

## DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA EN POLVOS DE ARCILLA USANDO TÉCNICA FOTOACÚSTICA

G. Peña-Rodríguez<sup>1\*</sup>, J. Dulcé Moreno<sup>1</sup>, M. Corzo Paredes<sup>2</sup>, N. Peñaranda Tozcano<sup>2</sup> y A. Calderón<sup>3</sup>.

*1 Departamento de Física, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.*

*2 Ingeniería de producción industrial, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.*

*3 Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, México D. F.*

(Recibido 09 de Sep.2005; Aceptado 20 de Jun. 2006; Publicado 20 de Nov. 2006)

### RESUMEN

Se reporta por primera vez experimentalmente la difusividad térmica a temperatura ambiente en muestras de polvos de arcillas rojas de la región de los Vados, Norte de Santander. Las medidas fueron realizadas empleando la técnica fotoacústica en configuración de transmisión de calor [1]. Dichas arcillas, que son utilizadas como materia prima en la industria cerámica y de la construcción, están compuestas principalmente el O, Si, Al, Fe y K [2]. Se encontró que no existe variación significativa en los resultados obtenidos, para este parámetro termofísico, en muestras con tamaño de grano en rango de 58 a 75  $\mu\text{m}$ , sometidas a tiempos de cocción de 30, 60, 90, 120 y 150 minutos a temperatura constante de 900 °C. La distribución de tamaño de grano se realizó usando la norma ASTM D2772-90. Los valores presentados en este trabajo son del mismo orden de magnitud de los reportados para materiales de construcción como el ladrillo común y la teja, así como para compuestos tales como  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ , los cuales son sus principales constituyentes.

**Palabras claves:** Propiedades térmicas, difusividad térmica, instrumentación y técnicas térmicas (espectroscopía Fotoacústica).

### ABSTRACT

The thermal diffusivity at room temperature is reported for the first time of red clay powders samples of the north oriental region of Colombia (Vados – Cúcuta- Norte de Santander). Measurements were performed using the photoacoustic technique in a heat transmission configuration [1]. These clays are widely used in the fabrication of different kinds of building materials and ceramics factories; its composition is mainly O, Si, Al, Fe and K [2]. One was that it does not exist significant variation in the results found for this thermophysical parameter, in samples with grain sizes in rank from 58 to 75  $\mu\text{m}$ , for annealing time of 30, 60, 90, 120 and 150 minutes to constant temperature of 900 °C. The grain sizes distribution of the samples were obtained following the ASTM (American Standard test Method) D2772-90. The results presented in this work is of the same order of magnitude of the reported for building materials with bricks and roof tiles, as well as for composed like  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}_3$  and  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ , which are their main components.

**Key words:** PACS: 91.60. Ki; 66.30. Xj; 07.20. -n; 81.70. Cv

### 1. Introducción

El conocimiento de las propiedades físicas y químicas de los materiales en forma granular posee una importancia especial a nivel industrial debido a su amplio campo de aplicación en la ingeniería y tecnología moderna. En particular, para el caso de las propiedades térmicas en función de su tamaño de grano y composición química son muy poco reportadas [3]. La difusividad térmica ( $\alpha$ ) es un parámetro termofísico muy importante único para cada material, el cual cuantifica la razón de flujo de calor a través de un medio [4], y puede tener variaciones dependiendo de la composición y estructura del material [5]. Dentro de las técnicas experimentales, la técnica fotoacústica (FA) ha probado ser una potente herramienta para la determinación experimental de  $\alpha$  en sólidos [6-7]. La región de los vados, perteneciente al área metropolitana de san José de Cúcuta, capital del Departamento Norte de Santander, Colombia, se caracteriza por poseer yacimientos ricos en arcillas rojas, las cuales son utilizadas por las industrias cerámicas de la región en la fabricación de tabletas para pisos, tejas, ladrillos y en productos esmaltados para piso y pared.

Por lo anterior, en este trabajo se reportan por primera vez valores de  $\alpha$  para muestras de arcillas rojas de la región de los vados, Norte de Santander, Colombia, con rango de tamaño de grano comprendido entre 58 y 75  $\mu\text{m}$ , sometidas a tiempos de cocción de 30, 60, 90, 120 y 150 minutos a temperatura constante de 900 °C.

**2. Resultados experimentales y discusión.**

**2.1. Preparación de las muestras**

Para este estudio, se utilizaron polvos de arcilla roja suministrados por el Tejar Los Vados, de los que se obtuvieron cuatro muestras con tamaños de grano en el rango de 58 a 75 $\mu\text{m}$ , descritos en la tabla 1. Para lo anterior se usó la norma ASTM D2772-90. Con las muestras anteriores se prepararon pastillas u obleas de cientos de  $\mu\text{m}$  de espesor y diámetro de 1.5 cm. (ver tabla 2), para lo cual se utilizó una prensa hidráulica con presión constante de 3 toneladas. Una vez obtenidas las pastillas, se sometieron al proceso de cocción a una temperatura constante de 900 °C durante tiempos de 30, 60, 90, 120 y 150 minutos. La temperatura anterior se escogió debido a que para los productos que se fabrican con estas arcillas, la temperatura del horno oscila entre los 850° y 1000°C [8]. Este proceso se realizó en un horno eléctrico marca Thermolyte modelo 1400.

**Tabla No. 1.** Distribución tamaño de grano muestras.

Muestra	Tamaño de grano ( $\mu\text{m}$ )	Descripción
M1	>75	Retenido tamiz malla 200
M2	75 –63	Retenido tamiz malla 230
M3	63 –58	Retenido tamiz malla 250
M4	<58	Pasante tamiz malla 250

En la tabla 2, se presentan los espesores, la frecuencia de corte y  $\alpha$  de las muestras. En esta tabla, la muestra M1 corresponde a la muestra sin cocción, M130, M160, M190, M1120 y M1150 es la muestra M1 sometida a 30, 60, 90, 120 y 150 minutos de cocción respectivamente a temperatura constante de 900 °C. De igual forma se debe interpretar las demás muestras (M2, M3 y M4).

**2.2. Determinación de la difusividad térmica.**

Una vez obtenidas las medidas experimentales de la amplitud ( $A$ ) en función de la frecuencia de modulación ( $f$ ) registrados en cada ensayo con la técnica FA, se realizó el ajuste experimental a éstos datos obteniéndose la frecuencia de corte ( $f_c$ ) usando la ecuación (1)[6], con el objetivo de hallar  $\alpha$  utilizando la expresión  $\alpha = \pi l^2 f_c$  [6] y los espesores ( $l$ ) (ver tabla 2). En la ecuación (1)  $\tau$  representa el tiempo de respuesta del micrófono usado como detector de la señal FA, el cual es de 3 milisegundos para este tipo de micrófono.

$$A = \frac{cte}{\sqrt{1 + (2\pi f \tau)^2}} e^{-\sqrt{\frac{f}{f_c}}} \tag{1}$$

**Tabla No. 2.** Espesores, frecuencias de corte y difusividad térmica ( $\alpha$ ) de las muestras.

Muestras	Espesor ( $l$ ) ( $\mu\text{m}$ ).	$f_c$ (Hz)	$\alpha$ ( $\times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ )
M1	290 ± 3	1.1716 ± 0.0126	3.10 ± 0.10
M130	261 ± 4	1.0633 ± 0.0026	2.28 ± 0.08
M160	375 ± 5	0.5269 ± 0.0140	2.33 ± 0.12
M190	330 ± 6	1.1041 ± 0.0068	3.87 ± 0.16
M1120	298 ± 3	0.7586 ± 0.0053	2.12 ± 0.06
M1150	350 ± 3	0.7085 ± 0.0081	2.73 ± 0.08
M2	309 ± 5	1.0196 ± 0.0041	3.06 ± 0.11
M230	300 ± 5	0.8679 ± 0.0526	2.45 ± 0.13
M260	314 ± 5	0.7341 ± 0.0028	2.27 ± 0.08
M290	208 ± 5	1.2775 ± 0.0032	1.74 ± 0.09
M2120	236 ± 5	1.2534 ± 0.0120	2.19 ± 0.11
M2150	350 ± 5	0.8228 ± 0.0168	3.17 ± 0.16
M3	223 ± 2	1.3248 ± 0.0049	2.07 ± 0.05
M330	320 ± 5	0.8865 ± 0.0044	2.85 ± 0.10
M360	301 ± 3	1.0102 ± 0.0031	2.88 ± 0.07
M390	270 ± 5	1.2150 ± 0.0034	2.78 ± 0.11
M3120	337 ± 5	0.7216 ± 0.0024	2.57 ± 0.09
M3150	323 ± 5	0.9439 ± 0.0129	3.09 ± 0.14
M4	228 ± 3	1.0755 ± 0.0075	1.76 ± 0.06
M430	228 ± 3	1.4615 ± 0.0159	2.39 ± 0.09
M460	215 ± 4	1.7650 ± 0.0154	2.56 ± 0.12
M490	236 ± 2	1.2145 ± 0.0047	2.13 ± 0.04
M4120	243 ± 6	1.3464 ± 0.0059	2.50 ± 0.14
M4150	298 ± 3	0.8838 ± 0.0028	2.47 ± 0.06

El mejor ajuste a los datos experimentales de la amplitud de la señal FA en función de  $f$  se obtuvo en el rango de 10 a 20 Hz, donde la desviación cuadrática media fue del orden de  $10^{-6}$ , lo cual da confiabilidad a los resultados encontrados. Los resultados de  $f_c$  y  $\alpha$ , se presentan en la tabla 2. En ésta se aprecia que los valores encontrados para  $\alpha$  son del mismo orden de magnitud ( $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ ) y están dentro de un intervalo muy pequeño comprendido entre  $1.74 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$  y  $3.87 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ .

**Conclusiones**

Se reportan por primera vez los valores de  $\alpha$  usando la técnica FA en configuración de transmisión de calor, para muestras de arcillas rojas del sector de los Vados, con rangos de tamaño de grano entre 58 y 75  $\mu\text{m}$ , sometidas a tiempos de cocción de 30, 60, 90, 120 y 150 minutos a temperatura constante de 900  $^{\circ}\text{C}$ . Se encontró que no existen variaciones significativas en los valores de  $\alpha$  para las condiciones de preparación de las muestras, ya que están en el mismo orden de magnitud ( $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ ) y en un intervalo comprendido entre  $1.74 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$  y  $3.87 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ . Al comparar nuestros resultados, con los reportados en la literatura para productos como el ladrillo común ( $2.78 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ )[4] y la teja ( $1.49 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ )[9], así como para sus principales compuestos constituyentes de las muestras [2] como el  $\text{SiO}_2$  ( $1.95 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ )[4],  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $1.75 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ )[4],  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  ( $1.42 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ ) [4] y arcillas de caolines ( $2.68 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ )[10], se aprecia que están en el mismo orden de magnitud y dentro del rango reportado en nuestros resultados, dando con esto confiabilidad a los resultados presentados en este trabajo.

**Agradecimientos:** Los autores agradecen al laboratorio de propiedades térmicas del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del I.P.N. – México D.F. por su colaboración en las medidas realizadas con la técnica FA. También se agradece al Fondo de Investigaciones Universitarias de la U.F.P.S por el apoyo económico otorgado para este trabajo.

#### REFERENCIAS

- [1] M V Marquezini, M N Cella, A M Mansanares, H Vargas and L C M Miranda, Meas. Sc. Technol. 2 (1991) 396-400.
- [2] G. Peña-Rodríguez, J. A. I. Díaz Góngora, R. A. Muñoz-Hernández, E. Marín and A. Calderón. Microstructure and Thermal Diffusivity of Ceramic Powders. ECTP. Bratislava, (2005)
- [3] GD. Ladiwala, KN. Bala, S. Saxena, and MP. Saksena. Proceeding of the Twenty-second International conference on Thermal conductivity. Vol. 22. Edited by Timothy W. Tong. Technomic Publishing CO. INC. Pensilvania 1994.
- [4] YS. Touloukian, RW. Powell, RW. Ho Cy, and MC. Nicolu. Thermophysical Propieties of Matter, Vol. 10, Plenum, New York, 1970.
- [5] A. Calderón, JJ. Alvarado, YG. Gurevich, A. Cruz Orea, I. Delgadillo, H. vargas and LCM. Miranda. Physical Review Letters Vol. 79 (25) 5022-5025 (1997).
- [6] G. Peña Rodríguez, A. Calderón Arenas, RA. Muñoz Hernández, S. Stolik, A. Cruz Orea, y F. Sánchez Sinencio. Analytical Science. Vol. 17, s357-s360. 2001.
- [7] AM. Manzanares, AC. Bento, H. Vargas, NF. Leite y LCM. Miranda, Phys. Rev. B 42, 4477 (1990).
- [8] <http://www.emision.com/125.htm>
- [9] FP. Incropera, DP. Dewitt. Fundamentos de transferencia de calor. Cuarta edición, Prentice-Hall, (1999).
- [1] J Alexandre, F Saboya, B C Marques, M L P Ribeiro, C Salles, M G da Silva, M S Sthel, L T Auler and H Vargas, The Analyst 124 (1999) 1209-1214.