

Transformaciones mineralógicas y en el sistema poroso de ladrillos elaborados con lodo de diatomita calcinada y cloruro sódico

Giuseppe Cultrone (1*), María Laura Elias (2)

(1) Departamento de Mineralogía y Petrología. Universidad de Granada, 18002, Granada (España)

(2) Laboratorio de Técnicas y Materiales, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe (Argentina)

* corresponding author: cultrone@ugr.es

Palabras Clave: Ladrillos, Mineralogía, Porosidad | **Key Words:** Bricks, Mineralogy, Porosity.

INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos ha captado la atención de los investigadores la posibilidad de utilizar productos de desecho de diversas actividades industriales en la elaboración de ladrillos. Esto se debe al gran volumen de residuos que se producen y que es difícil eliminar. Además, su adición podría abaratar los costes de producción y mejorar determinadas propiedades físicas de las piezas cocidas. Existe una bibliografía muy variada sobre el uso de residuos en ladrillos (Zhang, 2013; Muñoz et al., 2016). Para este estudio se ha considerado la incorporación de lodo de diatomita calcinada y sal común como aditivos durante el proceso de elaboración de los ladrillos. La comparación de resultados entre ladrillos elaborados sin y con estos aditivos aportará nuevos datos sobre los cambios petrofísicos que tendrán estos materiales cerámicos y serán de utilidad para la industria de la construcción y la conservación de los edificios históricos.

METODOLOGÍA

La tierra arcillosa seleccionada para la elaboración de los ladrillos proviene de Jun, en las inmediaciones de Granada (España). Geológicamente, se trata de arcillas grises, limos y arenas de edad Turolense medio-superior en las cuales se intercalan pequeños niveles de yeso. En cuanto a los aditivos utilizados, el lodo de diatomita con restos de cebada y maíz ha sido suministrado por la empresa Cervezas Alhambra S.L. (Granada) que utiliza la diatomita en el proceso de filtrado de la cerveza. Se añadió un 10% en peso de este lodo a la tierra arcillosa. El cloruro sódico es sal marina alimentaria procedente de la empresa Salinera Española S.A. (Palma de Mallorca) y es obtenida por evaporación natural del agua del mar. Se añadió un 30% en peso de sal en el agua de amasado. Los ladrillos fueron cocidos en un horno eléctrico Herotec CR-35 a 800, 950 y 1100 °C. La mineralogía de la materia prima y de las piezas cocidas se

determinó mediante difracción de rayos X utilizando un equipo Philips X'Pert PRO. Las condiciones de trabajo fueron: radiación $\text{CuK}\alpha$, 45 kV, 40 mA, zona explorada 3-60° 2 θ y velocidad de goniómetro 0,1 20s⁻¹. La interpretación de los resultados se llevó a cabo mediante el programa informático X PowderX. El estudio del sistema poroso de los ladrillos con y sin aditivos se llevó a cabo mediante ensayos hídricos y porosimetría de inyección de mercurio. En el primer caso se realizaron ensayos de absorción y desorción de agua sobre probetas cúbicas de 4 cm de lado de acuerdo con las normas UNE-EN 13755 (2008) y Normal 29/88 (1988) respectivamente, y en el segundo se utilizó un porosímetro Micrometric Autopore III 9410 analizando fragmentos de ladrillo de aproximadamente 1 cm³.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mineralogía

La tierra arcillosa de Jun se compone de cuarzo y filosilicatos (sobre todo illita y paragonita) y menores cantidades de plagioclasas, feldespatos potásicos, yeso, calcita y dolomita (Tabla 1). El lodo de diatomita calcinada presenta cristobalita además de cuarzo, calcita y albita. Las muestras sin aditivos cocidas a 800 °C contienen sobre todo cuarzo, feldespatos y plagioclasas. De los carbonatos identificados en la materia prima, la dolomita ya no está presente mientras queda todavía una pequeña cantidad de calcita. Los filosilicatos disminuyen en concentraciones quedando las fases dioxiladas de illita y paragonita. A 950 °C desaparecen también calcita y paragonita y comienzan a desarrollarse nuevas fases minerales fruto de la reacción entre carbonatos y silicatos. Es el caso de la gehlenita y de la plagioclasa de tipo anortítico. A 1100 °C se observa un considerable aumento en anortita y aparece también el dióxido. El cuarzo disminuye en concentraciones por su reacción con los carbonatos para formar silicatos de calcio y de

calcio y magnesio. Debido a la presencia de yeso en la materia prima, los ladrillos cocidos contienen anhidrita (Tabla 1).

Las muestras con cloruro sódico comienzan a vitrificar antes que las demás. Este comportamiento es evidente ya a 950 °C y se acentúa a 1100 °C. En cuanto a la mineralogía se anticipa la aparición del dióxido a 950 °C que aumenta en concentración a 1100 °C y se desarrolla la mullita únicamente en este grupo de ladrillos. Otra fase mineral que ha sido identificada es la molysita (FeCl₃) debido a la reacción de la sal con el hierro presente en la matriz. De hecho, los ladrillos elaborados con sal son de color más claro respecto a los otros dos grupos, señal de que parte del hierro se incorpora en la estructura de esta nueva fase mineral, dificultando así la formación de hematites. En las muestras con diatomita, a 950 °C se observan trazas de cristobalita cuya concentración aumenta a 1100 °C. El incremento de temperatura desarrolla los mismos silicatos (gehlenita, anortita y dióxido) ya observados en los otros ladrillos (Tabla 1).

	<i>sin aditivos</i>			<i>NaCl</i>			<i>diatomita</i>		
	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>1</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>1</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>1</i>
Qz	***	***	**	***	***	**	***	***	**
Illt	**	**		**	*		**	**	
Pg	*			*			*		
Pl	*	**	***	*	***	***	*	***	***
Fs	**	*	*	**	*	*	**	*	*
Cal	t						t		
Anh	*	*	*	*	*		*	*	*
Hem		t	t	t	t	t	t	t	t
Gh		*	*		t	t		*	*
Di			*		*	**			*
Mul						*			
Mo				t	t	t			
Crs							t	t	*

Tabla 1. Mineralogía de los ladrillos con y sin aditivos cocidos a 800 °C (8), 950 °C (9) y 1100 °C (1). Leyenda: Qz = cuarzo; Illt = illita; Pg = paragonita; Pl = plagioclasas; Fs = feldespatos; Cal = calcita; Anh = anhidrita; Hem = hematites; Gh = gehlenita; Di = dióxido; Mul = mullita; Mo = molysita; Crs = cristobalita. *** = muy abundante; ** = abundante; * = escaso; t = en trazas.

Sistema poroso

Los ladrillos elaborados con lodo de diatomita absorben mucha más agua respecto a los ladrillos sin aditivos o con sal. En todas las muestras disminuye el coeficiente de saturación con el aumento de la temperatura de cocción y, paralelamente, empeora el grado de interconexión entre los poros. Estos resultados indican que el aumento de la temperatura influye en la modificación del sistema poroso, con el desarrollo de la fase vítrea y la reducción de comunicación entre los poros. Las muestras elaboradas con lodo de diatomita son las más porosas. Este parámetro, junto con el de absorción de agua, demuestra que el lodo de diatomita está modificando el sistema poroso de los ladrillos de manera más significativa que el cloruro sódico. El índice de secado es bastante similar en todas las muestras.

Todos los ladrillos presentan distribución porométrica unimodal con la concentración máxima de los poros en torno a 1 µm. Este máximo se va desplazando hacia poros más grandes conforme aumenta la temperatura de cocción, un desplazamiento que es más marcado en presencia de cloruro sódico y, sobre todo, con la adición de lodo de diatomita. Paralelamente, desde 800 °C a 1100 °C se registra la disminución de los poros más pequeños al descender el valor de superficie específica. El cloruro sódico, al ser un fundente de baja temperatura, disminuye la superficie específica de manera más importante que en los otros dos grupos, sobre todo a 800 °C. Estas diferencias se reducen a 950 °C cuando la sinterización y vitrificación interviene también en los demás ladrillos.

CONCLUSIONES

La tierra arcillosa de Jun sufre importantes cambios mineralógicos tras la cocción de los ladrillos debido a la descomposición de los carbonatos y filosilicatos y la reacción con cuarzo y feldespatos para formar nuevos silicatos de calcio (gehlenita y anortita) y de calcio y magnesio (dióxido). La inclusión de aditivos comporta la aparición de otros minerales como la molysita y la mullita en presencia de cloruro sódico y de cristobalita cuando se ha añadido diatomita. Todas las muestras van vitrificando con el aumento de la temperatura de cocción. Esto determina cambios en el sistema poroso de los materiales cerámicos como el aumento del tamaño de los poros a la vez que disminuye el grado de interconexión entre ellos. El lodo de diatomita calcinada da lugar a ladrillos más porosos y con mayor capacidad de absorber agua. A nivel general, los ladrillos elaborados con la adición de cloruro sódico y cocidos a 800 °C podrían ser una válida alternativa a los sin aditivos y cocidos a temperaturas más altas ya que es posible obtener piezas parcialmente vitrificadas y, por tanto, más compactas gracias a la propiedad fundente de esta sal.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Grupo de Investigación RNM 179 de la Junta de Andalucía y el Proyecto de Investigación MAT-2016-75889-R.

REFERENCIAS

- Muñoz, P., Morales M.P., Letelier V., Mendivil, M.A. (2016): Fired clay bricks made by adding wastes: assessment of the impact on physical, mechanical and thermal properties. *Constr. Build. Mater.*, **125**, 241-252.
- Normal 29/88 (1988): Misura dell'indice di asciugamento (drying index). CNR-ICR, Roma
- UNE-EN 13755 (2008): Natural stone test methods. Determination of water absorption at atmospheric pressure. AENOR, Madrid.
- Zhang, L. (2013): Production of bricks from waste materials. A review. *Constr. Build. Mater.*, **47**, 643-655.