente de conductividad térmica para diferentes materiales.

3. METODOLOGÍA

3.1 Materiales y Métodos de Construcción del Aparato

Para el diseño y construcción del equipo se siguieron las indicaciones de la Norma IRAM 11.559: ASTM C177-85 [4, 5, 6].

El núcleo del equipo está constituido por una placa caliente, que suministra calor al aparato. Esta placa se construyó sobre un material denominado “mylar”, un cartón prensado de características dieléctricas que se utiliza en los bobinados de motores eléctricos.

El núcleo es de 30cm*30cm*0,15cm, tiene dos partes, una central de 7,5cm*7,5cm, y otra exterior (anillo de guarda), cuyas medidas son 30cm*30cm. Tanto el anillo de guarda como la parte central tienen bobinados en su perímetro de alambre de cobre esmaltado de 0,25 mm de diámetro. Estos arrollamientos tienen respectivamente un valor de la resistencia 6,5 ohm y 5,3 ohm (ambos valores medidos a 20 °C). Los extremos de estos devanados salen al exterior mediante terminales que permiten conexión en las bornas de los variadores de tensión. En la figura 2 se observa la placa caliente.

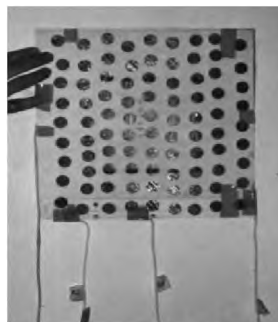


Figura 2

A ambos lados del núcleo generador de calor se colocan cuatro placas de cobre, de 30cm*30cm*1,5mm. Cuya función es formar una superficie homogénea de transferencia de calor hacia las muestras a ensayar que se encuentran hacia fuera. Luego de estas placas se ubican las probetas a ensayar, en este caso dos probetas compuestas por el material en estudio proporcionado por la empresa IMPSA, como se observa en la Figura 3.



Figura 3

Superpuestas a las muestras se colocaron las dos fuentes frías, a cada lado. Las medidas de estas fuentes son: 30cm*30cm*3,9cm

Finalmente, se cubrieron los 6 lados con planchas de aislante de 3,0 cm de espesor, para garantizar que las pérdidas de calor hacia el exterior por conducción sean mínimas. Fuera de la zona aislada, salen los cables de conexión hacia los variadores de tensión y los cables que conectan los sensores PT100 para medir la temperatura. Los parámetros se controlan mediante el Software POD de Schlumberger, mediante la interfaz IMP SI 35953A de Schlumberger Tech Ltd, Los controles de guarda se controlan mediante el Software DMM View Ver 2.0 de Mastech.

En la figura 4 se observa el aparato de placas en conjunto y en la figura 5 el equipo terminado y listo para iniciar los ensayos:

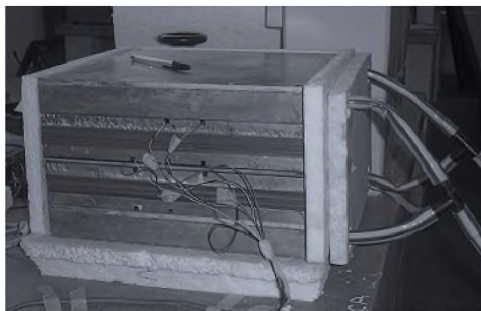


Figura 4

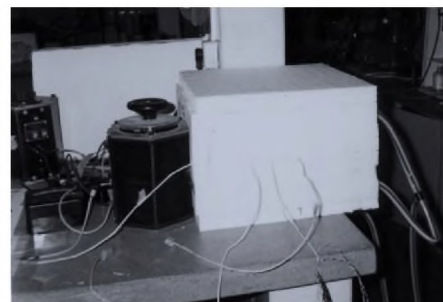


Figura 5

3.2 Ensayos realizados con el Aparato

3.2.1 Determinación de la conductividad térmica de muestras correspondientes a bobina estáticas y aislante principal de la bobina estáticas expuestas a diferentes temperaturas.

Previo a la realización de los ensayos se planteó el problema teórico correspondiente, de tal manera que las características generales de medición para el caso de ensayos donde el flujo de calor era transversal fue el siguiente:

FABRICACIÓN DE UN EQUIPO DE PLACA CALIENTE PARA DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES

Para las probetas identificadas como 001, 002 y 003 se determinó el valor de la conductibilidad térmica mediante la expresión:

$$\lambda_x = \frac{e_2}{\left(\frac{e}{\lambda} - \frac{2 \cdot e_1}{\lambda_{med}} \right)} \quad (2)$$

Donde λ es conductividad térmica del material, λ_x es la conductividad térmica del material a ensayar o desconocido y λ_{med} es la conductividad térmica total

Para todos los ensayos se procedió de la misma manera: se reguló el variador de tensión para alcanzar la temperatura requerida. Con la corriente eléctrica aproximadamente constante, se observó un aumento paulatino de la temperatura de la fuente fría, hasta alcanzar el estado estacionario, registrándose a partir de ese momento los valores de temperatura fría, caliente y potencia entregada a la placa, datos con los que se calculó la conductividad.

Se realizaron determinaciones con dos muestras correspondientes a una bobina estática para 60 °C y 80 °C, figuras 6 y 7.

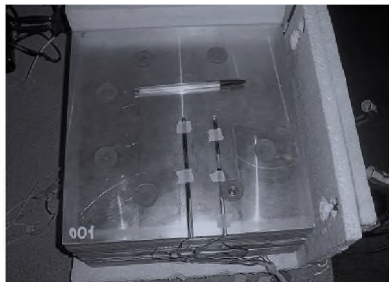


Figura 6



Figura 7

Luego se procedió a determinar la conductividad térmica del aislante principal de una bobina estática procediéndose de la misma forma que en el ejemplo anterior, figuras 8 y 9



Figura 8



Figura 9

3.2.2 Determinación de la conductividad térmica de muestras correspondientes a bobina estática expuestas a diferentes temperaturas con flujo longitudinal.

Como en los casos anteriores se planteó el problema teórico correspondiente, con las características de medición para el caso de ensayos donde el flujo de calor, según la disposición del aislante de la probeta, fue longitudinal.

En las figuras 10 y 11 se observa el esquema de la dirección del flujo de calor y la zona de medición para la muestra identificada como 003 en el equipo de Placa Caliente.

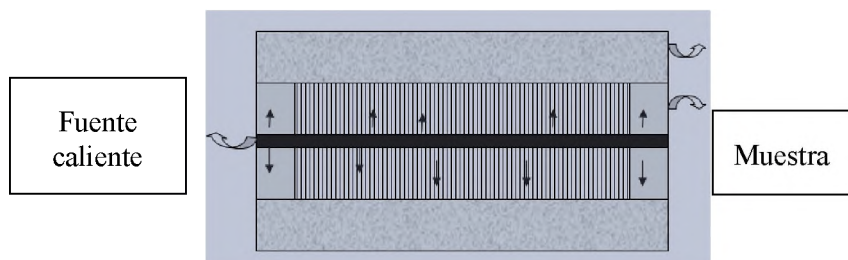


Figura 10

En este ensayo se tuvo en cuenta que la superficie de estudio (placa caliente sin la guarda) es de 225 cm^2 (15×15) cm^2 , por lo que se consideró sólo la zona de chapa y no la faja de aluminio, (Figura 12)

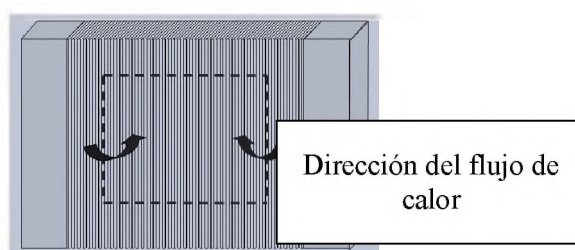


Figura 11

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los ensayos se realizaron para muestras correspondientes a bobinas estáticas donde el flujo de calor fue transversal y longitudinal. Todas las determinaciones se realizaron para diferentes temperaturas, según los requerimientos de la empresa IMPSA

Tabla 1: valores obtenidos para la muestra 001 bobina estática – flujo transversal

PROBETA 001		49.7 mm de espesor	
Temperatura °C		60	80
Coefficiente de conductividad térmica W/mK		1.483	1.448

Tabla 2: valores obtenidos para la muestra 002 bobina estática –Aislante principal

PROBETA 002		33.5 mm de espesor		
Temperatura °C		65	90	110
Coefficiente de conductividad térmica W/mK		0.174	0.174	0.175

Tabla 3: valores obtenidos para la muestra 003 bobina estática – flujo longitudinal

PROBETA 003	
43 mm de espesor	
Temperatura °C	80
Coefficiente de conductividad térmica W/mK	1.514

Fuentes tablas 1,2 y 3: elaboración propia

5. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un equipo que permite medir el coeficiente de conductividad térmica de materiales utilizados en las construcciones tanto civiles como electromecánicas. El dispositivo cumple totalmente con las especificaciones técnicas de las normas IRAM 11.559 y ASTM C177-85, una de las características del equipo es su versatilidad a los efectos de determinar coeficientes de conductividad térmica de diferentes tipos de materiales, permitiendo estudiar también en forma directa, el comportamiento térmico de materiales compuestos, con arquitecturas especiales.

Este equipo es empleado en el proyecto de investigación que realiza actualmente el G.I.D.E.R. denominado: Transferencia Combinada de Calor y Masa en Materiales Utilizados como Material de Construcción Poroso e Higroscópico y también es destinado a la docencia, ya que mediante este aparato se puede comprender el proceso de la transferencia del calor por conducción.

El aparato de placas construido por el Grupo de Investigación y Desarrollo en Energías Renovables (G.I.D.E.R.), cubre el vacío que existía en nuestro medio de un equipo para medir propiedades térmicas en los materiales de la región.

6. REFERENCIAS

- [1] Norma IRAM 11549 Acondicionamiento térmico de edificios. Definiciones
- [2] R. Franz, G. Wiedemann Über die Wärme-Leitungsfähigkeit der Metalle – Annalen der Physik. 2006 pág. 497-531
- [3] Kollmann, F. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Springer Verlag Berlin. 1951 pp. 399-576.
- [4] Norma ASTM C177-85 Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot Plate Apparatus
- [5] Norma IRAM 11.559 Acondicionamiento térmico de edificios. Método de determinación de la conductividad térmica de los materiales de construcción mediante el aparato de placa caliente.
- [6] Martina P., Aeberhard, A., Aeberhard, R, Corace, Juan: Fabricación de un Equipo de Placa Caliente para Determinación de la Conductividad Térmica de Materiales. Uso en Investigación y Docencia. Universidad Nacional del Nordeste, Res.T-011; Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, UNNE 2003.