



# **BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA COMO HERRAMIENTA PEDAGÓGICA PARA LA ENSEÑANZA DE TRANSFERENCIA DE CALOR**

**Edwin Espinel Blanco, Juan Carlos Hernández Criado**

**Universidad Francisco de Paula Santander  
Ocaña, Colombia**

## **Resumen**

Se construyó un banco de pruebas como herramienta pedagógica para la enseñanza del concepto de conductividad térmica como propiedad que incide en la transferencia de calor que se presenta por conducción en un material granulado, el equipo fue instalado en el laboratorio de transferencia de calor del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

La construcción del equipo se realizó para compactar por vibración el material granulado de forma que el porcentaje de aire presente en la muestra de la probeta tienda a cero y eliminar en su mayoría la transferencia de calor por convección, para poder determinar de manera más acertada el coeficiente de conductividad térmica presente en el material analizado, el equipo funciona aplicando el modelo de cilindro infinito que permite medir la transferencia de calor en la dirección radial y de esta forma determinar el coeficiente de conductividad térmica del material.

Se diseñó una guía que orienta la realización de la experiencia práctica de los estudiantes que consiste en utilizar diversos materiales a cada uno de los cuales se les determina el tamaño de grano para proceder a compactarlo en una probeta de geometría cilíndrica a través de vibración en un mecanismo que está integrado al banco de pruebas, en el eje del cilindro de la probeta se instala la resistencia eléctrica por la cual se hace circular la corriente que por efecto joule radia energía calorífica a la muestra de material, que tiene instaladas termopares conectados a lectores digitales que registran las temperaturas que son utilizadas para determinar la conductividad del material.

Al realizar la experiencia el estudiante comprende como la conductividad térmica del material es la propiedad fundamental para la transferencia de calor por conducción en un material granulado, en el cual la presencia de aire entre sus moléculas se ha disminuido al máximo.

**Palabras clave:** transferencia de calor; conductividad térmica; banco de pruebas

### **Abstract**

*A test as a pedagogical tool for teaching the concept of thermal conductivity as property that affects the heat transfer occurs by conduction in a granular material, the equipment was installed in the laboratory of heat transfer program built Mechanical Engineering Francisco de Paula Santander Ocaña University.*

*The construction of the equipment is performed by vibration compacting the granular material so that the percentage of air present in the sample of the specimen tends to zero and eliminate convective heat transfer mostly to determine more accurate the thermal conductivity present in the analyzed material, equipment operates according to the infinite cylinder model to measure the heat transfer in the radial direction and thus determine the thermal conductivity of the material.*

*A guide that guides the realization of practical experience of students is to use different materials each of which were determined grain size to proceed to compacting in a test tube of cylindrical geometry through vibration in a designed mechanism that is integrated to the test bench in the cylinder axis of the cylinder electric resistance which is circulating current by Joule effect energy radiates heat to the material sample, which has installed thermocouples connected readers installed digital to record temperatures that are used to determine the conductivity.*

*When performing the student understands the experience as thermal conductivity of the material is the fundamental property for heat transfer by conduction in a granulated material, in which the presence of air between molecules has been decreased to the fullest.*

**Keywords:** heat transfer; thermal conductivity; test bench

## **1. Introducción**

La Transferencia de Calor es un área del conocimiento de gran interés en la formación de ingenieros mecánicos por su influencia en el comportamiento de los materiales, que son requeridos para el diseño y construcción de mecanismos (Martin, y otros, 2008). Una de las propiedades de interés en el estudio de los materiales es su capacidad para conducir el calor (Martina, y otros, 2003), la cual varía en razón a su densidad y al rango de temperaturas entre las cuales se realiza la transferencia de calor (Rodríguez, y otros, 2002).

La conducción de calor es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción es el mecanismo de transferencia de calor en escala atómica a través de la materia por actividad molecular, por el choque de unas moléculas con otras, donde las partículas más energéticas le entregan energía a las menos energéticas, produciéndose un flujo de calor desde las temperaturas más altas a las más bajas (Cengel, 2009).

La conductividad térmica es una propiedad intrínseca de los materiales que valora la capacidad de conducir el calor a través de ellos. El valor de la conductividad varía en función de la temperatura a la que se encuentra la sustancia.

La base para la creación de un dispositivo que permita calcular la conductividad térmica en materiales granulados fue sentada por Joseph Fourier quien estableció una ecuación matemática por la cual se rige la conducción de calor. Esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo. (Mills, 1995).

La ley de Fourier está definida por la siguiente ecuación:

$$q_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

Dónde:

$q_x$ =Flujo de calor en la dirección x.

$A$ = Área de la sección transversal del cuerpo que conduce el calor.

$k$ = Constante de proporcionalidad llamada conductividad térmica.

$\frac{\partial T}{\partial x}$ = Gradiente de temperatura en la dirección x.

El modelo geométrico de cilindro infinito es uno de los más utilizados en el estudio práctico de conductividad térmica en materiales que pueden ser compactados (Gutiérrez, y otros, 2012).

## 2. Materiales y Métodos

Se construyó un dispositivo para medir la conductividad térmica en materiales granulados bajo el modelo del cilindro infinito.

$$k = \frac{VI * \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}{2\pi L(T_i - T_e)}$$

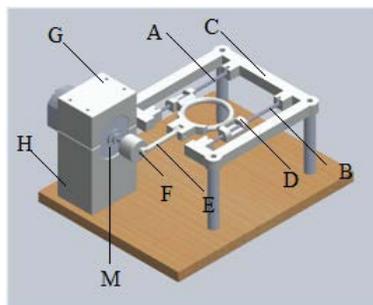
Los materiales granulados son aquellas sustancias constituidas por una fase sólida no consolidada y una fase fluida. Cuando la fase fluida es aire estos materiales son conocidos como materiales granulados secos.

La amplia utilización de los materiales granulados secos como arena, arcilla, cal, cemento y yeso en el área de la construcción genera la necesidad del estudio de sus propiedades a fin de elaborar modelos que permitan la descripción de su comportamiento buscando diseñar procesos eficientes en la manipulación de estos materiales.

La probeta es un cilindro que con una resistencia de 200 wattios en el centro y utiliza cuatro termocuplas tipo K, para registrar las temperaturas.



El material se compacta en la probeta mediante vibración, para lo cual se diseñó del sistema de compactación en SolidWork, el prototipo del sistema de compactación consta de los ejes A, B y la guía C donde descansan los ejes, la corredera D acopla la biela y se desplaza en los ejes es utilizada para introducir la probeta tubular, la biela E conecta la manivela con la corredera, la manivela F como se observa está diseñada para trabajar con diferentes radios de giro y las bases G y H permiten un correcto acople del motor M.



El banco permite variar la potencia de la resistencia para medir diferentes rangos de temperatura en los cuales se produce la transferencia de calor.

De las termocuplas instaladas en el interior del cilindro se toma el promedio de las dos lecturas de temperatura ( $T_i$ ) y el mismo procedimiento se realiza con las dos instaladas en la parte exterior ( $T_e$ ), de igual forma se toman los valores del voltaje y amperaje registrados y con los radios  $r_2$  y  $r_1$  que son el externo e interno de la probeta respectivamente, este último el externo de la resistencia y con su longitud, se determina la conductividad térmica.



La temperatura promedio exterior  $T_e$  se obtiene tomando lecturas 45, 50, 55 y 60 minutos donde se observa un aumento periódico cada 5 minutos despreciable en las temperaturas interiores  $T_1$  y  $T_2$ .

Para la operación del banco y realización de los ensayos se desarrolló un guía que permite que el estudiante realice la experiencia práctica con el objetivo de determinar la conductividad térmica en materiales granulados como arcilla, cemento, cal y yeso, trazando las curvas  $K - T_m$  (conductividad térmica versus temperatura media) para cada una de las muestras ensayadas, permitiendo el estudio de la variación de la conductividad térmica en dichos materiales con respecto a la temperatura media, además de la comparación de los resultados obtenidos en los ensayos con datos similares tabulados para cada material granulado estudiado.

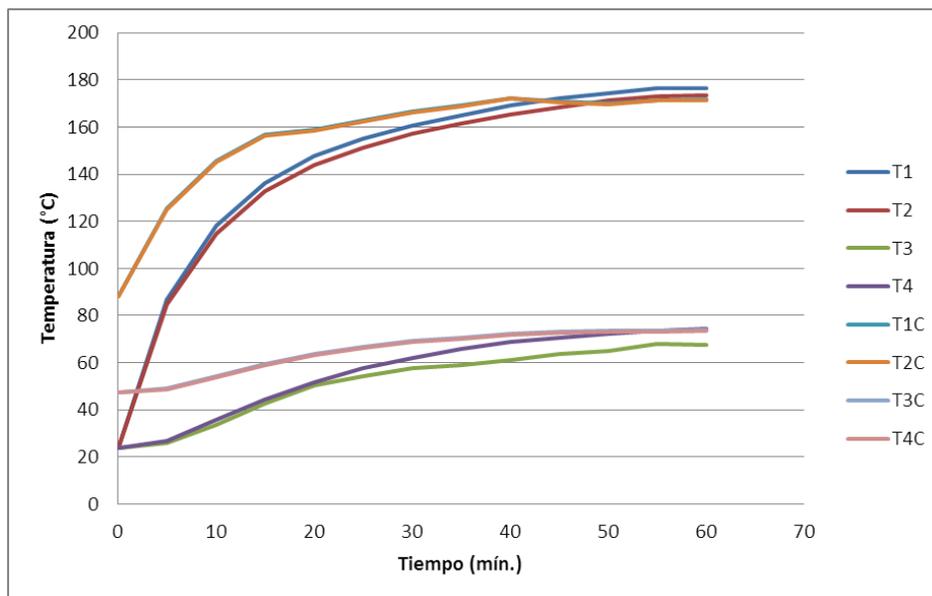
### 3. Resultados

Al realizar las pruebas en el banco los estudiantes de la asignatura transferencia de calor del programa de ingeniería mecánica de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña cumplen con el objetivo de la práctica, observan y comprenden la variación de la conductividad térmica de los tres materiales experimentados utilizados (yeso, caolín, cemento).

Se realizan registros de temperatura con la resistencia en frío y posteriormente en caliente y se observa, que después de un periodo de tiempo se estabiliza la energía transmitida por la resistencia al igual que las temperaturas registradas, generando un coeficiente de conductividad térmica constante. En la tabla se aprecia la variación de los registros de temperatura en cada una de las cuatro termocuplas que tiene el banco de pruebas en función del tiempo, registros correspondientes a 20 voltios.

TOMA DE DATOS - ENSAYOS DEL TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN DE LAS TEMPERATURAS								
Material de prueba: CAOLIN						Voltaje: 20		
TIEMPO (MÍN)	TEMPERATURAS (°C)							
	PRUEBA EN FRIO				PRUEBA EN CALIENTE			
	T1	T2	T3	T4	T1C	T2C	T3C	T4C
0	23,8	23,9	23,7	24	88,3	88,2	47,6	47,3
5	86,7	84,7	26,1	27	125,5	124,9	49	48,7
10	118,1	114,9	33,7	35,7	145,4	145	54,2	53,9
15	136,3	132,6	42,7	44,2	156,9	156,5	59,3	58,8
20	147,8	144	50,2	51,7	158,8	158,6	63,7	63,3
25	155,1	151,3	54,4	57,7	162,9	162,5	66,7	66,4
30	160,7	157,1	57,5	62,1	166,4	166,1	69,1	68,8
35	164,9	161,3	58,9	65,7	169,1	168,9	70,5	70,3
40	169	165,4	61,2	68,9	172,1	172	72,1	71,9
45	172	168,5	63,7	70,7	170,7	170,6	73	72,8
50	174,4	171,2	65,1	72,3	170	169,7	73,5	73,3
55	176,3	173,1	67,9	73,6	171,4	171,2	73,6	73,3
60	176,6	173,3	67,5	74,4	171,7	171,4	73,8	73,5

En la figura se ve la variación de la conductividad térmica en la muestra de caolín, tanto en frío como en caliente trabajando la resistencia a 20 voltios.



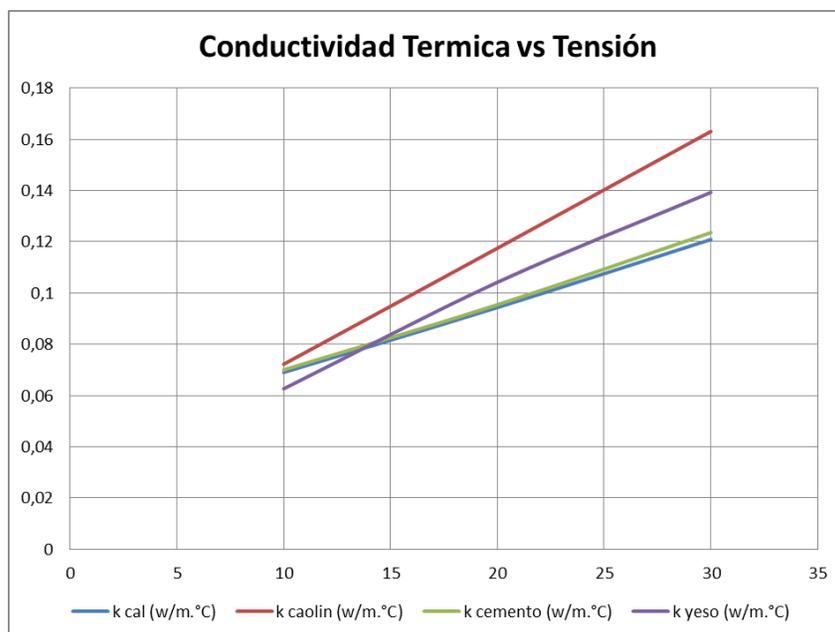
Para el periodo de tiempo que la resistencia se estabiliza entre los 45 y 60 minutos se registran las temperaturas cada 5 minutos para calcular los promedios y con estos determinar la conductividad del material a la correspondiente energía emitida por la resistencia con base en el voltaje y amperaje.

TOMA DE DATOS – ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TERMICA EN MATERIALES GRANULADOS															
MATERIAL DE PRUEBA: CAOLIN (FRIO)															
DATOS INICIALES								DATOS CALCULADOS							
PRUEBA (NRO)	TENSIÓN (V)	CORRIENTE (A)	TIEMPO (MIN)	TEMPERATURAS (°C)				T <sub>prom1</sub>	T <sub>prom2</sub>	T <sub>prom3</sub>	T <sub>prom4</sub>	T <sub>i</sub>	T <sub>e</sub>	T <sub>m</sub>	k (W/(m * °C))
				T1	T2	T3	T4								
1	10	0,1754386	45	86,1	85,8	46,8	46,6	86,925	86,75	47,275	47,1	86,8375	47,1875	67,0125	0,07219131
			50	86	85,9	47,2	47,1								
			55	87,3	87,1	47,5	47,4								
			60	88,3	88,2	47,6	47,3								
2	20	0,3508772	45	172	168,5	63,7	70,7	174,825	171,525	66,05	72,75	173,175	69,4	121,2875	0,11033044
			50	174,4	171,2	65,1	72,3								
			55	176,3	173,1	67,9	73,6								
			60	176,6	173,3	67,5	74,4								
3	30	0,5263158	45	259,7	267,2	99	98,6	262,6	270,275	102,15	101,575	266,438	101,863	184,15	0,15653331
			50	263,1	270,8	101	100,4								
			55	263,4	271,2	103,3	102,7								
			60	264,2	271,9	105,3	104,6								

Finalmente se tabulan y grafican los valores de la conductividad para cada material cuando el sistema se ha estabilizado en el rango de temperaturas de acuerdo a la variación de voltaje de la resistencia.

Tensión (V)	k cal (w/m.°C)	k caolin (w/m.°C)	k cemento (w/m.°C)	k yeso (w/m.°C)
10	0,06899	0,07219	0,07	0,0626
20	0,09431	0,11744	0,09539	0,10414
30	0,12088	0,16304	0,12356	0,13924

Se ajustan las curvas y se observa la variación en la conductividad térmica de cada material cuando se incrementa el voltaje suministrado por la fuente.



#### 4. Conclusiones

La implementación del banco de pruebas y la guía práctica donde se explica paso a paso para realizar los ensayos y determinar la conductividad térmica en materiales granulados es una herramienta pedagógica que facilita el logro del objetivo de que el estudiante de la materia transferencia de calor en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, comprenda la importancia y aplicación del tema, desarrollando sus competencias en el saber y el saber hacer en un contexto real.

#### Referencias

- Cengel, Yunus. 2009. *Transferencia de Calor y Masa*. México: McGraw-hill, 2009. 9786071505408.
- Gutiérrez, Joel y González, Alejandro. 2012. *Determinación Experimental de la Conductividad Térmica de Materiales Aislantes y de Reciclado*. Buenos Aires: s.n., 2012. 0329-5184.
- Martín, Alejandro y Brandaleze, Elena. 2008. *Desarrollo de un Equipo para la Medición de la Conductividad Térmica en Polvos Coladores Fundidos*. Curitiba: s.n., 2008.
- Martín, Pablo, y otros. 2003. *Fabricación de un Equipo de Placa Caliente para Determinación de la Conductividad Térmica en Materiales. Uso en Investigación y Docencia*. Aeberhar: Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, 2003.
- Mills, A. 1995. *Transferencia de Calor*. s.l.: McGraw-Hill, 1995. 13:9788480861946.
- Rodríguez, Gabriel y Florez, Oscar. 2002. *Influencia del Tamaño de Grano en la Conductividad Térmica a Altas Temperaturas en Polvos Aislantes Mgo*. México: Sociedad Mexicana de Ciencia de Superficies y de Vacío, 2002.

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2015 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)