

Caracterización mineralógica y química de los ladrillos de la Torre del Oro de Sevilla: una aproximación a la temperatura de cocción y origen de las materias primas

S. LEGUEY*, M.I. CARRETERO*, B. FABBRI**, E. GALÁN*

* Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Sevilla. s/n. 41012 Sevilla

** Istituto di Ricerche Tecnologiche per la Ceramica. C.N.R. 48018 Faenza. Italia

La Torre del Oro es un edificio almohade del siglo XIII de tres cuerpos, con fábrica de ladrillo en el segundo y tercer cuerpo. De acuerdo con el análisis mineralógico se han diferenciado dos grupos de ladrillos. El primero se caracteriza por la presencia de illita y el desarrollo incipiente o nulo de fases de alta temperatura (gehlenita, wollastonita). Presentan coloraciones rojizas y pasta con textura microcristalina. Estos ladrillos se cocieron entre 800-850°C. Para el segundo grupo la temperatura de cocción se encuentra entre 850-900°C, según se deduce de la ausencia de illita y de la presencia en cantidades importantes de gehlenita y wollastonita-diopsido. La pasta es verde oscura e isotrópica, presentando los ladrillos colores claros. El estudio de la evolución de las fases en los ladrillos calentados en el laboratorio a 800 y 900°C concuerda razonablemente con los márgenes de cocción deducidos del estudio mineralógico. La composición química de los ladrillos es muy homogénea y similar a la de los materiales terciarios de la Formación Écija (margas azules) y de ciertos niveles de la Serie de Transición, ambos con afloramientos muy próximos a Sevilla, que pudieron ser empleados para la fabricación de estos ladrillos.

Palabras clave: Torre del Oro, ladrillos, temperatura de cocción, margas azules

Mineralogical and chemical characterization of the bricks from the Torre del Oro, Seville (Spain). An approach to firing temperature and the origin of the raw materials

The Torre del Oro is a Moslem building of three bodies dating from the 13th Century. The second and third bodies are built with bricks. According to mineralogical analysis two main groups of bricks can be established. A first group of bricks contains illite and low amounts of gehlenite and wollastonite. They are reddish and present a microcrystalline matrix. The firing temperature ranges between 800-850°C for this group. Firing temperatures for the second group ranged between 850-900°C, because of the absence of illite, and the presence of important amounts of gehlenite and wollastonite-diopside. They are yellowish and present a green coloured isotropic matrix. Mineralogical compositions of laboratory firing samples at 800°C and 900°C agree reasonably with the estimated firing temperature. Chemical composition presents no differences among the samples, being quite similar to Tertiary sediments from the Ecija Formation (blue marls) and the Transition Series (silt). These materials crop out quite near Seville, and have been traditionally used in the local tile industry.

Key words: Torre del Oro, bricks, firing temperature, blue marls

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años han aumentado las investigaciones dedicadas a ladrillos y morteros empleados en monumentos del Patrimonio Español (1), (2), (3), (4). Estas investigaciones están en línea con los estudios que desde hace años se siguen en otros países europeos sobre estos materiales (5), (6), (7), (8). Estos trabajos han incorporado la metodología y técnicas propias de la caracterización de cerámicas arqueológicas, con un doble objetivo: a) determinar el estado de conservación de los materiales, conocer su origen y definir las diferentes tecnologías de fabricación (aspectos arqueométricos), b) profundizar en el comportamiento de estos materiales frente a los agentes de degradación, con la finalidad de adoptar medidas de protección y restauración apropiadas (9).

La Torre del Oro de Sevilla, construida por los almohades en el siglo XIII (1220-1221) con finalidad defensiva, contiene en su estructura diversos materiales, siendo notable la presencia del ladrillo. En 1931 fue declarada Monumento Nacional y en la actualidad alberga el Museo Naval de

Sevilla. Consta de tres cuerpos, los dos primeros de planta dodecagonal y fábrica almohade, y un tercer cuerpo cilíndrico añadido en 1760. La fábrica del segundo y tercer cuerpo es de ladrillo, y la del primero de sillería y tapial (10).

El segundo cuerpo presenta una decoración de arcos ciegos de ladrillo, que van alternando entre dos tímidos apeados en delgadas columnas también de ladrillo, con otros lobulados cobijados bajo un arco de herradura ultrasemicircular. El tercer cuerpo es más sobrio; en sus muros se abren cuatro ventanales ovalados y está coronado por una cúpula semiesférica de azulejos amarillos. Las únicas diferencias observadas en los ladrillos de los dos cuerpos se deben al color que presentan las piezas, que varía del blanco-amarillento al rojizo, de forma aleatoria.

Los objetivos de este trabajo se centran en la caracterización mineralógica, textural y química de los ladrillos de la Torre del Oro, y en establecer la temperatura de cocción alcanzada en su fabricación. También se pretende estudiar la procedencia de las materias primas empleadas en su elaboración.

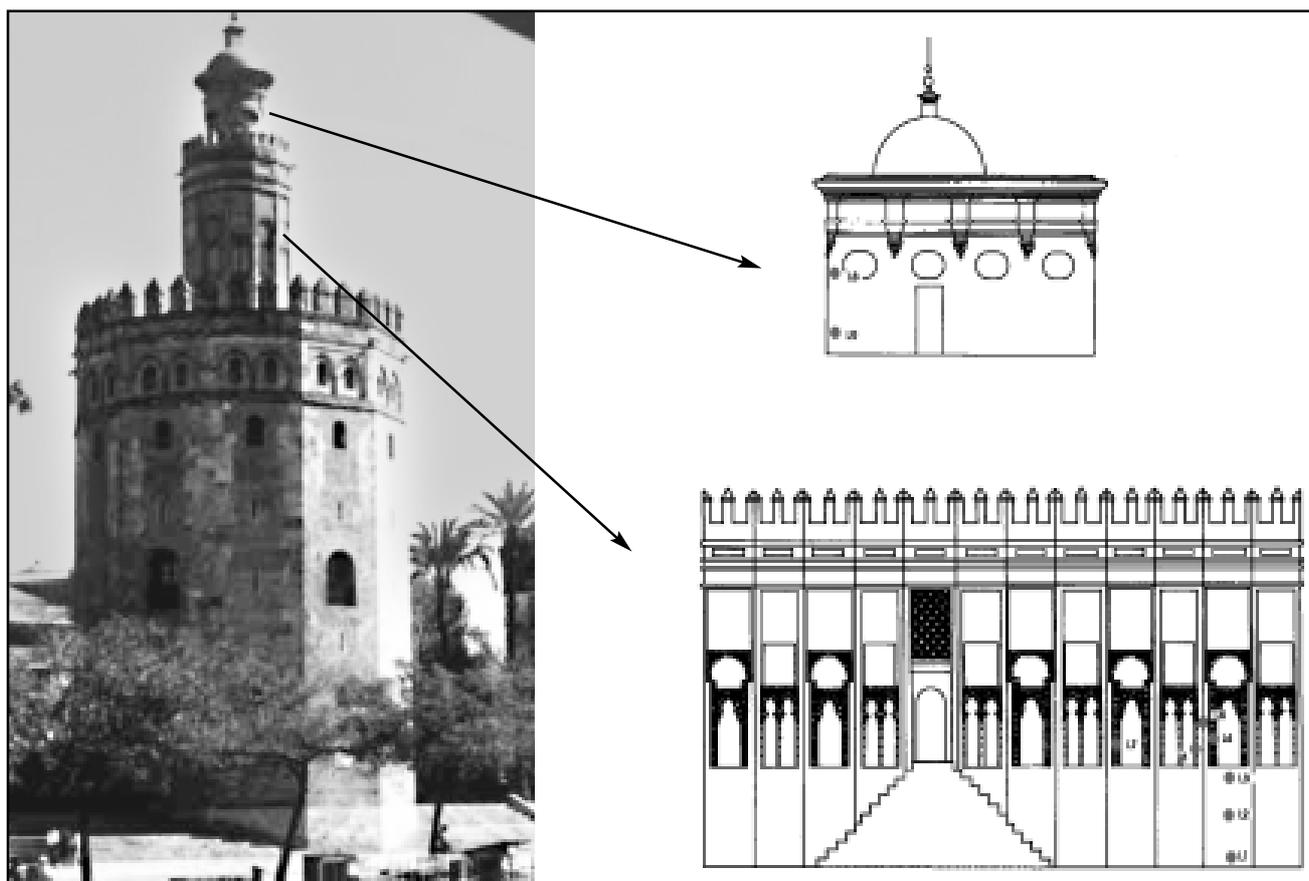


Figura 1. La Torre del Oro de Sevilla. Localización de la toma de muestras

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se han seleccionado para el muestreo nueve ladrillos procedentes de los dos cuerpos superiores de la torre (Fig. 1). Seis de ellos situados en los muros, a distintas alturas y orientaciones (muestras L1, L2, L3, L5 en el segundo cuerpo, y L8 y L9 en el tercer cuerpo), dos muestras procedentes de las pilastras de los arcos del segundo cuerpo (L4, L7) y una muestra correspondiente al fuste de una de las columnas (L6). Las muestras se extrajeron de la parte central del ladrillo, mediante un sacatestigos de 2 cm de diámetro. De acuerdo con la construcción de la Torre, L1 a L7 deben ser ladrillos del siglo XIII y L8 y L9 del siglo XVIII.

La caracterización mineralógico-petrográfica se ha realizado mediante difracción de rayos X (DRX), microscopía óptica (MO) y microscopía electrónica de barrido (MEB). Se ha empleado un difractor Philips modelo PW 1130/90 con rendija automática usando el método de polvo y condiciones standards. La estimación de las concentraciones de las distintas fases identificadas se llevó a cabo sobre la base de las intensidades relativas de los picos de máxima intensidad. El estudio de láminas delgadas se ha realizado con un microscopio Nikon Optiphot con equipo de microfotografía Microflex UFX-IIA incorporado. Para la observación al microscopio electrónico de barrido se ha empleado un equipo JEOL JSM-5400. Los fragmentos de las muestras se metalizaron con oro.

El análisis químico de componentes mayoritarios, minoritarios y traza se ha realizado mediante espectroscopía de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES),

en un equipo Varian modelo Liberty 200. Las muestras se disolvieron mediante ataque triácido (HF , HClO_4 , agua regia). La sílice se ha determinado por gravimetría, previa disolución de la muestra con una mezcla de carbonato sódico-borax y posterior precipitación con gelatina al 2.5% a 70°C .

Con el fin de estimar la temperatura de cocción a partir de los datos mineralógicos, se ha estudiado por DRX la evolución de las fases de alta temperatura de los ladrillos, tras someterlos a calentamientos de 800 y 900°C en un horno Thermolyne Type 46.100, con un gradiente de $2^\circ\text{C}/\text{min}$, y manteniendo 4 horas la temperatura máxima, en atmósfera oxidante.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis mineralógico-petrográfico

El componente predominante en todas las muestras es cuarzo, seguido de calcita que presenta una abundancia media. Los feldspatos están siempre presentes, aunque en menor cantidad. En la mayoría de las muestras aparecen fases de alta temperatura del tipo gehlenita y wollastonita-diopsido, en proporciones variables de unas muestras a otras (Tabla I). El mineral de alta temperatura formado preferentemente es wollastonita, dado el bajo contenido en MgO (Tabla IIa). Como minerales subordinados aparecen yeso, hematites e illita.

TABLA I. COMPOSICIÓN MINERALÓGICA, COLOR Y TEMPERATURA APROXIMADA DE COCCIÓN DE LOS LADRILLOS DE LA TORRE DEL ORO

	Color	Q	Cc	Fto	Wo-Di	Gh	Hem	Gp	I	T°
L1	BLR	++++	++	Tr	-	Tr	Tr	-	-	800-850
L2	AP	+++	++	+	+	+	-	-	-	850-900
L3	BL	+++	++	Tr	+	+	-	-	-	850-900
L4	MP	++++	+	Tr	+	++	-	-	-	850-900
L5	R	++++	++	++	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	800-850
L6	R	++++	++	Tr	-	+	Tr	Tr	Tr	800-850
L7	BL	+++	+	Tr	Tr	+	-	-	-	850-900
L8	AR	++++	+++	+	-	-	-	-	Tr	<800
L9	BL	++++	++	Tr	+	+	-	-	-	850-900

Q: cuarzo; Cc: calcita; Fto: Feldespatos; Wo-Di: wollastonita-diopsido; Gh: gehlenita; Hem: hematites; Gp: yeso; I: illita

Proporciones relativas: +++++, muy abundante; +++, abundante; ++, medio; +, escaso; Tr: traza; -, ausente

Color: BL: blanco; BLR: blanco rosado; R: rojizo; MP: marrón claro; AP: amarillo claro; AR: amarillo rojizo
T°: temperatura aproximada de cocción

TABLA IIA. ANÁLISIS QUÍMICO DE ELEMENTOS MAYORITARIOS Y MINORITARIOS (%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	PC
L1	47,23	10,11	18,30	2,78	4,05	0,80	2,49	0,671	0,128	13,27
L2	49,58	10,13	20,32	2,75	4,10	0,74	1,89	0,682	0,132	9,51
L3	50,92	10,76	18,22	3,06	4,31	0,75	2,04	0,709	0,125	8,62
L4	53,23	10,58	19,51	2,87	4,32	0,88	1,69	0,752	0,152	5,75
L5	50,21	8,77	18,51	2,74	3,61	0,73	1,93	0,631	0,111	12,32
L6	50,97	11,06	18,16	2,88	4,62	0,57	2,21	0,70	0,171	8,75
L7	55,40	9,49	18,40	2,93	3,88	0,72	1,89	0,701	0,137	7,25
L8	50,36	9,02	16,65	2,73	3,69	0,67	1,90	0,657	0,144	14,44
L9	50,37	10,29	19,98	3,11	4,23	0,77	1,77	0,667	0,123	8,66

PC: pérdida por calcinación

TABLA IIB. ANÁLISIS QUÍMICO DE ELEMENTOS TRAZA (PPM)

	Mn	Ba	Sr	Zr	Cr	V	Ni	Y	La	Rb
L1	740	420	410	190	49	430	38	20	28	48
L2	780	460	460	285	42	385	28	23	28	35
L3	820	460	410	240	50	376	32	22	34	27
L4	800	490	420	222	47	344	47	23	23	19
L5	670	430	440	217	30	407	31	22	23	52
L6	860	460	420	190	50	492	41	22	22	65
L7	720	430	400	236	33	406	48	22	25	43
L8	710	410	340	214	32	349	20	20	28	52
L9	780	450	480	205	43	318	36	21	25	63

A partir de los datos mineralógicos se pueden establecer dos grupos de ladrillos. El primero estaría formado por aquellas piezas que presentan un desarrollo incipiente o nulo de fases de alta temperatura y presencia de illita (L5, L6, L8). La coloración de estos ladrillos es rojiza. Dentro de este grupo estaría incluida la muestra L1 en la que no aparece la reflexión de la illita por DRX, pero se ha detectado su presencia por microscopía óptica. Este ladrillo presenta un color blanco rosado. El segundo grupo lo forman aquellos ladrillos que contienen gehlenita y wollastonita-diopsido en proporciones importantes y ausencia de illita (L2, L3, L4, L7, L9), presentando coloraciones claras.

Estos grupos estarían relacionados con la temperatura alcanzada por las piezas durante el proceso de cocción. En el primero la temperatura es relativamente baja ya que perdura la illita, pero es lo suficientemente elevada para que comiencen a formarse fases de alta temperatura. Es lógico atribuir,

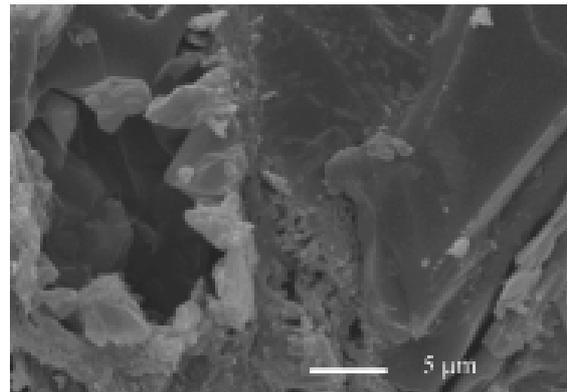


Figura 2. Fotografía al MEB de cristales de calcita de neoformación en un poro de la muestra L5

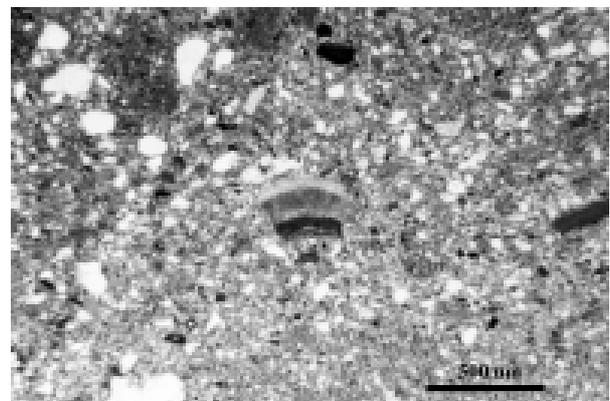


Figura 3. Fotografía al microscopio óptico de restos fósiles detectados en la muestra L8

por tanto, una temperatura máxima de cocción entre 800-850°C. La muestra L8, en la que no se ha detectado wollastonita ni gehlenita, habría alcanzado la menor temperatura de cocción dentro de su grupo, no superando los 800°C (9), (11), (12), (13), (14). Para el segundo grupo, y de acuerdo también con la bibliografía antes citada, la presencia de gehlenita y wollastonita-diopsido en proporciones significativas unido a la ausencia total de filosilicatos indica una temperatura de cocción entre 850-900°C.

En la mayoría de las muestras la presencia de calcita no es significativa para el intento de deducir la temperatura de cocción alcanzada, ya que en parte puede corresponder a calcita secundaria formada por recarbonatación del CaO procedente de la descomposición de la calcita primaria, y no empleado en minerales de neoformación. En efecto se han observado cristales de calcita de neoformación en poros, al microscopio petrográfico y electrónico de barrido (Fig. 2). Por el contrario, en la muestra L8 se ha detectado claramente calcita primaria, apreciándose restos fósiles (Fig. 3). El yeso, presente en algunas muestras, aparece como mineral secundario, incorporado con posterioridad (9).

Respecto al color de los ladrillos, las tonalidades rojizas y rosadas del primer grupo se deben a la presencia de hematites (15), y de otros óxidos de hierro heredados de la materia prima original, habiéndose observado en estos ladrillos una tinción ferruginosa generalizada en lámina delgada. Por otro lado, los colores claros en los ladrillos cocidos a mayor temperatura vendrían dados por la incorporación del hierro a la estructura de los silicatos cálcicos formados durante la cocción (15), (16).

TABLA III. COMPOSICIÓN MINERALÓGICA Y COLOR DE LOS LADRILLOS CALENTADOS A 800°C

	Color	Q	Cc	Fto	Wo-Di	Gh	Hem	I
L1-800	BLR	++++	-	Tr	Tr	++	Tr	-
L2-800	BL	+++	-	++	++	+	-	-
L3-800	BL	+++	-	+	+	+	-	-
L4-800	MP	++++	-	Tr	+	+	Tr	-
L5-800	R	++++	-	Tr	Tr	+	Tr	-
L6-800	R	++++	-	Tr	Tr	+	Tr	Tr
L7-800	BL	+++	-	Tr	Tr	++	-	-
L8-800	R	++++	-	+	Tr	-	-	Tr
L9-800	AP	++++	-	+	+	+	-	-

Q: cuarzo; Cc: calcita; Fto: Feldespatos; Wo-Di: wollastonita-diopsido; Gh: gehlenita; Hem: hematites; I: illita

Proporciones relativas: +++++: muy abundante; ++++: abundante; ++: medio; +: escaso; Tr: traza; -: ausente
Color: BL: blanco; BLR: blanco rasado; R: rojizo; MP: marrón claro; AP: amarillo claro; AR: amarillo rojizo

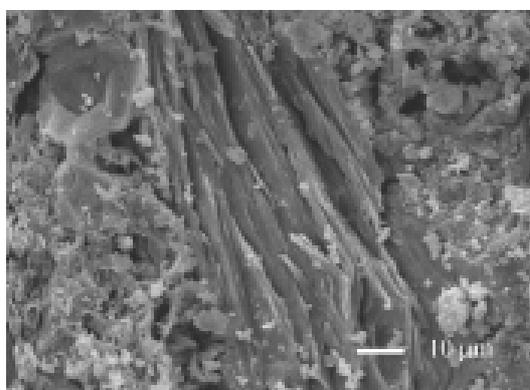


Figura 4. Fotografía al MEB de láminas de mica inalteradas (muestra L8)

La temperatura de cocción deducida anteriormente de la composición mineralógica se ha comprobado estudiando la evolución de las fases minerales con el calentamiento a 800 y 900°C (Tablas III y IV).

Los ladrillos del primer grupo son los que experimentan mayores cambios con la temperatura, evidenciados por la desaparición de la reflexión a 10Å (illita), la formación de wollastonita, y el aumento gradual de la proporción de gehlenita con la temperatura. En el caso de L8 la aparición de gehlenita no tiene lugar hasta el calentamiento entre 800-900°C. La calcita sea neoformada u original, se destruye también a 800°C (4h).

En el segundo grupo se observa un aumento en la proporción de gehlenita y wollastonita a 800°C debido a la reacción que tiene lugar entre la sílice y el CaO liberado en la descomposición de la calcita, descomposición que se ha visto favorecida por las condiciones de homogeneidad y larga duración mantenidas durante el calentamiento experimental. Con el calentamiento a 900°C no se aprecia diferencia sustancial en las proporciones relativas de las fases presentes.

El estudio petrográfico del material original confirma los resultados mineralógicos y pone en evidencia las diferencias texturales existentes entre ambos grupos de ladrillos. El grupo de ladrillo rojizo se caracteriza por presentar una matriz microcristalina de color ocre-rojizo, con abundantes minerales de la arcilla inmersos en la pasta y una tinción ferruginosa importante. Al MEB se ha observado que el grado

TABLA IV. COMPOSICIÓN MINERALÓGICA Y COLOR DE LOS LADRILLOS CALENTADOS A 900°C

	color	Q	Cc	Fto	Wo-Di	Gh	Hem
L1-900	BLR	++++	-	Tr	+	++	Tr
L2-900	BL	+++	-	++	++	+	-
L3-900	BL	+++	-	+	+	+	-
L4-900	MP	++++	-	Tr	+	+	Tr
L5-900	R	++++	-	Tr	Tr	+	Tr
L6-900	R	++++	-	Tr	+	+	-
L7-900	BL	+++	-	Tr	+	++	-
L8-900	R	++++	-	Tr	Tr	Tr	-
L9-900	AP	++++	-	+	+	+	-

Q: cuarzo; Cc: calcita; Fto: Feldespatos; Wo-Di: wollastonita-diopsido; Gh: gehlenita; Hem: hematites

Proporciones relativas: +++++: muy abundante; ++++: abundante; ++: medio; +: escaso; Tr: traza; -: ausente
Color: BL: blanco; BLR: blanco rasado; R: rojizo; MP: marrón claro; AP: amarillo claro; AR: amarillo rojizo

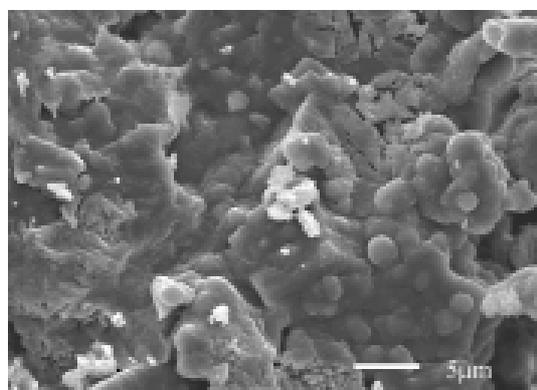


Figura 5. Fotografía al MEB de la muestra L4 donde puede apreciarse un grado de vitrificación avanzado

de vitrificación es bajo, los componentes de la pasta se encuentran prácticamente dispersos o comienzan a unirse por los bordes, y aparecen láminas de mica inalteradas, presentando en general un aspecto parecido al de un sedimento natural, especialmente en la muestra L8 (17) (Fig. 4).

Los ladrillos claros se caracterizan por presentar una matriz heterogénea, de color verde oscuro e isotropa en la que están inmersos cristales de microesparita que le confieren cierta birrefringencia. La pasta presenta nódulos vítreos con grietas asociadas al contorno. Al MEB se observan componentes ligados, con inicio de formación de fases nuevas a partir de las preexistentes, lo que denota un grado de vitrificación más avanzado (Fig. 5).

En todas las muestras el desgrasante es abundante y está formado fundamentalmente por cuarzo de grano fino y feldespatos en proporciones más bajas.

3.2 Análisis químico

La composición química en el conjunto de los ladrillos es muy uniforme (Tabla II). Se trata de muestras con un elevado contenido en calcio, y un contenido en magnesio relativamente bajo. Los elementos traza que aparecen en mayor proporción son el Mn, Ba, V, Sr y Zr, no apreciándose diferencias significativas entre las distintas muestras.

No se han observado variaciones de los elementos anali-

zados en relación con otras propiedades de los ladrillos como el color o la mineralogía. Las diferentes tonalidades de las piezas proceden, por tanto, de diferencias en el proceso de cocción, mientras que la homogeneidad de los datos químicos constatan un mismo origen de la materia prima para todas las piezas.

3.3. Origen de las materias primas

En función de la mineralogía obtenida y del elevado contenido en CaO de los ladrillos, se puede afirmar que la materia prima empleada son arcillas illíticas calcáreas. Este tipo de arcillas pueden encontrarse en sedimentos terciarios próximos a Sevilla. Concretamente las margas azules de la Formación Écija y algunos materiales de la Serie de Transición (18), (19) presentan esta composición (Tabla V), y desde el punto de vista de la composición química son similares a los ladrillos de la Torre del Oro.

Diversos autores han estudiado las características tecnológicas de estos sedimentos terciarios de la margen derecha del Guadalquivir, concluyendo que reúnen buenas cualidades para la obtención de productos cerámicos ordinarios, adicionando como desgrasante materiales arenosos procedentes del aluvial del Guadalquivir. Las buenas características cerámicas que presentan estas arcillas unido a su proximidad a Sevilla justifican que estos materiales puedan haber sido empleados tradicionalmente en la industria cerámica local (14), (19), (20).

4. CONCLUSIONES

Los ladrillos empleados en la construcción del segundo y tercer cuerpo de la Torre del Oro de Sevilla se cocieron en un rango de temperatura comprendido entre 800-900°C, no superando en ningún caso los 900°C.

Las materias primas empleadas en su fabricación fueron arcillas illíticas calcáreas, probablemente procedentes de afloramientos próximos a Sevilla, y que han sido empleadas tradicionalmente en la industria cerámica local.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Grupo de Trabajo RNM135 del PAI (Junta de Andalucía). S. Leguey ha sido becaria del MEC. Se agradece al capitán de navío Cristóbal González-Aller, Conservador-Director del Museo Marítimo Torre del Oro, las facilidades prestadas en la realización de este estudio.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. S. Caro Calatayud. "Piedra, ladrillo y mortero: características y alteración. Alfaro, Calahorra y Logroño". Ciencias de la Tierra, Gobierno de la Rioja, Instituto de Estudios Riojanos, Logroño (Spain), 16, 322 pp., 1994.
2. M. J. de la Torre. "Estudio de los materiales de construcción en la Alhambra". Monográfica Arte y Arqueología, Universidad de Granada - IAPH (Spain), 28, 213 pp., 1995.
3. M. Álvarez de Buergo. "Caracterización, alteración medioambiental y restauración en paramentos del patrimonio arquitectónico". CEDEX, Ministerio de Fomento, Madrid (Spain), 303 pp., 1997.

TABLA V. ANÁLISIS QUÍMICO DE ELEMENTOS MAYORITARIOS Y MINORITARIOS (%) DE LA FORMACIÓN ECIJA Y DE LA SERIE DE TRANSICIÓN (18), Y DE LOS LADRILLOS DE LA TORRE DEL ORO

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	PC
Formación Écija n=11	54.46	10.22	14.57	2.05	4.25	0.46	1.74	0.71	15.95
Serie de Transición n=10	51.66	8.29	14.96	2.21	3.34	0.39	1.66	0.58	16.91
Ladrillos Torre del Oro n=9	50.91	10.02	18.67	2.87	4.09	0.74	1.98	0.69	8.84

PC: pérdida por calcinación

4. E. Galán, F.J. Alejandro, S. Leguey, M.I. Carretero. "The mortars of the Torre del Oro (Seville, Spain)", pp. 97-99 en *Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities (5th Int. Symp. on Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin)*. Ed. E. Galán, Universidad de Sevilla (Spain) 2000.
5. M. Gargiulo Riccio. "Les diferentes formes macroscopiques de l'alteration des monuments en brique de Toulouse. Implications petrophysiques et mineralogiques". Tesis Doctoral, Universidad Paul Sabatier, Toulouse (France) 1999.
6. B. Fabbri. "About the clay used for the majolica altar of S. Cristina Church in Bolsena (Central Italy)". *Miner. Petrogr. Acta*, XXXV-A, 161-170 (1992).
7. C. Sabbioni, C. Riontino, O. Favoni, G. Zappia. "Weathering of pozzolan mortars in ancient roman monuments", pp. 140-141 en *Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities (5th Int. Symp. on Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin)*. Ed. E. Galán, Universidad de Sevilla (Spain) 2000.
8. M. Pearce, S. Meloni, M. Setti, N. Genova, M. Oddone, A. Muggia. "A multidisciplinary investigation of Roman bricks from the Torre Civica, Pavia (NW Italy)". *Science and Technology for Cultural Heritage*, 5 (2), 19-27 (1996).
9. F. Veniale. "Modern techniques of analysis applied to ancient ceramics", pp. 1-63, en *Advanced Workshop: Analytical Methodologies for the Investigation of Damaged Stones*. Ed. F. Veniale & U. Zezza, Pavia (Italy) 1990.
10. T. Falcón Márquez. "La Torre del Oro". *Arte Hispalense*, 35, 137 pp., Sevilla (Spain), 1983.
11. T. Peters, R. Iberg. "Mineralogical Changes During Firing of Calcium-Rich Brick Clays". *Ceram. Bull.*, 57 (5), 503-509 (1978).
12. E. Barahona, F. Huertas, A. Pozzuoli, J. Linares. "Firing properties of ceramic clays from Granada Province, Spain". *Miner. Petrogr. Acta*, 29-A, 577-590 (1985).
13. J. Capel, F. Huertas, J. Linares. "High temperature reactions and use of Bronze Age pottery from La Mancha, Central Spain". *Miner. Petrogr. Acta*, 29-A, 563-575 (1985).
14. M. C. González Vilchez, F. González García, G. García Ramos. "Materias primas y datos tecnológicos de piezas cerámicas antiguas del yacimiento arqueológico de Cerro Macareno (Sevilla)". *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.*, 24 (3), 173-186 (1985).
15. R. Kreimeyer. "Some notes on the firing colour of clay bricks". *App. Clay Sci.*, 2, 175-183 (1987).
16. J. Molera, T. Pradell, M. Vendrell-Saz. "The colours of Ca-rich ceramic pastes: origin and characterization". *Appl. Clay Sci.*, 13, 187-202 (1998).
17. I.C. Freestone, A.P. Middleton. "Mineralogical applications of the analytical SEM in archaeology". *Mineralogical Magazine*, 51, 21-31 (1987).
18. E. Galán, J.L. Pérez Rodríguez, M.G. Díaz, I. González, C. Maqueda, A. Polvorinos, J. Rodríguez, J. Ruíz. "Geología de Sevilla y alrededores y características geotécnicas de los suelos del área urbana" Ayuntamiento de Sevilla, Sevilla (Spain), 225 pp., 1989.
19. F. González García, G. García Ramos. "Arcillas cerámicas de Andalucía: III. Yacimientos terciarios de la margen derecha del Guadalquivir, en la provincia de Sevilla". *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.*, 5 (2), 229-245 (1966).
20. F. González García, G. García Ramos, V. Romero Acosta, M. González Rodríguez. "Arcillas empleadas en la fabricación del azulejo artístico de Sevilla. Propiedades y transformaciones por cocción. I. Materiales que contienen carbonato de calcio". *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.*, 27 (4), 215-223 (1988).

Recibido: 12.05.00

Aceptado: 12.11.01