

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UN DISPOSITIVO DE BAJO COSTO PARA MEDIR LA  
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES SECOS EN RÉGIMEN  
ESTACIONARIO.  
INVESTIGACIÓN. EJE TEMÁTICO: TECNOLOGÍA**

**Mariano Creus, Diego Paz, Ana Galella, y Rosa Enrich**  
Cátedra de Matemática N° 2 y Laboratorio de Investigación Proyectual. FAU – UNLP.  
[fau.mat.enrich@gmail.com](mailto:fau.mat.enrich@gmail.com)

**Palabras clave: diseño conceptual, conductividad térmica, materiales no convencionales, viviendas vulnerables.**

### **Resumen**

En 2013 y 2014 se desarrollaron actividades de extensión en el Barrio Villa Alba, partido de La Plata. La mayoría carece de aislamiento térmico lo cual disminuye las condiciones de confort. Son construcciones de chapa, madera o ladrillo sin revoque alguno. Del análisis de las situaciones habitacionales, surge como una posible alternativa para mejorar el confort térmico, el aprovechamiento de materiales de bajo costo y/o de descarte proveniente de las obras de construcción, tales como: poliestireno expandido, cartón corrugado y aserrín, por ejemplo. Considerando necesario determinar la capacidad de aislamiento térmico de estos materiales, se investigó acerca de la posible construcción de un medidor de conductividad térmica. Conocer esta propiedad permitirá cuantificar su eficacia como aislantes térmicos.

Se describe el diseño conceptual de un dispositivo para la determinación experimental, con fines pedagógicos, de la conductividad térmica de materiales secos en condiciones estacionarias. El método utilizado se basa en la Ley de Fourier de conducción de calor unidimensional.

Para la elección del modelo, se analizaron y compararon diseños de diversos dispositivos publicados basados en geometrías esféricas, cilíndricas y planas. Se incluye además una estrategia para la calibración del equipo y para la determinación de mediciones absolutas y relativas de la conductividad térmica.

## Introducción

Las actividades de extensión desarrolladas en el Barrio Villa Alba, partido de La Plata, se basaron en el relevamiento de la tipología de las viviendas de construcción precaria. Se observó que la mayoría de estas carece de aislamiento térmico lo cual agudiza las deficientes condiciones de confort. Del análisis de las diferentes situaciones habitacionales encontradas, surge como una posible alternativa de mejoramiento térmico el aprovechamiento de materiales de bajo costo no convencionales en la construcción y la reutilización de varios de los materiales descartados en las obras de construcción. Para desarrollar esta propuesta de mejora se requiere del conocimiento de las capacidades de aislamiento térmico de estos materiales.

En este trabajo, presentamos un diseño conceptual original de un medidor de conductividad térmica de bajo costo destinado a las actividades de docencia -de grado y/o posgrado- y de extensión universitarias que nuestro equipo desarrolla en la FAU-UNLP. Se basa en la Ley de Fourier de conducción de calor unidimensional. El diseño presentado consiste en un foco caliente rodeado a ambos lados por dos probetas que experimentan un gradiente de temperatura proporcional a la potencia eléctrica consumida por el foco caliente. El flujo de calor establecido a través de las probetas se disipa en dos placas frías situadas en las caras opuestas de las probetas, las cuales se hallan en contacto térmico con el ambiente. El diseño contempla una aislación térmica en dirección perpendicular a la del flujo del calor establecido.

## Acerca de los antecedentes de la propuesta

La actividad de extensión a la que aludimos se planteó por medio de una actividad intercátedra llevada a cabo por un Taller de Introducción a la Materialidad (TIM 1- GGP), una Cátedra de Matemática y Física (CMN2 - ECC) y un Taller de Producción de Obras (TPO 1 - CLI).

Se llevaron a cabo actividades teórico-prácticas, en dos campos: el Barrio y la Facultad. En el Barrio se efectuó el relevamiento de las características constructivas de las viviendas con el objetivo de determinar las tipologías de materialización predominantes. En la Facultad se organizaron talleres participativos para determinar los diferentes tipos de vivienda en los que era prioritario intervenir.

Se seleccionaron diez (10) casos tipológicos del Barrio según características constructivas y variables de materialización predominantes: madera, chapa, chapa y madera, ladrillo, ladrillo y madera, ladrillo y chapa. Cada Cátedra elaboró un documento teórico práctico específico, estableciendo el recorrido a seguir, recorrido que estuvo alternado por momentos individuales de cada cátedra y momentos grupales intercátedra.



Fig. 1: Algunos de los casos de estudio seleccionados  
(Fuente: Registro fotográfico propio)

Entre los contenidos de la asignatura Elementos de Matemática y Física de la FAU-UNLP figura Calor. Durante el desarrollo de este tema en nuestra cátedra, los alumnos efectuaron el cálculo teórico de la transmitancia térmica de la envolvente original de cada uno de los tipos de vivienda encontrados y calcularon la transmitancia de las envolventes propuestas por los alumnos del TIM1 con alternativas para el mejoramiento del hábitat. Para facilitar el análisis en clase, se trabajó con una planilla de cálculo (Fig.2) elaborada de acuerdo al procedimiento establecido por la norma IRAM 11601 para la determinación de la transmitancia térmica de capas en serie. Se compararon los resultados obtenidos y se estudiaron nuevas alternativas técnicas, de bajo costo y fácil disponibilidad, dentro de los límites admisibles de habitabilidad.

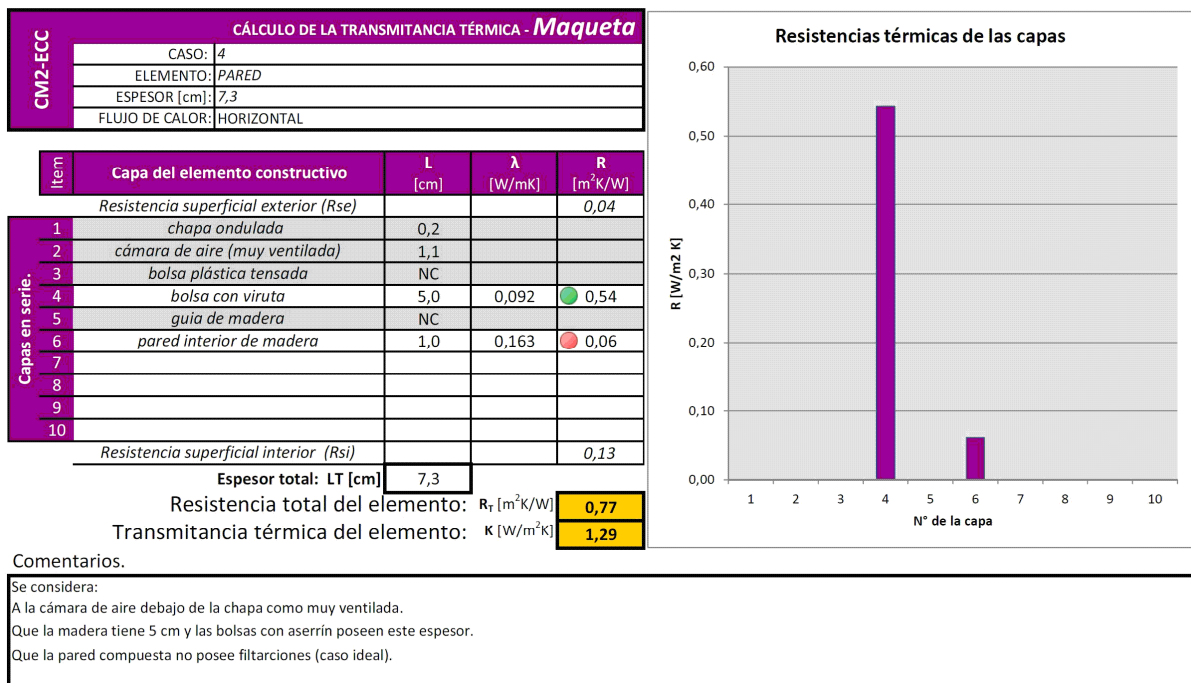


Fig. 2: Planilla de cálculo elaborada para determinar la transmitancia térmica de los modelos.  
 (Fuente: elaboración propia)

Los resultados previstos fueron superados por los generados en el desarrollo de la actividad de investigación llevada a cabo en y entre las cátedras. Para validar estas propuestas teóricas de mejora del hábitat es necesario realizar una determinación experimental de la conductividad térmica de los materiales involucrados en las alternativas elaboradas. Llegados a esta instancia se convirtió en una necesidad la construcción de un equipo que permita calcular la transmitancia térmica de materiales no convencionales en construcción, especialmente aquellos para los que las Normas IRAM no proveen ningún dato. A causa de esta necesidad, tomamos la decisión de afrontar el diseño y construcción de un dispositivo para la medición de conductividad térmica de materiales no convencionales en la construcción.

Co el objeto de establecer una tipología para el dispositivo que permita satisfacer las necesidades específicas de aplicación en nuestro proyecto, elaboramos el siguiente diseño conceptual donde se detalla la especificación del instrumento, de describe el diseño funcional, se realiza una comparación de las geometrías de equipos ya construidos en universidades y centros de investigación y finalmente se establece el diseño conceptual que hemos adoptado.

## Desarrollo

### 1. Determinación de los Requerimientos

A continuación se establecen las características del equipo a diseñar.

REQUERIMIENTOS	DESCRIPCIÓN
Funcionales y Operativos	Permitir la determinación experimental en condiciones estacionarias de la conductividad térmica de materiales secos. Poder ajustarse a los diferentes espesores de las muestras. Disponer de un método para determinar su exactitud y su precisión.
Ambientales	El equipo deberá funcionar con valores de temperatura ambiente entre 15°C y 25°C, en condiciones presión atmosférica normal y con humedad relativa ambiente menor al 60%, libre de vibraciones y sin ventilación forzada directa
De la interfaz con el usuario	El equipo deberá contar con salida digital de datos y/o conectividad con software de procesamiento de datos (p/Windows 7 o más nuevas).
De accesorios	Todos necesarios para la alimentación del sistema y para su conexión con una computadora (NoteBook y/o PC de escritorio).
Del ciclo de Trabajo	4 a 8 hs de funcionamiento continuo, 2 veces por semana (estimado).
De mantenimiento	El equipo deberá ser fácilmente reparable contando con repuestos de la fuente de calor, planos técnicos, esquemas y copia de los programas de adquisición y procesamiento de datos.
De tamaño, peso, forma y fijación	Debe ser un equipo de laboratorio destinado a funcionar sobre un banco o mesa. Debe ser fácilmente transportable.
De licencias	Se requiere uso de software libre.
De normas y regulaciones	Tener en cuenta las especificaciones de la norma ASTM-04 (especificación deseable).
De ensayos	Se deberá incluir un plan de ensayos de calificación donde se presenten las características a ser evaluadas.
De los usuarios	Alumnos y docentes universitarios.
De costo	La construcción del equipo deberá costearse con parte del presupuesto asignado al proyecto de investigación. (Monto máximo: \$ 9.000)
De tiempo	El equipo deberá estar en funcionamiento antes del inicio lectivo del 2016.
De documentación	Se deberá proveer de informes de ensayos de calificación y manuales de instalación, operación y mantenimiento.

Tabla 1: Requerimientos de diseño  
(Elaboración propia)

## 2. Diseño funcional

Dado que se trabajará en la determinación de la conductividad térmica para materiales no convencionales, se decide la utilización de dos muestras, siendo una de referencia y la otra, la muestra a medir. La operación de la máquina comienza con la colocación de dichas muestras. Ambas deberán tener las mismas dimensiones y estar sometidas a la misma diferencia de temperatura. El método de determinación del valor de la conductividad térmica se basa en la conducción de calor unidimensional en régimen estacionario (Ley de Fourier).

A continuación se presenta un diagrama del proceso de medición, donde en celeste se indican los procesos operativos y en blanco los procesos de apoyo al equipo:

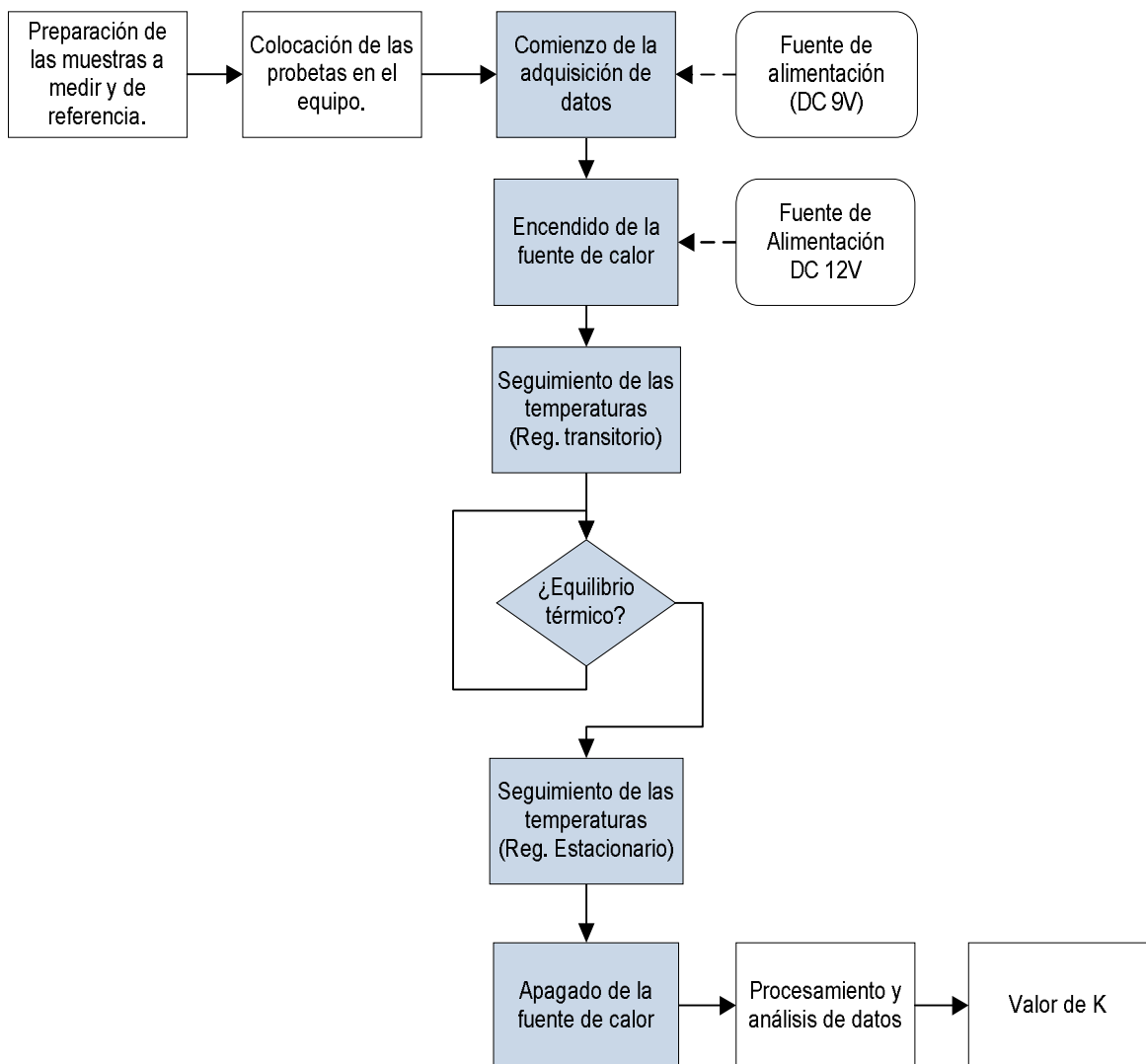


Fig. 3. Diseño funcional del equipo.  
(Elaboración propia)

### **3. Comparación de las posibles alternativas de diseño geométrico**

En el rastreo bibliográfico realizado con el objetivo de definir la geometría más conveniente para el diseño del medidor se observó el uso de los siguientes tres tipos de geometrías:

#### **GEOMETRÍA ESFÉRICA**

Estos equipos constan de dos esferas metálicas concéntricas de espesor muy pequeño a fin de minimizar la capacidad calorífica del sistema. La esfera exterior está formada por casquetes semiesféricos que facilitan el montaje y desmontaje de la probeta a medir. Dentro de la esfera más pequeña se coloca el calefactor y la muestra se aloja en el espacio intermedio de ambas esferas. Solamente admite probetas constituidas por materiales en polvo o en virutas. Dificultades: 1) No admite muestras planas. 2) Los efectos de convección son importantes sobre la superficie externa.

Referencias: Carslaw, H. S. and Jaeger J.C. (1950). Péclet (1860). Beck J.C., et al. (1992).

#### **GEOMETRÍA CILÍNDRICA**

Estos dispositivos están formados por dos cilindros metálicos concéntricos. El material a medir se ubica en el espacio entre ellos. Dentro del cilindro de menor diámetro se coloca la resistencia calefactora que se cubre con un tubo de cuarzo para permite uniformar la temperatura superficial y aislar eléctricamente al calefactor.

Referencias: Saravia, Luis R. (2009). Gutiérrez, J. González, A. D. (2013).

#### **GEOMETRÍA PLANA**

Los equipos con esta geometría son los especificados en la norma ASTM C.177. Consisten en una plancha de metal plana (foco caliente) rodeado a ambos lados por dos probetas del mismo material y espesor que experimentan igual gradiente de temperatura. El flujo de calor establecido a través de las probetas se disipa en otras dos planchas planas metálicas (foco frío) situadas en las caras opuestas de las probetas. Los diseños contemplan dos elementos para reducir las pérdidas de térmicas en dirección perpendicular a la del flujo del calor establecido: Una corona calefactora (“guarda térmica”) y una capa externa de gran aislación térmica.

Referencias: Diez Campos, J. y otros (2007). Ferriz Rodríguez, C. A.(2007).

Los equipos con estas geometrías son los considerados en la Norma.

Antes de tomar una decisión relativa al diseño a seleccionar, se efectuó un análisis comparativo de las mismas, basado en los requisitos previamente establecidos. De ellos depende cuál de las geometrías se adapta más a los diferentes posibles tipos de materiales cuya conductividad determinaremos.


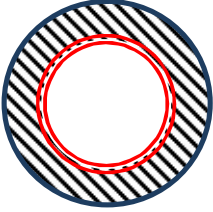





Geometrías	Esférica	Cilíndrica	Plana
Referencias:			
 Sup a mayor temp.			
 Sup a menor temp.			
 Muestra			
 Aislación			
Tipos de probetas admitidas	Polvos Virutas	Polvos Virutas Láminas flexibles	Polvos Virutas Láminas flexibles Placas rígidas.
Flujo de calor (1dim)	Radial	Radial	Axial (horizontal)
Superficie fría	En contacto térmico con el ambiente	En contacto térmico con el ambiente	En contacto térmico con el ambiente
Superficie caliente	A temperatura controlada.	A temperatura controlada.	A temperatura controlada.
Pérdidas de calor	Puntuales	En los extremos del cilindro.	Por los bordes.
Necesidad de aislación	Baja	Mediana	Alta
Uniformidad de la temperatura de las superficies	Mayor para menores superficies en contacto con el ambiente.		
	Baja	Baja. Favorecida con cilindros largos de poco diámetro.	Media. Favorecida con placas de áreas reducidas.
Facilidad de construcción	Compleja	Simple	Simple

Tabla3: Comparación de las alternativas de diseños consideradas.

#### 4. Diseño conceptual adoptado

Se adopta un diseño de placa plana caliente debido a que esta geometría admite probetas de formas más variadas que las demás alternativas. El diseño contempla un foco caliente rodeado a ambos lados por dos probetas que experimentan un gradiente de temperatura proporcional a la potencia eléctrica consumida por el foco caliente. El flujo de calor establecido a través de las probetas se disipa en dos placas frías situadas en las caras opuestas de las probetas, las cuales se hallan en contacto térmico con el ambiente. Por razones de simplicidad, el diseño no contempla ninguna guarda térmica.

La modularidad del diseño (Figura 3) y su simetría permite colocar a un lado de fuente de calor la muestra a medir y del otro lado una muestra de un material de conductividad térmica conocida y de valor comparable. Las tapas pueden fijarse a distintas distancias de la superficie caliente permitiendo con ello alojar muestras de diferentes espesores. Para que ambas muestras experimenten similares efectos de conducción del calor el equipo se coloca de modo que el flujo de calor sea horizontal.

La calibración del equipo se realizará colocando dos muestras idénticas con valores de conductividades térmicas establecidas (valor de referencia). De la comparación entre la medida

realizada de la conductividad térmica (valor medido) y el correspondiente valor de referencia se calculan los desvíos que permitirán establecer la calibración del equipo.

Con el objeto de construir una curva de calibración para materiales de diferentes propiedades térmicas, este procedimiento deberá repetirse utilizando materiales con conductividades térmicas diferentes. En todos los procesos de mediciones deberán registrarse los siguientes datos: tipo de material, espesor de la muestra, temperaturas de las placas caliente y fría, condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa), presión a la que se somete la muestra (sólo para materiales no rígidos), dirección del flujo de calor, tensión y corriente consumida por la fuente de calor, registro de la evolución temporal de las temperaturas locales de las muestras durante la medición.

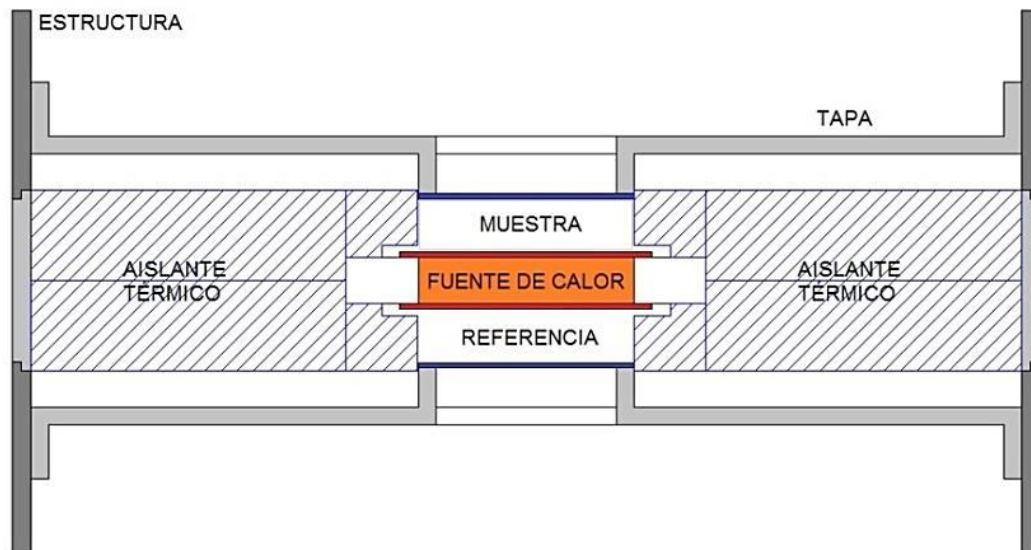


Fig. 3: Diseño conceptual. El esquema mostrado es un corte transversal del equipo.

## Conclusiones

El Diseño Conceptual propuesto cumple con el objetivo de sentar las bases para la construcción de un equipo de medición de la aislación térmica de muestras de materiales secos no convencionales.

Las características del diseño permitirán medir transmitancias térmicas (relativas) de materiales secos. La estructura modular del equipo brinda la posibilidad de medir muestras de distintos espesores dentro de un rango de valores permitidos. Para garantizar la confiabilidad de la medición se determina, simultáneamente la conductividad térmica desconocida de una muestra de material no convencional y la de un material de conductividad conocida.



## Bibliografía

Beck J.C., Cole K.D. Haji-Sheikh A., Litkouhi B (1992). Heat Conduction using Green's Function. Chapter NINE. Radial Heat Flow in Spherical Coordinates (pp. 253-291). Hemisphere Publishing Corporation. London - Washington D.C - Philadelphia. ISBN 1-56032-096-6

Diez Campos, J. y otros (2007) Determinación experimental de la conductividad térmica de materiales de la construcción. XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Lugo, 26-28 septiembre, 2007. Disponible en:

[http://aeipro.com/files/congresos/2007lugo/ciip07\\_0348\\_0354.390.pdf](http://aeipro.com/files/congresos/2007lugo/ciip07_0348_0354.390.pdf)

Carslaw, H.S. and Jaeger J.C. (1950). Conduction of Heat in Solids. IX The Flow of Heat in a Sphere and a Cone (pp. 199 - 215). Oxford University Press; Amen House. London E.C. 4.

Férriz Rodríguez, C. A. (2007) Diseño, fabricación y calibración de un dispositivo para la caracterización de las propiedades termofísicas en materiales secos de alta resistencia térmica y baja temperatura de uso. Barcelona. Universitat Autònoma de Barcelona. Proyecto Final de Carrera de Ingeniería de Materiales. 15 de Junio de 2007 Bellaterra, Barcelona; España.

Gutiérrez, J. González, A. D. (2013) Determinación experimental de conductividad térmica de materiales aislantes naturales y de reciclado. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 16, 2012. (pp. 08.41-08.47) Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.

Péclet (1860). Mencionado en: Medición de Conductividad Térmica. Material didáctico, Transferencia de Calor y Masa, Ingeniería Mecánica, FI-UBA. Disponible en: <http://materias.fi.uba.ar/6731/Problemas/Conductividad.pdf>

Saravia, Luis R. (2009) Equipo para la medida de la conductividad térmica medida en neumáticos desmenuzados. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 13, 2009.