



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

## FoDAMI

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

Juan J. Corace<sup>1</sup>, M. Raquel Aeberhard<sup>2</sup>, Pablo E. Martina<sup>3</sup> y Agripina Leiva Azuaga<sup>4</sup>,

<sup>1234</sup> G.I.D.E.R.- Grupo de Investigación y Desarrollo en Energías Renovables -  
Departamento de Termodinámica y Máquinas Térmicas – Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional del Nordeste – Av. Las Heras 727 – 3500 – Resistencia - Chaco  
Tel. 0362-4420076 – Email: [jcorace@ing.unne.edu.ar](mailto:jcorace@ing.unne.edu.ar)

### RESUMEN

El grupo GIDER desarrolla proyectos relacionados a la Transferencia Combinada de Calor y Masa en Materiales de construcción. Los mismos se iniciaron a partir del estudio de las propiedades higrotérmicas de materiales porosos e higroscópicos y, dado los satisfactorios resultados obtenidos, se completó con materiales de tipo ferroso y no ferroso.

De allí surgió la oportunidad de ensayar con metales que formarían parte de bobinas estáticas y del material aislante de dichas bobinas que integrarían un complejo de generación de energía a montar por la firma IMPSA en diferentes escenarios y condiciones adversas, siendo la conductividad térmica un factor clave para el diseño y construcción en las futuras instalaciones electromecánicas ya que es una propiedad que indica la cantidad de calor que se pierde o se gana en situaciones determinadas de trabajo.

Si bien la bibliografía aporta datos de conductividad térmica de muchos materiales, existen nuevas aleaciones fabricadas para un uso específico en obras civiles o electromecánicas, de los que no se cuentan con datos fidedignos, o los márgenes de variación indicados son muy amplios.

Esto motivó el desarrollo de un trabajo de investigación utilizando un dispositivo denominado “Aparato de Placa Caliente” o “Hot Plate”, diseñado y construido por el GIDER, con el cual se puede determinar el coeficiente de conductividad térmica para diferentes materiales.

Los resultados alcanzados con el dispositivo han demostrado concordancia con los valores de conductividad térmica obtenidos de bibliografía y de estudios comparativos. La utilización de dicho aparato permite determinar las propiedades térmicas de todo tipo de material bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad y cubre el vacío que existe en nuestro medio para estudiar las características térmicas de materiales cuya arquitectura o configuración es no tradicional, aportando conocimientos científicos a la industria, para mejorar su calidad y con ello el valor agregado del producto.

**Palabras Claves:** *transferencia de calor, conductibilidad, placa caliente*



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

## 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), una está referida al estudio del comportamiento higratérmico de materiales de construcción, donde se han ensayado 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 humedad y del calor 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.

Según el perfil de la empresa IMPSA, la misma, está dedicada a proveer soluciones integrales para la generación de energía eléctrica a partir de recursos renovables, equipos para la industria de procesos y servicios ambientales.

Una de las unidades de negocio, IMPSA Wind, está dedicada a producir soluciones integrales para la conversión de la energía del viento en electricidad, para lo cual cuenta, entre sus productos, con equipamientos como turbinas eólicas, generadores, automatismo y equipos oleo-mecánicos.

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



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECÁNICA  
DE LAS  
INGENIERÍAS

FoDAMI

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  $\lambda$ , 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:

$$q = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dt}{dx} \quad (1)$$

Donde  $q$  es la velocidad de transmisión del calor a través del espesor, en calorías/seg,  $\lambda$  es el coeficiente de conductividad térmica del material, en  $W/(mK)$ ,  $A$  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  $^{\circ}C$  y  $dx$  es el espesor en la dirección del flujo de calor ( $x$ ), en metros.

De (1) se obtiene el coeficiente de conductividad térmica  $\lambda$ , 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



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

extraordinariamente de la fracción de huecos, del tamaño de los poros, del espacio interláminas y del fluido que está contenido en los mismos.

### 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 típicos de la zona o de las probetas proporcionadas por IMPSA. En ello radica la importancia de este trabajo, en determinar valores fidedignos 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 3mm. Esta fuente está ubicada en el centro del equipo. La fuente caliente se alimenta por medio de 4 conductores eléctricos (2 en la zona central y 2 en el anillo de guarda). Estos conductores se conectan a 2 variadores de tensión (rango: 0-220 V) que permiten una alimentación progresiva de la corriente eléctrica alterna, que calienta paulatinamente la placa caliente.

De este circuito eléctrico se miden permanentemente la tensión y la corriente. A ambos lados de la placa caliente se colocan 2 placas de material conductor (preferentemente cobre, pudiendo utilizarse aluminio u otros) con el objeto de formar una superficie homogénea de transmisión del calor.

Superpuestas a las placas conductoras se ubican las probetas del material a experimentar, y a continuación las planchas metálicas correspondientes a la fuente fría. Estas fuentes están compuestas por serpentines que permiten la circulación del agua de la red a efectos de mantener constante la temperatura. Todo lo indicado se observa en el siguiente figura:



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

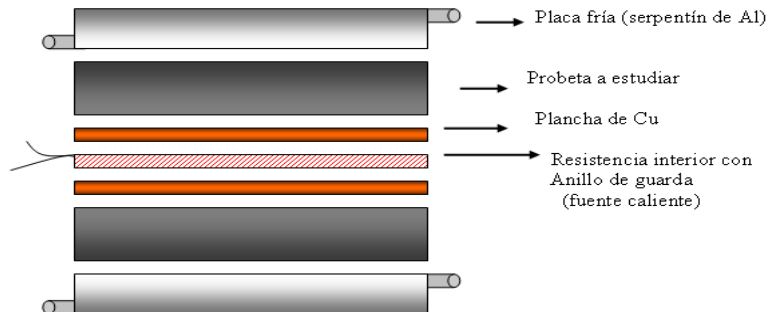


Figura 1: ubicación de las fuentes y del material a ensayar

En ambas caras de las probetas a ensayar (simétricas e idénticas en su composición física), deben colocarse termocuplas, 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 “sándwich” 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], norma editada por el Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.

El aparato construido y ensayado en el Departamento de Termodinámica se basó principalmente en esta norma. Ésta establece muy claramente todos los parámetros, dimensiones, materiales, etc. que deberán utilizarse 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



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

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 corazón del equipo está constituido por una placa caliente, que suministra calor al aparato. Esta placa se construyó sobre un material semiduro (cartón marrón) usado en el bobinado de motores (maylan).

El cartón de 30cm\*30cm\*0,15cm de espesor, fue separado en dos partes, la central de forma cuadrada de 7,5cm\*7,5cm, y la exterior o anillo de guarda, cuyas medidas externas son 30cm\*30cm. Tanto el anillo de guarda como la parte central tienen bobinados en su derredor de alambre de cobre de 0,25mm de diámetro. Estos arrollamientos hacen que el valor de la resistencia del anillo de guarda sea de 6,5 ohm y el valor de la resistencia de la placa central o interna sea de 5,3 ohm (ambos valores medidos a 20 °C). Los 4 extremos de estos devanados salen hacia afuera mediante terminales largos para contactar en las borneras de los variadores de tensión.

Se cubrieron ambos lados de la placa caliente con una cartulina agujereada, para permitir el paso del calor e impedir el contacto eléctrico de los conductores con las placas de cobre que están junto a la placa caliente. En la figura 2 se observa la placa caliente:

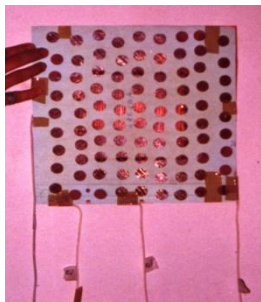


Figura 2: Placa caliente      Figura 3: Distintas muestras proporcionadas por la empresa IMPSA

A ambos lados del núcleo generador de calor se colocaron 4 planchas de cobre (2 de cada lado) cuyas medidas son: 30cm\*30cm\*1,5mm. Su función es formar una superficie homogénea de transferencia de calor hacia las muestras a ensayar que se encuentran hacia fuera. Luego



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

de las planchas de cobre se ubicaron las probetas a ensayar, en este caso 2 probetas compuestas de aluminio y el material en estudio proporcionado por la empresa IMPSA (Figura 3):

Superpuestas a las muestras se colocaron 2 fuentes frías, una a cada lado. Las medidas de estas placas de aluminio son: 30cm\*30cm\*3,9cm de espesor, mientras que los serpentines interiores tienen un diámetro de 11 mm. El objeto de estas fuentes es generar una fuente fría de temperatura constante. Las fuentes frías se construyeron con placas de aluminio, dentro de las cuales se encuentra un serpentín de agua, por el cual circula en forma permanente agua de red.

Finalmente, se cubrieron los 6 lados con planchas de poliestireno de 3,0cm de espesor, para mitigar sólo las pérdidas de calor hacia el exterior por conducción. Fuera de este cubo de poliestireno, salen los 4 cables de conexión hacia los variadores de tensión y los cables que conectan los resistores de platino pt100 para medir la temperatura. 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: Aparato de placa caliente

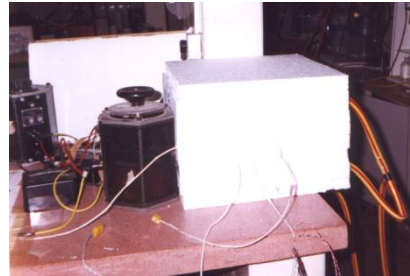


Figura 5: Equipo de placas aislado del exterior

## 3.2 Ensayos realizados con el Aparato de Placas

### 3.2.1 – Determinación de la conductividad térmica de muestras correspondientes a bobina estática y aislante principal de bobina estática 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:

probetas 001 y 002: pared de 3 capas ( $e_1+e_2+e_3$ ) atravesada por un flujo de calor transversal en régimen estacionario o permanente (las temperaturas permanecen constantes cuando se alcanza el equilibrio térmico):



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

# FoDAMI

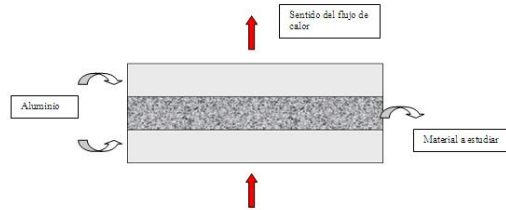


Figura 6: dirección del flujo de calor

Fórmula utilizada:

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

Donde:  $\lambda$  = conductividad térmica del material,  $\lambda_x$  = conductividad térmica del material incógnita y  $\lambda_{Med}$  = conductividad térmica total

Para todos los ensayos se procedió de la misma manera: al inicio, 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 (las temperaturas permanecen constantes), 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 7 y 8:



Figura 7 y 8: muestras de bobinas estáticas preparadas para su ensayo

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:



# IV CAIM 2014

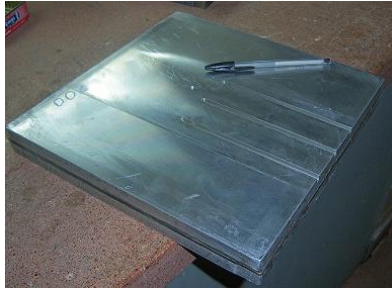
Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI



Figuras 9 y 10: muestras de aislante principal de bobinas estáticas

### 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 11 y 12 se observa el esquema de la dirección del flujo de calor y la zona de medición para las muestras 003 en el equipo de Placa Caliente:

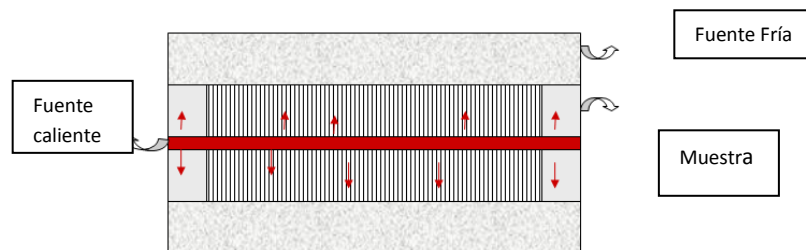


Figura 11: Dirección del flujo de calor.

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

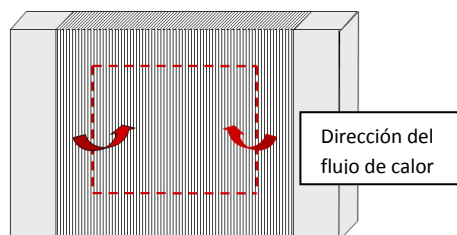


Figura 12: zona de medición

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

Los ensayos se realizaron para 3 muestras correspondientes a bobinas estáticas donde el flujo de calor fue transversal y longitudinal, para el aislante principal de la bobina. Todas las determinaciones se realizaron para diferentes temperaturas, según los requerimientos de la empresa IMPSA.

<b>PROBETA: Bobina Estática de 0.088m<sup>2</sup> y 49.7 mm de espesor</b>		
Temperatura (°C)	60	80
Coefficiente de conductividad térmica (W/m <sup>0</sup> K)	1.4833	1.4483

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

<b>PROBETA: Aislante principal de 0.09 m<sup>2</sup> y 33.5 mm de espesor</b>			
Temperatura (°C)	65	90	110
Coefficiente de conductividad térmica (W/m <sup>0</sup> K)	0.1743	0.17402	0.185

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

<b>PROBETA: Bobina Estática de 0.0891 m<sup>2</sup> y 43 mm de espesor</b>	
Temperatura (°C)	80
Coefficiente de conductividad térmica (W/m <sup>0</sup> K)	15.14

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

## 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.



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

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 chaqueña.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Norma Iram 11.549 Acondicionamiento térmico de edificios. Definiciones
- [2] R. Franz, G. Wiedemann Ueber die Wärme-Leitungsfähigkeit der Metalle – Annalen der Physik. 2006 pag 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 Pablo- Aeberhard, Arturo- Aeberhard, María 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, Resumen: T-011; Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, 2003.