

## Caracterización de la Fábrica de Ladrillo del Palacio del Infante Don Luis, Boadilla del Monte, Madrid

R. FORT<sup>1</sup>, M. ALVAREZ DE BUERGO<sup>1</sup>, M.C. LÓPEZ DE AZCONA<sup>1</sup>, F. MINGARRO<sup>1</sup>, M.J. VARAS<sup>1</sup>, J. SORIANO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM). Red Temática del CSIC de Patrimonio Cultural (RTPHC)

<sup>2</sup> Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX). Ministerio de Fomento.

Se ha caracterizado la fábrica de ladrillo existente en el Palacio del Infante Don Luis Antonio de Borbón (Boadilla del Monte, Madrid, siglo XVIII), y se ha definido el estado de conservación de los materiales. El ladrillo original es de baja calidad y su paragénesis mineral indica una temperatura de cocción de 750-850°C. Su elevada capacidad de absorción de agua y alta porosidad, son responsables de su alteración y disgregación. El ladrillo de restauración es de mejor calidad, cocido a mayor temperatura (~900°C). En cuanto al mortero original, es un mortero de cal de relación cercana a 1:2; los áridos son pluriminerales y tamaño medio de 1,50 mm. Los morteros de las sucesivas restauraciones se diferencian del original, no en la composición, que es prácticamente la misma a excepción del más moderno, que presenta cemento, sino en la dosificación y en el tamaño de los áridos, así como en el acabado de la junta. El rejuntado de la fábrica de ladrillo original, junto con la presencia de agua (humedades) y la baja calidad del ladrillo debido a una cochura insuficiente y heterogénea, son los responsables del enorme deterioro que sufre el ladrillo.

*Palabras clave:* ladrillo, mortero, degradación, petrofísica, restauración

### Characterization of the brickwork from palace "Infante Don Luis", Boadilla del Monte, Madrid.

Brickwork from the Palacio del Infante Don Luis Antonio de Borbón (Boadilla del Monte, Madrid, 18<sup>th</sup> century) has been characterised, as well as the conservation degree of the materials has been determined. The original brick is of low quality and its mineralogical paragenesis shows firing temperatures of 750-850° C. Its high water absorption capacity and porosity are responsible for its characteristic alteration and disgregation. Restoration brick is of better quality, fired at higher temperatures (~900° C). In relation to the original mortar, it is a lime one, with a relation close to 1:2; aggregates are plurimineral and an average grain size of 1,50 mm. Mortars from following restorations are different from the original ones, not in composition, practically the same with the exception of the most modern mortar which is cement-based, but in their dosification and in the aggregates grain size, as well as in the finishing of the joint. Repointing of the original brickwork, together with the presence of water (dampness), and the low quality of brick due to an insufficient and heterogeneous firing, are responsible of the deterioration the brick undergoes.

*Key words:* brick, mortar, degradation, petrophysics, restoration

## 1. INTRODUCCIÓN

El Palacio del Infante Don Luis Antonio de Borbón (Boadilla del Monte, Madrid) (Fig. 1), fue construido entre 1763 y 1765 por Ventura Rodríguez, habiendo experimentado varias intervenciones a lo largo de su historia. Es Monumento Nacional desde 1974 y actualmente propiedad del Ayuntamiento de Boadilla del Monte. El Palacio, de planta rectangular, posee una superficie de 1620 m<sup>2</sup> y ocupa una finca aterrizada de 67.000 m<sup>2</sup> de superficie (1).

Los principales materiales de construcción del Palacio son la fábrica de ladrillo (ladrillo y mortero de junta), morteros de revestimiento y materiales pétreos (caliza y granito) (2). En este trabajo se ha caracterizado la fábrica de ladrillo, fase indispensable para abordar cualquier tipo de intervención en el conjunto.

## 2. METODOLOGÍA

Para el análisis de los materiales –ladrillo y mortero– se llevó a cabo un muestreo en el que se seleccionaron tanto ladrillos originales como de restauración (11 muestras de ladrillos), y morteros originales y correspondientes a intervenciones posteriores (14 muestras de morteros). La caracterización de la fábrica de ladrillo se realizó mediante el análisis petrográfico y mineralógico del ladrillo y del mortero de junta mediante: difracción de Rayos X (DRX) mediante equipo Phillips PW-1752, tubo de ánodo de Cu, 20 y software de difracción PC-ADP; microscopía óptica de polarización mediante microscopio petrográfico



Fig. 1. Palacio del Infante Don Luis

ZEISS (West Germany), Axioscop; y microscopía electrónica de barrido (MEB) mediante equipo JEOL JSM 6400 con microanalizador de energía dispersiva de rayos X (EDX) Oxford-Link PENTAFET; las muestras se metalizaron con oro. Para la caracterización petrofísica del ladrillo se determinaron las propiedades de porosidad accesible al agua, coeficientes de absorción y desorción de agua, distribución del tamaño de los poros (mediante porosimetría de intrusión de mercurio, equipo Autoscan porosimeter, Quantachrome), coeficiente de capilaridad, color (parámetros cromáticos  $L^*a^*b^*$ , CIE1986, determinados mediante espectrocolorímetro Minolta CM 2002, Color Data Software CM-1, iluminante D65, observador 10°) y velocidad de propagación de ondas ultrasónicas (medidas directas, equipo PUNDIT, C.N.S. Electronics). Los ensayos se realizaron siguiendo las recomendaciones NORMAL -Normativa Manufatti Lapidei, y las recomendaciones de la RILEM.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Ladrillos

El Palacio está construido con fábrica de ladrillo, en su mayoría a tizón, enfoscada y revocada. El ladrillo original es macizo, de dimensiones 28x19x4 cm, comparables a ladrillos utilizados en torno a la misma época (3). Está moldeado a mano y posee una textura heterogranular. Los ladrillos originales se han distinguido inicialmente de los de restauración por diferencias cromáticas y dimensionales. Estos últimos, a veces medios ladrillos, y colocados también en aparejo a tizón, tienen dimensiones variables: unos 21x13x4,5 cm y otros 25x12x4,5 cm. Estos ladrillos presentan aparentemente una mejor distribución granulométrica.

##### 3.1.1. ESTADO DE CONSERVACIÓN

Como resultado del proceso de fabricación se observan, en las piezas originales, alabeamientos, deformaciones y el denominado *corazón negro* (cocción heterogénea). En zonas interiores de la edificación (almacenes, galerías) existe una pérdida superficial del material de hasta 2-3 cms de espesor. En zonas de muros de fábrica de ladrillo de los jardines, ésta se ve afectada por procesos de fisuración verticales, llegando a fragmentar las piezas. Los ladrillos originales son los que se presentan más deteriorados, estando afectados por procesos de fisuración, arenización, descamación, desplazación y pulverización. En muchas ocasiones el ladrillo presenta un mayor deterioro (pérdida de material) en su núcleo respecto al exterior. Puntualmente se ha observado la existencia de eflorescencias salinas de color blanco, generalmente asociadas a un intenso biodeterioro. El ladrillo, y en general los muros de fábrica, presentan zonas de acumulación de agua, generalmente por ascenso capilar en las partes bajas de los muros, en zonas altas, por filtraciones en las bóvedas, así como en zonas de esquina de encuentro entre muros. Las intervenciones en las que se ha introducido fábrica de ladrillo de restauración han provocado un deterioro diferencial, es decir, han acelerado el deterioro de la fábrica de ladrillo original. Asimismo, el rejuntado de ladrillos originales con mortero de cemento, ha acelerado los procesos de degradación de la fábrica de ladrillo original.

##### 3.1.2. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y PETROGRÁFICA

La paragénesis mineral de los ladrillos originales (Fig. 2) está constituida por cuarzo-microclina-albita-ilita-calcita-biotita-moscovita, con mínimas cantidades de wollastonita (ciclowollastonita o pseudowollastonita), gehlenita, diopsido y cal-. Esta mineralogía indica temperaturas de cocción próximas entre 750-850° C (4) (5) (6), mayores en el exterior e inferiores en el interior. La baja temperatura y probablemente el poco tiempo de cochura provoca un grado de vitrificación/sinterización bajo, y lógicamente la mayor alterabilidad de las piezas. Su color rojo, por la presencia de óxidos de hierro (hematites), apunta hacia condiciones oxidantes en el horno. El mayor deterioro del núcleo del ladrillo debe atribuirse a una cochura heterogénea e insuficiente, quedando gran parte de los minerales arcillosos (ilita) sin transformar. Se aprecia un proceso de cementación mediante carbonatos, aunque muchos de los granos minerales terminan desprendiéndose de la masa por falta de sujeción (arenización), aumentando la porosidad, la entrada y circulación de agua al interior, y por tanto su alterabilidad. En una de las muestras de ladrillo original se ha detectado la presencia de halita.

La paragénesis mineral observada en los ladrillos de restauración es: cuarzo-microclina-albita-ortoclasa-biotita-gehlenita-calcita-wollastonita (pseudowollastonita)-diopsido-hematites. Carecen por tanto del componente arcilloso (ilita), y tienen mayor cantidad de wollastonita, gehlenita y diopsido que los originales, indicando temperaturas de

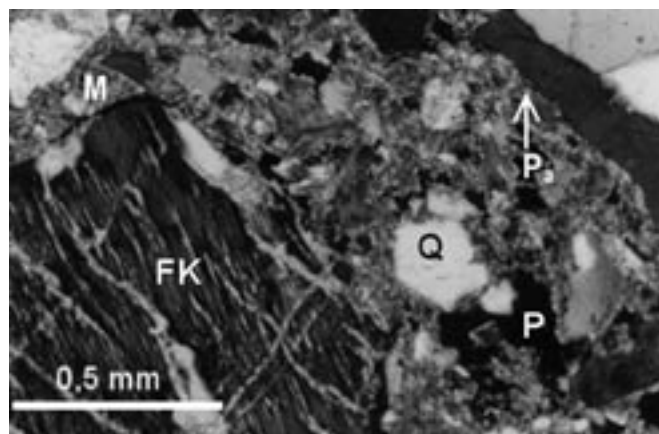


Fig. 2. Ladrillo original al microscopio petrográfico. FK=feldespato potásico; Q=cuarzo; P=poro; P<sub>a</sub>=pella arcillosa; M=matriz arcillosa con muy escasa vitrificación.

cocción algo más elevadas, de 850 y 900° C (incluso >900°C en algunos casos), probablemente con una permanencia en el horno más larga, por lo que el proceso de vitrificación es más intenso y las reacciones más completas. Algunos de los ladrillos de restauración muestran tonos rojo-violáceos muy oscuros (mayor cantidad de óxidos de manganeso) y cocción en medio reductor, tal vez por su disposición en el horno, aunque al final del proceso el fuego es oxidante por lo que presentan una capa externa rojiza.

##### 3.1.3. CARACTERIZACIÓN PETROFÍSICA

Los valores obtenidos para diferentes propiedades petrofísicas determinadas, se recogen en la Tabla I; en la figura 3 se ha representado la cinética de sorción y de desorción de agua de las piezas cerámicas. Los ladrillos absorben el agua muy rápidamente; el trazado de la curva, ascendente y vertical en el primer momento, y luego más horizontal y tendida hasta su estabilización, se debe a que el agua inicialmente rellena los poros más grandes, mientras que en una segunda etapa, los poros grandes están completamente saturados y el agua rellena los poros más finos (7). Durante la desorción, los ladrillos pierden el agua más lentamente en comparación a cómo la absorben: primero se evapora lentamente el agua de los poros mayores, y luego, la contenida en los poros más finos. Pero el total del agua absorbida se evapora en 5 horas, lo que hace que este material sea sensible a los ciclos de humedad-sequedad.

TABLA I. PROPIEDADES PETROFÍSICAS DEL LADRILLO

LADRILLO	Original	Restauración (antiguo)	Restauración (moderno)
Densidad real (Kg·m <sup>-3</sup> )	2533	2530	2599
Densidad aparente (Kg·m <sup>-3</sup> )	1760	1844	1915
Índice de compactabilidad	0.69	0.73	0.74
Absorción agua a 48 horas	13.8	6.9	11.0
Grado de Saturación (%)	83.2	50.9	83.2
Coefficiente de absorción (%)	17.7	15.1	13.7
Porosidad accesible agua (%)	30.5	27.1	26.3
Porosidad accesible Hg (%)	63.4	29.9	15.3
<5µm (%)	54.7	43.2	72.4
>5µm (%)	45.0	56.1	27.2
Coefficiente capilar (Kg·m <sup>-2</sup> ·h <sup>1/2</sup> )	10.5	6.2	6.9
Parámetros cromáticos			
L*	52.63	43.45	51.40
a*	12.61	8.82	20.42
b*	19.35	9.30	22.83
Velocidad ultrasonidos (m·s <sup>-1</sup> )	829	2854	2070
Módulo Young Dinámico (MPa)	1212	15352	9017

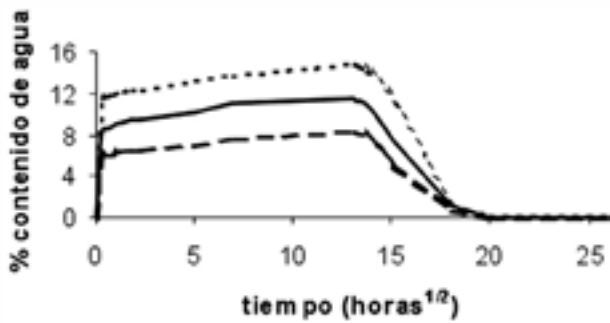


Fig. 3. Curva de sorción-desorción de agua de los ladrillos. Línea de puntos: ladrillo original; línea de trazos: ladrillo de restauración antiguo; línea continua: ladrillo de restauración moderno.

En general los ladrillos analizados poseen un mayor porcentaje de microporos (poros de diámetro  $< 5 \mu\text{m}$ ), que de macroporos ( $> 5 \mu\text{m}$ ), lo que les hace menos durables (8). Las muestras analizadas reflejan su carácter polimodal (0,2, 2-8 y  $20 \mu\text{m}$ ). Los ladrillos cocidos a temperaturas más bajas, presentan una mayor porosidad total, mientras que ésta es menor en los más vitrificados/sinterizados por cocción a temperaturas más elevadas.

### 3.2. Morteros

Respecto al mortero de junta presente en la fábrica de ladrillo, se aprecian dos tipos fundamentales, uno antiguo (original) de color gris con pequeñas pellas blanquecinas, y otro moderno de color claro y perfil resaltado. El espesor de las juntas de mortero en la fábrica es de 2 cm para la fábrica de ladrillo original, y de 1,5 cm para la de restauración.

#### 3.2.1. ESTADO DE CONSERVACIÓN

El mortero de junta de restauración muestra una tendencia a desprenderse, posiblemente debido a la falta de adherencia con el mortero más antiguo y a su mayor rigidez. Puntualmente se han observado enraizamientos de plantas que afectan sobre todo al mortero antiguo. En zonas donde no se han realizado intervenciones de rejuntado el ladrillo se conserva mejor que cuando se ha introducido mortero de restauración, llegando a estar algunas piezas cerámicas, prácticamente voladas y con inminente riesgo de desprendimiento, e incluso produciéndose enormes desplazados de varios centímetros del conjunto fábrica de ladrillo original y rejuntado de restauración, en proceso de desprendimiento, principalmente en zonas de humedad.

#### 3.2.2. CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y MINERALÓGICA

Los áridos que componen ambos tipos de morteros son muy similares. Su composición mineralógica silícea está compuesta principalmente de cuarzo y microclina, seguida de ortoclasa, albita, moscovia y biotita. Los áridos de mayor tamaño son subredondeados, mientras que los finos, son todos angulosos.

La DRX indica que el aglomerante utilizado en los morteros antiguos fue cal, ahora transformada en calcita ( $3.03 \text{ \AA}$ ). La microscopía

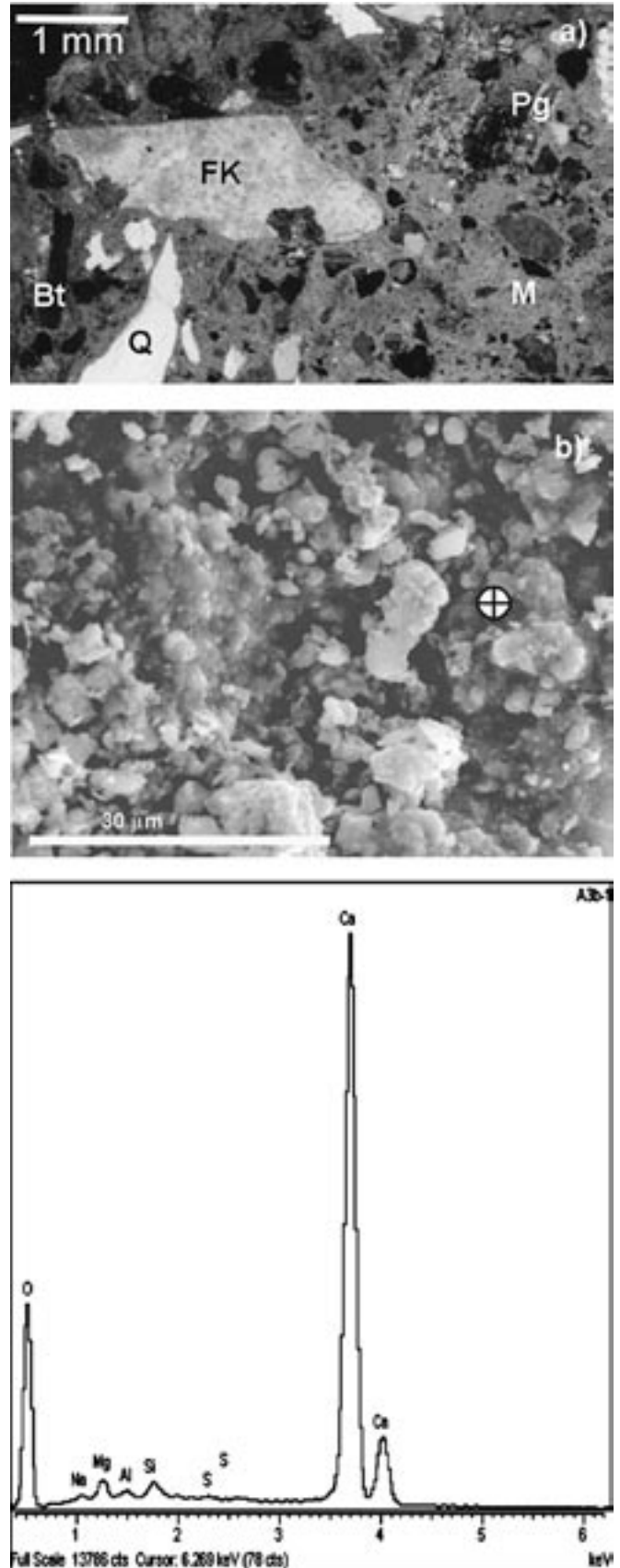


Fig. 4. Mortero de cal. a) Imagen al microscopio petrográfico: Q=cuarzo; FK=feldespato potásico; Bt=biotita; Pg=plagioclasa; M=matriz carbonatada. b) Imagen al microscopio electrónico de barrido. c) Microanálisis de energías dispersivas de rayos X (EDX) del punto señalado en la Fig. 4b.

petrográfica muestra una masa microcristalina sin morfología definida y que aparece en una proporción de 1 a 2 respecto al árido. El tamaño de los áridos a los que rodea es algo superior a 1 mm. El MEB revela un aglomerante formado por morfologías grumosas recubiertas por una película uniforme y los análisis mediante EDX (Fig. 4) corroboran su composición rica en Ca, indicando además un cierto contenido en Mg, lo que apunta a la utilización para la fabricación de esta cal de una materia prima a base de caliza ligeramente magnesiana.

En los morteros de restauración el aglomerante utilizado es el cemento. Desde el punto de vista petrográfico, no se pueden diferenciar ambos aglomerantes, pues el cemento también se presenta como una masa microcristalina sin morfología aparente, que envuelve, en este caso a un árido más fino (0.5-1 mm) y en mayor proporción que el aglomerante (pasta:árido=1:2 a 1:4). La DRX de estos morteros también es similar a la DRX de los morteros antiguos, pues además de aparecer los mismos silicatos (árido), también aparece la calcita, producto en ambos casos de la carbonatación de los aglomerantes. La distinción entre cementos y cal es difícil de establecer con ambas técnicas. En la DRX sólo sería posible esta separación mediante el estudio del intervalo 30-37° (2.97-2.42 Å). En este intervalo aparecen los silicatos cálcicos (alita 32.1Å, 32.5 Å, 34.3 Å; belita 32.1 Å, 32.5 Å, 34.3 Å, 36.7 Å; gehlenita 31.28 Å, 32.8 Å, 35.38 Å, 36.8 Å y rankinita-kilchoanita 30.74 Å, 31.02 Å, 32.9 Å, 33.54 Å), que es la mineralogía representativa de los cementos, aunque en muchos casos puede verse solapada por los feldespatos (32.26 Å, 32.40 Å, 34,4 Å), si estos aparecen en gran cantidad como componente de los áridos. En estos casos, se hacen necesarias las observaciones mediante el MEB y los análisis de EDX para constatar la presencia de los cementos en estos morteros de restauración. A diferencia de la cal, los cementos cuentan con formas cristalinas que definen su mineralogía. Aparecen morfologías fibrosas y aciculares con una composición rica en Ca, Si y Al (Fig. 5), característico todo ello de los silicatos cálcicos, principalmente alita, de un cemento.

Además, la presencia de azufre (S) como elemento contaminante, tanto en los morteros de cal como en los de cementos, definen dos minerales: el yeso (flechas de sulfato cálcico) que aparece en los dos aglomerantes, y la ettringita (bastones de sulfato de Ca y Al; Fig. 5), que sólo aparece en los cementos y como tal también es base de separación entre ambos aglomerantes. Mientras que el yeso puede detectarse perfectamente mediante la DRX y el MEB-EDX, la ettringita se detecta con el MEB-EDX.

#### 4. CONCLUSIONES

- El ladrillo original se fabricó de forma manual, es de baja calidad y temperatura de cocción (750-850° C). El material original, poco seleccionado, parece proceder de una terraza fluvial (río Guadarrama) por alteración de ortogneises y esquistos. Tiene una elevada capacidad de absorción de agua y una porosidad alta. Todo ello favorece su arenización y disgregación por procesos cíclicos de heladicidad, cristalización de sales y humedad-sequedad. El grado de coadura en el interior es menor que en el exterior, provocando un deterioro más acentuado en el núcleo de las piezas que en el exterior. Presenta fisuras y desplazamientos importantes. Cuando no existe humedad, la fábrica de ladrillo se comporta de manera aceptable.
- El ladrillo de restauración está cocido a temperaturas más altas (850-900° C), por lo que está más sinterizado y menos deteriorado que el original, aunque por sus características y estética no son adecuados para la restauración del Palacio. Algunos presentan el núcleo oscuro (*corazón negro*) por haberse producido la cocción en medio reductor.

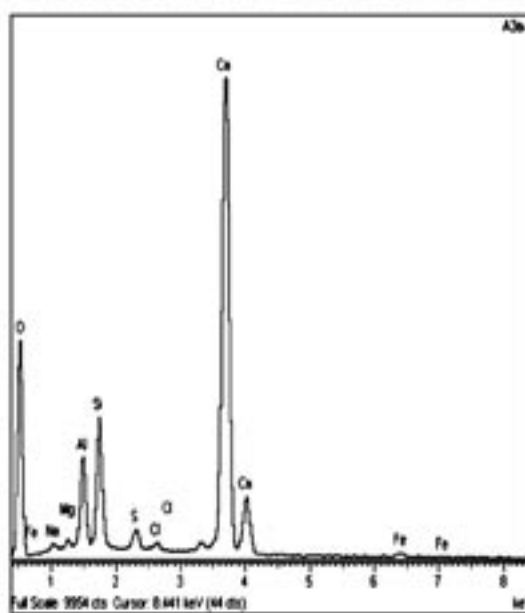
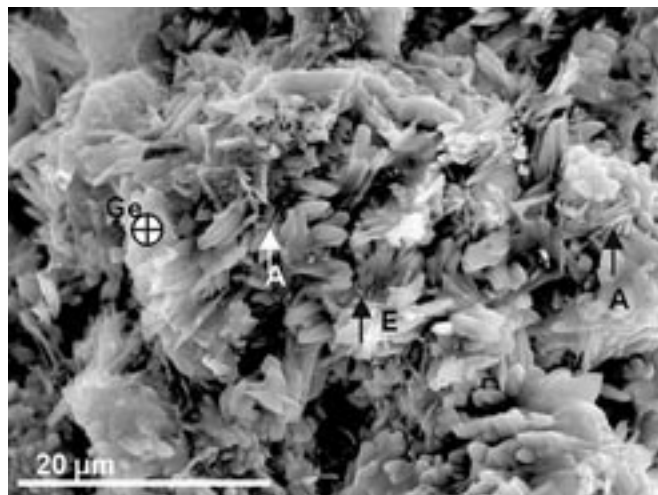


Fig. 5. Aspecto al MEB del mortero de cemento, con su correspondiente análisis EDX señalado con un punto. En general, dominan las formas aciculares y fibrosas de la alita 8A); Ge= gehlenita; E= ettringita.

- El mortero original, utilizado sólo como unión entre las piezas, presenta una relación pasta:árido cercana a 1:2. El árido es sílice, polimineral y con un tamaño medio de grano >1 mm. La pasta es un aglomerante de cal, que de forma macroscópica aparece como pequeños grumos o pellas debido probablemente al espolvoreado de la cal en el momento de la aplicación del mortero para mejorar su adherencia (9).
- Los morteros utilizados en sucesivas restauraciones emplean el cemento artificial como aglomerante. La dosificación de estos morteros oscila entre 1:2 y 1:4 (pasta:árido). El árido empleado también es sílice y polimineral, pero su tamaño medio de grano es ligeramente menor (0.5-1 mm) que en el caso de los áridos de los morteros antiguos de cal.
- Se observa incompatibilidad entre los materiales originales y los de restauración, por su diferente comportamiento físico (porosidad, absorción de agua, etc.), lo que provoca desplazamientos y desprendimientos de la fábrica original rejuntada con mortero de cemento, así como deterioros diferenciales que se manifiestan en una degradación acelerada de los ladrillos originales cuando se

colocan cerca ladrillos de restauración y morteros de cemento.

- El estudio permite concluir que en caso de llevarse a cabo una intervención de restauración, lo más adecuado sería utilizar los materiales originales, ladrillo cocido a la misma temperatura y mortero de cal, para evitar el deterioro que se observa en la actualidad.

## AGRADECIMIENTOS

A la Comunidad de Madrid por la financiación del proyecto 06/0072/2000 y por el disfrute de dos becas postdoctorales (Orden 366/1998; Resolución 02/0280/1998 y Orden 345/2001-01; Resolución Orden Consejería de Educación nº4675/01).

Al Ayuntamiento de Boadilla del Monte (Madrid) por todas las facilidades prestadas para el desarrollo de este proyecto de investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

1. L. Serredi, J.L. Souto. «Jardines del Palacio de Boadilla del Monte. Estudio histórico y propuesta de restauración». Coedición de la Consejería de Edu-

2. M.C. López de Azcona, F. Mingarro Martín, R. Fort González, M. Alvarez de Buergo Ballester. «El Palacio del Infante Don Luis de Borbón en Boadilla del Monte (Madrid): Estudio de los materiales de construcción y su deterioro con vistas a su restauración». I Congreso Iberoamericano del Patrimonio Cultural, 421-425, Madrid (2001).
3. M. Alvarez de Buergo. «Caracterización, alteración medioambiental y restauración en paramentos del patrimonio arquitectónico». Monografía M-58. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Madrid (España). 1997
4. R. Núñez, J. Capel, E. Reyes. «Hidrólisis de materiales cerámicos. Estudio preliminar». Bol. Soc. Esp. Min. 13 [1] 43-44 (1990).
5. T. Sanfeliú, S. Martínez, I. Queralt, C. De la Fuente. «Yacimientos de arcillas terciarias de Castellón con interés cerámico». Congreso Geológico de España, Vol. 2, 271-274 (1988).
6. S. Caro Calatayud, S. Pavía Santamaría, F. Pérez-Lorente. «Influencia de la paragénesis mineral, porosidad y defectos estructurales en la alterabilidad de los ladrillos macizos antiguos». Geogaceta 30, 31-33 (2001).
7. F. Fratini, S. Ceccherini, N. Degl'Innocenti, C. Manganelli del Fà. «Bricks: composition and physical characteristics as a function of the raw materials». Proceedings of the International RILEM/UNESCO Congress "Conservation of Stone and Other Materials", vol. 1, 228-237, E & FN Spon (1993).
8. T. González Limón, M. Alvarez de Buergo. «Las particularidades de los materiales cerámicos» (en Manual de diagnóstico y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos). Colección manuales de diagnosis, vol. 5. Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, 89-106 (1997)
9. I. Gárate. «Artes de la Cal». Ministerio de Cultura. Dirección General de Bellas Artes y Archivos. Madrid, 326 p (1993).

Recibido: 1.2.03

Aceptado: 30.11.03

