

# Influencia de la paragénesis mineral, porosidad y defectos estructurales en la alterabilidad de los ladrillos macizos antiguos.

Influence of the mineral paragenesis, porosity and structural defects in the alterability of historical clay brick.

S. Caro Calatayud (\*), S. Pavía Santamaría (\*\*) y F. Pérez-Lorente (\*\*\*)

(\*) Centro Paleontológico, C/Portillo, nº3. 26586 Enciso (La Rioja)

(\*\*) Faculty of the Built Environment, DIT Bolton Street, Dublin 1.

(\*\*\*) Universidad de La Rioja. Edificio Científico Tecnológico. C/Madre de Dios, 51. 26006 LOGROÑO

## ABSTRACT

The aim of this study is to determine the durability of historical brick in relation to mineralogy, porosity and structural defects. To this aim, the mineralogy of the raw clay used to make the brick was analysed. The mineralogy of the raw clay fired at different temperatures was also determined. The temperature at which the brick was fired was deduced by comparing the mineral paragenesis of the brick at the building with those of the fired samples. The porosity of the brick was measured by mercury porosimetry. The resistance of the brick to weather was tested by performing durability tests in the laboratory. Durability tests included freeze-thaw, thermal-moisture and salt crystallization cycles. The results of all the above tests and analytical techniques showed that the main factors which determine the weathering of the ceramic ware are both structural defects and mineralogy.

**Key words:** Ceramics, brick, clay, porosity, lamination, exfoliation, alterability.

Geogaceta, 30 (2001), 31-34  
ISSN:0213683X

## Introducción

El Valle del Ebro, en la Comunidad Autónoma de La Rioja, posee tradición alfarera. En Logroño y La Rioja Baja se encuentran con frecuencia edificios históricos construidos con ladrillos de arcilla cocida. Este trabajo contiene el estudio de los ladrillos de dos edificios históricos de la zona.

Se comparan los resultados obtenidos de los análisis de ladrillos macizos antiguos de dos edificios monumentales de La Rioja para determinar la relación entre la paragénesis mineral, porosidad y alteración. El material cerámico analizado procede de la Iglesia de San Miguel Arcángel, localizada en la ciudad de Alfaro (Caro, S., 1994) y de la torre de la iglesia San Bartolomé, situada en Logroño (Pavía, S., 1994).

La construcción de la Iglesia de San Miguel comenzó en el siglo XVI y terminó en el siglo XVIII y la torre de San Bartolomé se construyó en el siglo XVI. Los ladrillos analizados que se exponen en este artículo, y para ambas Iglesias, son del siglo XVI, con la seguridad de que son de esta época y no de intervenciones posteriores. Los ladrillos son macizos, planos, aplantillados, con dimensiones medias de 33x17x4 cm. La mate-

ria prima utilizada para la fabricación de las piezas fue la arcilla de la zona.

Desde el punto de vista geológico, las canteras de las que se extrajo la arcilla y las que están actualmente en explotación pertenecen al Terciario continental del valle del Ebro, cuya edad es Aquitaniense superior-Vindoboniense, Beróiz et al (1977). Los frentes están formados por arcillas y limos de color rojo con intercalaciones de arenisca.

## Materiales y método

En primer lugar se buscaron canteras en áreas próximas a los edificios, de esta forma se localizaron y seleccionaron antiguos frentes y tejas actualmente en explotación de las que se tomaron muestras de arcilla.

Las muestras se prepararon para analizarlas en el laboratorio. La mineralogía de las arcillas se determinó por difracción de rayos-x con el método del polvo cristalino y aplicando las variantes para el estudio de la fracción menor de 20 micras (minerales de la arcilla) que incluyen muestras orientadas y tratamientos con etilenglicol y dimetilsulfóxido. El equipo que se utilizó en las determinaciones mineralógicas fue un difractor Philips PW 1710, equipado con monocro-

mador de grafito, rendija automática de divergencia y microprocesador goniométrico PW 1710. Se utilizó radiación CuK $\alpha$ . La velocidad media de exploración varió entre 2 y 6 grados por minuto, según se trataba de diagramas del polvo o de agregados orientados. La zona de exploración fue entre 3 y 60 grados para el polvo y entre 3 y 30 grados para los agregados orientados.

Las muestras de arcilla se amasaron con agua destilada, se cocieron a 350, 550, 800, 900 y 1.100°C y se prepararon para su análisis difractométrico. Con la misma técnica de difracción de rayos-x se estudió la mineralogía de ladrillos inalterados del edificio.

El objetivo de estos ensayos fue identificar los minerales que constituyen la arcilla, los que forman los ladrillos y las paragénesis minerales de la arcilla cocida a 350, 550, 800, 900 y 1.100°C.

La temperatura de cocción de los ladrillos se dedujo contrastando las fases minerales que constituyen los ladrillos del edificio con las fases minerales identificadas en la arcilla cocida a dichas temperaturas (Caro, 1994).

Las propiedades físicas y mineralógicas del material cerámico se midieron en ladrillos de colores variados procedentes de zonas resguardadas de los edificios,

|                          |        |         |           |             |                                    |
|--------------------------|--------|---------|-----------|-------------|------------------------------------|
| Composición mineralógica | Cuarzo | Calcita | Dolomita  | Feldespatos | Minerales de la arcilla            |
|                          | 27%    | 26%     | <5%       | traza-8%    | 42%                                |
| Fases plásticas          | Ilita  | Clorita | Caolinita | Esmectitas  | Interestratificado Ilita-esmectita |
|                          | 36-46% | 1-7%    | <1%       | <3%         | <1%                                |

Tabla 1. Composición mineralógica media de la arcilla.

Table 1. Average mineralogical composition of the raw clay.

previamente se eliminó, cortando y desechando, la parte superficial de los mismos. En estas muestras se determinaron la mineralogía, porosidad y durabilidad (ensayos de envejecimiento acelerado). Los ensayos de envejecimiento artificial acelerado se realizaron de acuerdo con la normativa internacional RILEM, 1980. La porosidad se evaluó mediante un porosímetro de mercurio Quantocrome, modelo autoscan-60.

**Composición mineralógica de la arcilla original**

Clasificación: arcilla ílítica, calcárea con clorita y trazas de caolinita y dolomita, Caro, 1994 (ver tabla 1).

**Ensayo térmico: Composición mineralógica de la arcilla cocida.**

El ensayo se hizo con arcillas procedentes de 4 canteras de Alfaro. La composición mineralógica media de las arcillas se muestra en la tabla 1.

Para llevar a cabo el ensayo se amasaron con agua destilada unas bolas pequeñas de arcilla, se desecaron hasta peso constante y se cocieron a 350, 550, 800, 900 y 1100°C. Por difracción de rayos-X se obtuvo la composición mineralógica para cada temperatura.

Las transformaciones mineralógicas de la arcilla cocida fueron:

- *Caolinita*: desaparece a 550°C.
- *Clorita, siderita, piritita, dolomita*: A 800°C no se identifican estos minerales.
- *Calcita*: A 800°C en algunas muestras se ha transformado totalmente. En otras, aunque disminuye mucho su conte-

nido queda un pico perfectamente identificable. A 900°C ya no se identifica.

- *Ilita*: A 900°C en algunas muestras se ha transformado completamente y en otras aún se detecta.

- *Feldespatos*: Entre 350 y 550°C disminuyen las plagioclasas y comienza a diferenciarse los picos del feldespato. Entre 550 y 800°C sigue disminuyendo el contenido de plagioclasa y aumentando el de feldespato alcalino. A partir de 800°C aumenta el contenido de ambos. A 1.100°C se forma mas feldespato alcalino.

- *Cuarzo*: Disminuye en el intervalo comprendido entre 550 y 800°C, y a partir de 1.100°C.

- *Gehlenita*: Se forma entre 800 y 900°C.

- *Wollastonita*: Se forma a partir de los 900°C. aunque en alguna muestra hay indicios a 800°C.

- *Diópsido y Mullita*: A 1.100°C se ha identificado diópsido y mullita.

**Mineralogía de los ladrillos inalterados**

Las fases cristalinas identificadas en los ladrillos, por orden de abundancia y para ambas Iglesias, responden a las siguientes paragénesis:

*Ladrillo amarillo claro* ⇔ Cuarzo-gehlenita-wollastonita-feldespatos-trazas calcita-ilita.

*Ladrillo amarillo-blanco* ⇔ Cuarzo-wollastonita-calcita-gehlenita-diópsido-feldespato

*Ladrillo amarillo* ⇔ Cuarzo-diópsido-gehlenita-wollastonita-feldespato-óxidos de hierro.

*Ladrillo amarillo-verde* ⇔ Cuarzo-wollastonita-diópsido-feldespato.

*Ladrillo marrón claro-amarillo* ⇔ Cuarzo - diópsido-feldespato-trazas calcita-óxidos de hierro.

*Ladrillo marrón claro* ⇔ Cuarzo-gehlenita-wollastonita-mullita-feldespato

*Ladrillo marrón* ⇔ Cuarzo - wollastonita-diópsido-feldespato.

*Ladrillo pardo* ⇔ Cuarzo-gehlenita-calcita-feldespato-óxidos de hierro-Ilita.

*Ladrillo pardo-rojo oscuro* ⇔ Cuarzo, calcita, feldespato-óxidos de hierro.

**Diagnóstico de la temperatura de cocción.**

Los ladrillos de ambas Iglesias se cocieron entre 800 y 950°C. Algunos ejemplares alcanzaron la Tª de 1.100°C.

La mayor parte de los ladrillos contienen gehlenita y/o wollastonita; unas veces coexistiendo ambos minerales con el diópsido y otras veces el diópsido con la wollastonita (Tª>900°C). La calcita, cuando forma parte de la mineralogía de estos ladrillos, es de neoformación.

Los ladrillos en los que coexisten gehlenita y calcita se cocieron entre 800 y 850°C (en general Tª<900°C) y las cerámicas formadas por cuarzo-calcita-feldespato-ilita no sobrepasaron la temperatura de cocción de 800°C.

La temperatura de cocción en los ladrillos en los que se ha identificado mullita, y en los que coexisten diópsido y feldespato fue superior a 1000°C.

**Porosidad de los ladrillos sanos**

El tamaño medio de los poros grandes, poros de forma alargada e irregular, medidos en muestra de mano es de 5 mm.

La porosidad efectiva media, obtenida por la técnica de porosimetría de mercurio (tabla 2) es del 44% para los ladrillos de la iglesia de San Miguel Arcángel (porosidad dominante entre 0,2 y 10 micras) y del 34% para los de la torre de San Bartolomé (intervalo dominante entre 0.1 y 1 micra). Solo las piezas con mayor porosidad efectiva (>50%) contienen macroporos cuya clase dominante de radio de acceso del poro está comprendida entre 2 y 10 micras.

**Defectos estructurales en los ladrillos**

Casi todos los ladrillos tienen cráteres cuyo diámetro está comprendido entre 7 y 15 mm.

La laminación es un defecto estructural muy común en estos ladrillos, mas

|  | Porosidad total media | Porosidad dominante media Clases dominantes (tamaño radio de poro) |
|--|-----------------------|--|
| Ladrillos de la Iglesia de San Miguel Arcángel       | 44%                   | 2-10 micras<br>0.5-2 micras<br>0.2-1 micras<br>0.2-0.5 micras      |
| Ladrillos de la Torre de la Iglesia de San Bartolomé | 34%                   | 0.1-1 micras   |

Table 2. Porosidad media y distribución del tamaño de poros.

Tabla 2. Average porosity and predominant pore size distribution intervals.

| LADRILLOS                                    | Porosidad | Tª cocción | Humedad-sequedad | Heladicidad        | Sales                    |
|--|-----------|------------|------------------|--------------------|--------------------------|
| Amarillo claro<br>Laminación                 | 35,44%    | ≥900°C     | -5%              | -13%<br>fragmentos | -1%                      |
| Amarillo-blanco<br>Sin laminación            | 40,95%    | >900°C     | -0,6%            | -0,7%              | -1%                      |
| Amarillo<br>Sin laminación                   | 44,19%    | >900°C     | -0,1%            | -0,08%             | -0,6%                    |
| Amarillo-verde<br>Sin laminación             | 42,53%    | >900°C     | -0,1%            | -0,09%             | -1%                      |
| Marrón claro<br>Sin laminación               | 39,20%    | >1.100°C   | -2%              | -1%                | -1%                      |
| Marrón claro-amarillo<br>Laminación muy baja | 32,10%    | >900°C     | -3%              | -3%                | -2%                      |
| Marrón<br>Laminación                         | 37,16%    | >1000°C    | -3%<br>fisuras   | -3%<br>fisuras     | -12%<br>fisuras, ruptura |
| Pardo<br>Laminación                          | 32,19%    | <900°C     | -4%              | -4%                | -9%<br>ruptura           |
| Rojo oscuro<br>Sin laminación                | 38,00%    | ≤900°C     | -0,3%            | -1%                | -1%                      |
| Pardo-rojo oscuro<br>Laminación              | 32,27%    | ≤800°C     | -2%              | -2%                | -6%<br>ruptura           |

Tabla 3. Tabla resumen que muestra en varios ejemplos de ladrillos, su porosidad, defectos estructurales, alteración y la pérdida de peso media finalizados los ensayos acelerados.

Table 3. Summary table including porosity, structural defects and alteration of several brick specimens. Average weight loss and alteration of brick after durability cycling.

abundante en los de la iglesia de San Miguel que en los de San Bartolomé. Es el defecto por el cual las piezas tienen estructura laminar en el plano perpendicular a la dirección de prensado, UNE 67-019-86. Se produce por la orientación de los minerales laminares de la arcilla, Barahona, E. (1974). El tamaño del cuarzo residual incluido en la pasta, sobre todo en los ladrillos de la Iglesia de San Miguel, no ha impedido la orientación de los minerales de la arcilla, tamaño comprendido entre 160 y 40 micras. La macroporosidad se orienta a favor de esta laminación.

#### Ensayos de alterabilidad

En la tabla 3 se indica la porosidad, Tª de cocción, pérdida de peso media (en porcentaje respecto al peso inicial del ladrillo) y los desperfectos originados en 10 muestras de ladrillo al finalizar los ensayos de envejecimiento artificial acelerado de humedad-sequedad (20 ciclos), heladicidad (25 ciclos) y cristalización de sales (10 ciclos). Los ciclos sucesivos de hielo-deshielo y de cristalización de sales han sido muy agresivos en aquellas probetas con laminación acentuada, provocando finalmente su ruptura.

#### Conclusiones

Los ladrillos que menos se han deteriorado con los ciclos de envejecimiento artificial acelerado son aquellos que se cocieron a temperatura superior a 900°C, a los cuales les corresponde porosidad efectiva comprendida entre el 39% y el 44%. No obstante más del 60% de estos ladrillos tiene porosidad igual o superior al 37% (radio de poro entre 0.1 y 10 micras). Por lo tanto cuanto mayor es la porosidad efectiva y la temperatura de cocción (temperaturas entre 900 y 1000°C) mayor es la resistencia de los ladrillos a la acción destructiva de la humedad, el hielo y las sales (tabla 3).

En general, los ladrillos con más desperfectos son los que tienen porosidad inferior al 37%, aunque las paragénesis minerales diagnostican temperaturas de cocción por debajo y por encima de 900°C. Al finalizar los ensayos acelerados estas probetas o bien se rompen o bien poseen fisuras extensas (tabla 3).

Independientemente de la porosidad, los ladrillos sin defecto estructural de laminación apenas han variado su aspecto externo en los ciclos acelerados. La laminación es más frecuente en probetas

cocidas a temperatura inferior a 900°C, aunque no exclusiva. De hecho, hay ladrillos cocidos a alta temperatura (próxima a los 950°C) con laminación acentuada en los cuales el hielo y la sal han provocado su ruptura por esos planos débiles. Por tanto, ladrillos sin laminación y cocidos a temperatura inferior a 900°C han sufrido menos desperfectos que otros cocidos a mayor temperatura pero con defecto estructural de laminación.

De los tres factores analizados: paragénesis mineral (Tª de cocción), porosidad y defectos estructurales, es la laminación la que más influye en la resistencia de estos ladrillos. Son estructuras débiles, intrínsecas a la naturaleza de estas cerámicas, por las que actúan preferentemente los agentes de alteración mermando la resistencia de las probetas.

#### Agradecimientos

Este trabajo se realizó gracias a la subvención y facilidades otorgadas por la Consejería de Educación, Cultura, Juventud y Deportes del Gobierno de La Rioja, el Instituto de Estudios Riojanos y el Ayuntamiento de Logroño.

#### Referencias

- Barahona, E. (1974): Arcillas de ladrillería de la provincia de Granada: evaluación de algunos ensayos de materias primas. Tesis Doctoral. Univ. de Granada, 398 p.
- Beróiz, C.; Castiella, J.; Del Valle, J.; Ramirez del Pozo, J. (1977): Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. Hoja nº 244. Alfaro. IGME. Hoja y memoria.
- Caro, S. (1994): Ciencias de la Tierra nº16. Gobierno de La Rioja, Instituto de Estudios Riojanos. Logroño, 322 p.
- Pavía, S. (1994): Ciencias de la Tierra nº17. Gobierno de La Rioja, Instituto de Estudios Riojanos. Logroño, 247 p.
- Rilem (1980): Essais recommandés pour mesurer l'alteration des pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement. Matériaux et Constructions, Bull. Rilem, 13 (75).