

## Construcción Y Caracterización De Cerámicas Porosas A Partir De Espumas De Poliuretano Y Barbotinas De Arcillas Rojas

### Construction And Characterization Of Porous Ceramics From Polyurethane Foams And Red Clay Barbotine

M. Ferrer <sup>\* a</sup>, G. Peña Rodríguez <sup>a</sup>, H. J. Dulce <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Centro de Investigación en Materiales Cerámicos, Departamento de Física Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS) AA. 1055. Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

Recibido 27.04.10; Aceptado 22.02.11; Publicado en línea 04.09.11.

#### Resumen

Se fabricaron probetas de cerámicas porosas, con dimensiones promedio de 4cm de ancho, 12cm de largo y 2cm de alto a partir de espumas de poliuretano inmersas en barbotinas de arcillas rojas. Se utilizó barbotina con una densidad de 1,5 g/cm<sup>3</sup> y un tamaño de partícula pasante tamiz ASTM 325 (45 μm). Con el objetivo de obtener cerámicas con diferentes porosidades, se utilizaron espumas con cuatro tipos de densidades. El proceso de fabricación de la probeta, consistió en comprimir la espuma a medida que se agregaba la barbotina; una vez saturada la espuma, se dejaba inmersa en la barbotina por 24 horas; luego, se sometió a proceso de secado a temperatura ambiente por 48 horas y 12 horas en estufa de circulación forzada; posteriormente, se realizó la cocción en mufla eléctrica a una temperatura máxima de 1000 °C durante 4 horas. El porcentaje de porosidad por absorción de agua se determinó usando la norma NTC 4321-3[1], el estudio de la superficie y la densidad de porosidad se halló usando microscopía óptica, mientras que para la resistencia mecánica a la flexión se usó la norma ISO 10545-4 [2]. Los resultados muestran que a medida que la densidad de la espuma disminuye la densidad de las cerámicas porosas obtenidas a partir de ellas, y el porcentaje de porosidad aumenta. No se encuentra relación directa entre la porosidad y la resistencia a la flexión ya que en la superficie se encuentran fallas en diferentes orientaciones lo que produce distintas fracturas en cada prueba. El propósito de este trabajo es contribuir a la fabricación y caracterización de cerámicas porosas, para ser usadas en procesos a nivel industrial.

**Palabras Clave:** Cerámicas porosas; Porosidad; Densidad; Resistencia mecánica.

#### Abstract

Samples from porous ceramics were manufactured with average dimensions of 4cm wide, 12cm long and 2cm high from polyurethane foams embedded in red clay barbotine. Barbotine of 1, 5 g/cm<sup>3</sup> density and a particle size sieve intern ASTM 325 (45 μm) were used. With the purpose of obtaining ceramics with different porosities four different foam densities were used. The manufacturing process of the Samples, consisted of compressing the foam while the barbotine was being added, once saturated the foam it was left immersed in the barbotine for 24 hours, then it was subjected to drying at room temperature for 48 hours and 12 hours in an oven with forced circulation, subsequently the firing took place in an electric muffle at a maximum temperature of 1000 °C for 4 hours. The percentage of porosity for water absorption was determined using the standard NTC 4321-3[1], the study of the surface and density porosity were found using optical microscopy, while for the mechanical resistance to bending, the standard ISO 10545-4[2] was used. The results show that as the foam density decreases, the density of porous ceramics obtained from them, and the percentage of porosity increases. There is no direct relationship between porosity and bending strength since on the surface there are failures in different orientations leading to different fractures in each test. The purpose of this paper is to contribute to the fabrication and characterization of porous ceramics, to be used at level industrial processes.

**Keywords:** Porous ceramics; Porosity; Density; Mechanical strength.

**PACS:** 81.05.Je; 81.05.Rm; 62.20.-X.

©2011. Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

## 1. Introducción

Las arcillas explotadas de los yacimientos de la Formación León y del Grupo Guayabo, en Norte de Santander abastecen numerosas industrias de productos cerámicos, que participan en los mercados nacional e internacional. Las cerámicas son obtenidas a partir de arcillas mezcladas con agua, que al someterse a tratamientos térmicos forman estructuras sólidas, frágiles, resistentes a la corrosión con aplicaciones tanto a nivel doméstico como industrial. Dentro de las propiedades físicas y químicas que más llaman la atención en el campo industrial para las cerámicas, están la estabilidad química, durabilidad, resistencia mecánica, dureza, porosidad y absorción entre otras.

Las cerámicas porosas tienen grandes aplicaciones tecnológicas como colectores de partículas sólidas, aislantes térmicos y acústicos, catalizadores. Adicionalmente estos materiales son utilizados en procesos de filtración de líquidos y suspensiones, como purificador de combustibles a través de la separación de agua y óleo y en la separación de las proteínas de la leche. En este sentido se han realizado trabajos como en el caso de la producción de tubos cerámicos porosos para la microfiltración de combustibles, donde se ha utilizado alúmina calcinada y un aditivo inorgánico para la formación de poros, obteniendo materiales con una porosidad en el rango de 48 a 65 %, y un tamaño de poro con diámetros menores que de 1  $\mu\text{m}$ . [3].

Las arcillas también han sido utilizadas en la fabricación de membranas cerámicas, útiles en procesos de ultrafiltración de aguas servidas, aguas con diferentes tamaños de gotas de emulsión; la porosidad que se obtuvo fue de alrededor del 70 %. Las membranas fueron fabricadas en multicapas de 6 nm de espesor [4].

En muchos casos es útil poder manejar la densidad y el tamaño de poro. En este sentido se han fabricado cerámicas, utilizando como plantillas láminas de grafito con canales interconectados que se sumergen en barbotina, se dejan secar para luego sinterizar la barbotina a 1400°C durante 3h, finalmente se obtiene una cerámica laminar con poros interconectados y porosidades aproximadas de ( $\sim 91\%$ ) y un esfuerzo de compresión de ( $\sim 6.5\text{ MPa}$ ), con un tamaño de poro de  $375\text{-}\mu\text{m}^2$  [5].

Con el ánimo de conocer la relación entre porcentaje de porosidad, temperatura y tiempo de cocción en cerámicas empleadas en la fabricación de dispositivos filtrantes de agua, se analizan mezclas de caolín, piedra pómez y diatomita, variando las temperaturas de 600°C a 800°C y manejando tiempo de cocción entre 15 y 60 minutos obteniendo que para las muestras de caolín – diatomita el % de porosidad varió entre 20,74 y 76,91 %, aumentando al incrementarse la concentración en peso de diatomita. Se recomienda

una mezcla de 55 % caolín y 45 % de diatomita para obtener una porosidad promedio de 75,4 % y ser usada en la fabricación de prototipos filtrantes de agua. [6]

En este trabajo se fabricaron cerámicas porosas utilizando arcilla roja y espumas plásticas de poliuretano de diferentes densidades; se hace un análisis para determinar la relación que existe entre la resistencia mecánica, la porosidad, la densidad y el tamaño de poro.

El propósito de este trabajo es contribuir a la fabricación y caracterización de cerámicas porosas, para ser usadas en procesos a nivel industrial, como en la fabricación de ladrillos livianos y además aislantes acústicos o térmicos.

## 2. Materiales y métodos

Para la fabricación de las cerámicas porosas se utilizaron muestras de arcilla roja, las cuales fueron suministradas por la empresa Cerámica Italia S.A., y caracterizadas en el laboratorio del CIMAC (Centro de Investigación de Materiales Cerámicas) de la UFPS. En la elaboración de la barbotina fue necesario utilizar molinos de bolas para obtener un tamaño de partícula inferior a 45  $\mu\text{m}$  (pasante malla ASTM 325) y una densidad de 1,5  $\text{g}/\text{cm}^3$ . La defloculación se realizó utilizando silicato de sodio, obteniéndose la viscosidad mínima, con el fin de hacerla más fluida y que pueda penetrar más fácilmente en los poros de la espuma. Para lograr los poros se utilizaron cuatro espumas de diferente densidad y en adelante nos referiremos a ellas como E1, E2, E3, y E4, siendo E1 la de menor densidad y E4 la de mayor densidad; de la misma manera las cerámicas porosas obtenidas con esas espumas también son llamadas C1, C2, C3 y C4 (ver tabla 1). De esta manera se lograron cerámicas con diferentes densidades, porcentajes de porosidad, tamaño y densidad de poro.

Las probetas fueron fabricadas con dimensiones promedio de 4cm de ancho, 12cm de largo y 2cm de alto a partir de espumas de poliuretano; éstas se sumergieron en las barbotinas de arcillas rojas. El proceso de fabricación de la probeta consistió en comprimir la espuma a medida que se agregaba la barbotina; una vez saturada la espuma, se dejaba inmersa en la barbotina por 24 horas; luego se sometió a proceso de secado a temperatura ambiente por 48 horas y 12 horas en estufa de circulación forzada; posteriormente, se realizó la cocción en mufla eléctrica a una temperatura máxima de 1000 °C durante 4 horas.

El porcentaje de porosidad se determinó por absorción de agua usando la norma NTC 4321-3 [1]; en la resistencia mecánica a la flexión se aplicó la norma ISO 10545-4 [2], y para estudiar la superficie y determinar la densidad de poro, el tamaño y su distribución, se realizó un análisis con un

estereoscopio binocular de marca Jena, a 25X, recubriendo la muestra con polvo de carburo de silicio en un tamaño de grano de 600µm. Por último se hizo un estudio de contracción en las tres direcciones: largo, ancho y alto.

### 3. Resultados y discusión

En la tabla 1 se ve que la densidad de las espumas aumenta, mientras que la densidad de las cerámicas disminuye. Se infiere que las espumas menos densas tienen una mayor porosidad o mayor tamaño de poro y por lo tanto mayor espacio en donde se aloja la barbotina (arcilla) y las hace más densas.

Tabla No. 1: Densidad de las espumas de polietileno y densidad de las cerámicas porosas obtenidas a partir de estas espumas.

Espuma	Espumas $\rho(\text{g/cm}^3)$	Cerámica	Cerámica $\rho(\text{g/cm}^3)$
E1	0,011±0,0001	C1	1,297 ± 0,016
E2	0,015 ± 0,0002	C2	1,242 ± 0,022
E3	0,0197±0,0005	C3	1,208 ± 0,017
E4	0,0305 ± 0,005	C4	1,158 ± 0,003

En la figura 1, se observa que la espuma E1 es porosa con una distribución de poro no ordenada y con un tamaño del orden de los micrómetros. La espuma E2 tiene una apariencia que muestra una distribución y tamaño de poro similar a E1; de los resultados de la tabla 1, se deduce que la diferencia de densidad es de 36 % entre E1 y E2. La espuma E3 presenta poros de diferentes tamaños, la diferencia de densidad con respecto a E1 es del 80 %. La espuma E4, presenta una distribución de poro ordenada y un tamaño de poro más uniforme; su densidad difiere de E1 en un 181 %. En contraste con este aumento de la densidad para las espumas, para las cerámicas disminuye, tal que la cerámica C2 es un 4 % menos densa que C1, C3 es un 6.8 % menos densa que C1 y la cerámica C4 es un 10 % menos densa que C1.

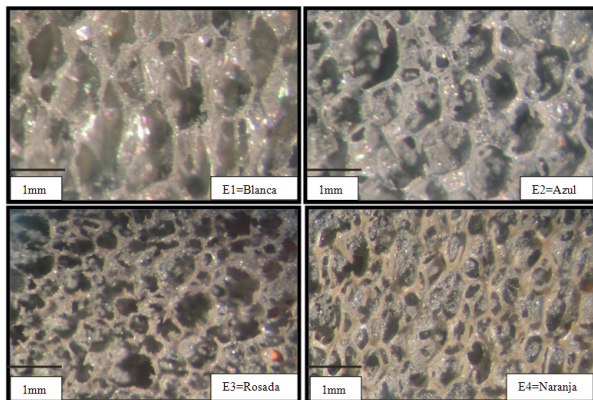


Fig. 1: Fotografías de las espumas, tomadas con un Estereoscopio binocular.

La superficie de las cerámicas porosas se observa en la figura 2, donde C1 corresponde a la cerámica porosa obtenida utilizando la espuma E1; en ésta se detallan poros cerrados y abiertos en una distribución no isométrica. C2 corresponde a la cerámica porosa obtenida con la espuma E2, en ella se observa una distribución de poro similar a la C1. Analizando los resultados de la tabla 2, se tiene que el tamaño del poro es mayor en un 3.6 % con respecto a C1. C3 es la cerámica obtenida utilizando la espuma E3; se observa una distribución de poro no isométrica y de tamaño variado. De acuerdo con la tabla 2, se deduce que el tamaño de poro es mayor en un 63 % con respecto a C1. C4 es la superficie de la cerámica porosa obtenida con la espuma E4; se nota una distribución mas uniforme en el poro. El tamaño de poro con respecto a C1 es un 55 % menor.

El porcentaje de porosidad para las cuatro cerámicas porosas se presenta en la tabla 2. Al compara las porosidades con respecto a C1 se obtiene que C2 es más porosa en un 9 %, C3 es más porosa en un 6 % y C4 es más porosa 18 % que C1.

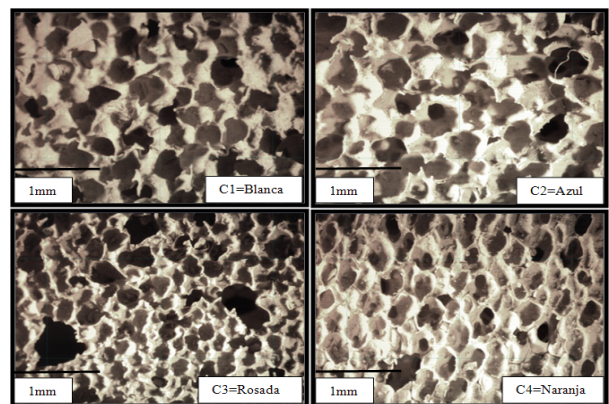


Fig. 2: Fotografías de las cerámicas porosas, tomadas con un estereoscopio binocular.

Tabla No. 2: Porcentaje de porosidad y tamaño de los poros en las cerámicas porosas medido en la fotografía.

Cerámica	% Porosidad	Tamaño de poro (mm <sup>2</sup> )
C1	37.391 ± 0.95	53897±7055
C2	40.917 ± 0.94	55822±3051
C3	39.695 ± 1.32	61197±25393
C4	44.091 ± 0.49	24384±5982

De acuerdo a los resultados registrados en la tabla 3 e ilustrados en la figura 3, se concluye que el mayor porcentaje de contracción se presenta a lo alto. Esto se debe a que en el proceso de secado la muestra descansa sobre la cara horizontal, luego, por influencia de la gravedad se contrae la otra dimensión.

Tabla No. 3: Porcentaje de contracción en cocción.

Cerámicas	a lo largo %	a lo ancho %	a lo alto %
C1	1.7	7.35	26
C2	1.86	1.63	13.6
C3	2.3	3.36	3.6
C4	1.95	4.17	4.3

El porcentaje de contracción fue calculado de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\%C = \frac{Lp - Lc}{Lp}$$

donde Lp es la longitud antes de ser sometida a cocción y Lc la longitud después de este proceso.

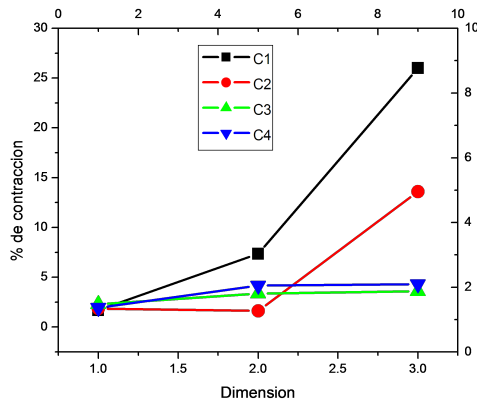


Fig. 3: Porcentaje de contracción de las cerámicas porosas C1, C2, C3 y C4, en las tres dimensiones, largo, ancho y alto.

Tabla No. 4: Porosidad, carga a la rotura, módulo de rotura y resistencia a la flexión de las cerámicas porosas.

Muestra	% de Porosidad	Carga a la Rotura F(kgf)	Módulo de Rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Resistencia a la Flexión S (N)
C1	37,391±0,95	14,4±0,74	2,3±0,22	299±17,56
C2	40,917±0,94	22,12±1,5	3,5±0,18	560±36,52
C3	39,695±1,32	22,6±1,77	3,5±0,313	489±33,9
C4	44,091±0,49	18,15±0,10	2,64±0,199	432±18,11

Las pruebas mecánicas aplicadas a las cerámicas porosas aparecen registradas en la tabla 4, donde se observa que no existe una relación entre la porosidad y la carga a la rotura o a la flexión. Esta apreciación tiene su fundamento en la literatura de material cerámico, donde se afirma que “Al efectuar pruebas mecánicas idénticas en diversas muestras de determinado material cerámico se obtendrá una variación considerable en lo respecta a esfuerzos de fractura” [7]. La fractura en los cerámicos obedece a fallas que pueden ser imperfecciones en la superficie las cuales producen

fracturas que se propagan bajo la acción de un esfuerzo. En la superficie de la cerámica hay diferentes fallas en distinta orientación y ubicación con respecto al esfuerzo aplicado, lo que lleva a que cada vez que se haga una prueba se obtengan distintos resultados.

#### 4. Conclusiones

La densidad de las cerámicas porosas C1, C2, C3 y C4 disminuye conforme aumenta la densidad de las espumas E1, E2, E3 y E4. Esto se debe a que la espuma menos densa tiene mayor cantidad de poros que van a ser llenados por la barbotina en el momento de la absorción, luego la densidad de la cerámica porosa aumenta al disminuir la densidad de la espuma.

Las características físicas de la cerámica porosa, obtenidas a partir de espumas de poliuretano, se ve influenciada directamente por las características físicas como densidad, porosidad y tamaño de poro de las espumas, ya que son ellas las que sirven de matriz para la formación estructural de la cerámica porosa. Las cerámicas porosas no tienen un tamaño de poro homogéneo y no presentan una distribución isométrica.

La contracción de la longitud, se presenta en mayor porcentaje en la dimensión de menor tamaño, mientras que el porcentaje de contracción en la dimensión mayor es mínimo; de esto se infiere que la contracción es influenciada por la posición en el secado y no depende de la longitud.

Las propiedades mecánicas de las cerámicas porosas, dependen de las fallas en la superficie. Las cerámicas tienen una distribución de distintas fallas de tamaño variable y con diferente forma y ubicación con respecto al esfuerzo aplicado, por lo tanto los resultados de las pruebas de este tipo siempre arrojan resultados diferentes, dependiendo del tipo de falla que produzca la fractura.

#### 5. Agradecimientos

Agradecemos al FINU - U.F.P.S, por su apoyo para la realización de este proyecto, al CIMAC-U.F.P.S por el préstamo de sus instalaciones y equipos.

#### Referencias

- [1] Norma Técnica Colombiana NTC 4321-3. Método para determinar porosidad por absorción de agua en cerámicos. (1998).
- [2] Norma Técnica Colombiana NTC 4321-4. Método de ensayo para determinar el modulo de rotura y la resis-

- tencia a la flexión. (1997).
- [3] D.S. Rosa, V.R. Salvini, V. C. Pandolfelli. Processing and evaluation of porous ceramics for micro filtration of emulsions. Departamento de Engenharia de Materiais -DEMa. Universidad Federal de S. Carlos \_ UFS-Car. *Cerámica* 52 (2006) 167-171.
- [4] J.M Benito, M.J Sanchez, P. Pena, M.A. Rodríguez. Development of new high porosity ceramic membrane for the treatment of bilge water. Instituto de cerámica y vidrio. *ScienceDirect* 214(2007) 91-101.
- [5] J. In-Kook, K. Young-Hang, K. Hyoun-Ee. Fabrication of ultrahigh porosity ceramics with biaxial pore channels. School of materials Science and Engineering. Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea. *Materials Letters* 60 (2006) 878-882.
- [6] G. Peña., A. Miranda. Y G. Santafe. Efecto de la temperatura y tiempo de cocción en la porosidad de mezclas a base de arcillas de caolines. *Revista Colombiana de Física*, Vol. 40 No. 3, 2008.
- [7] J. C Anderson. *Ciencia de los materiales: Propiedades mecánicas de los cerámicos*. Segunda edición. México. Limusa S.A. 2002. 365-368. ISBN 968-18-4717-2.