

lor, y su concentración, que varía según sean las diferentes localizaciones de las canteras, da origen a una serie de alberos con distintos niveles de claridad.

La explotación del albero en la comarca de Los Alcores (principalmente en las localidades de Alcalá de Guadaíra, Dos Hermanas y Carmona), se ha realizado tradicionalmente en canteras a cielo abierto, al no existir monteras de mucho espesor, y por que éstas están constituidas por materiales bastante sueltos (arenas y gravas), que las hacen fácilmente removibles. Respecto a la extracción, ha habido una evolución desde los sistemas manuales del pasado, hacia un aumento progresivo del grado de mecanización en la actualidad (p.ej.: el empleo de palas excavadoras para arrancar el albero, suficientes al tratarse de una formación blanda y de gran continuidad, y de molinos mecánicos para la trituración).

LA CAL PROCEDENTE DE ALBERO

La obtención de cal a partir de albero ha sido una práctica tradicional en Los Alcores, que a partir de la década de 1950-1960, y coincidiendo con la extensión y popularización del cemento, empezó a caer en desuso, llegando a estar a punto de la desaparición en nuestros días.

La fabricación de cal de albero, que se ha hecho artesanalmente en caleras de tipo «moruno» (figura 1), utilizando como combustible carbón vegetal y leña (se pueden observar restos inquemados en los morteros antiguos de esta cal), daba lugar a una *cal* «basta» de un característico color que solía oscilar entre rosagrisáceo y rojo teja oscuro.



Figura 1.
Hornos de cal de albero en desuso (Alcalá de Guadaíra, Sevilla)

Dada la naturaleza caliza del albero, es posible la obtención de cal a partir de él por medio de la conocida descomposición térmica del carbonato cálcico entre 800 °C y 1.000 °C, para dar lugar al óxido de calcio o cal viva. No obstante, la presencia de otros minerales como el cuarzo, la goethita y minerales de la arcilla, podrían dar lugar durante el proceso de calcinación a la formación de algún tipo de compuestos hidráulicos, que proporcionarían un leve carácter hidráulico a esta cal.

En virtud de lo anterior, se consideró de interés, la realización de una caracterización mineralógica de la cal de albero¹ (figura 2), que ha puesto de manifiesto el carácter hidráulico de esta cal al identificarse en ella la presencia del mineral brownmillerita. Este nombre hace referencia a un compuesto con la fórmula $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$ o C_4AF (en nomenclatura de química de cementos), que es conocido en este campo como ferrito aluminato tetracálcico o celita. El C_4AF es uno de los términos de la llamada fase ferrítica del cemento y con carácter hidráulico, ya que reacciona con el agua para dar un hidrato hexagonal $((\text{C}_4\text{AF})\text{H}_6)$ estable e insoluble en agua. La velocidad de hidratación es lenta y regular, desprendiendo un bajo calor. El hidrato formado, apenas contribuye en al desarrollo de resistencias mecánicas en los cementos, pero si aporta resistencias químicas.

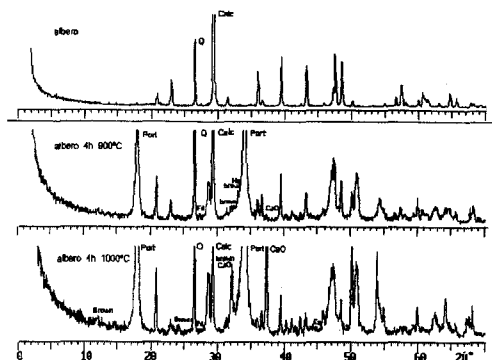


Figura 2.
Diagramas de DRX de polvo de albero sometido a tratamiento térmico a 900 °C y 1.000 °C. Se asignan las reflexiones de mayor intensidad y más características. Abreviaturas: Calc = calcita, Q = cuarzo, Port = portlandita, He = hematites², CaO = cal viva, Brown = brownmillerita, Fd = feldespatos y Es = espínela.

La presencia del C_3AF en la cal de albero nos confirma la hipótesis de que esta cal era hidráulica, aunque muy probablemente con una hidráulidad débil, tanto por el tipo de compuesto formado, como por el contenido máximo del mismo, que está limitado por el contenido de hierro en el albero de partida (en torno al 2% de Fe_2O_3).

LOS MORTEROS ANTIGUOS DE ALBERO

Una de las actividades constructivas habituales en la antigüedad en los pueblos de Los Alcores ha sido la utilización del albero como árido para la fabricación de morteros y «hormigones³» de cal de albero/cal aérea y albero, de tal forma que si observamos cualquier derribo de una edificación con más de unos 50 años, podemos constatar la presencia de albero en los hormigones de sus cimientos y sus muros, en los morteros de revestimiento y hasta en el mortero pobre empleado para el asentamiento de las tejas (figuras 3 y 4).

Como características generales de estos morteros, se puede decir que han ofrecido unos resultados constructivos satisfactorios, presentando estabilidad dimensional frente a los cambios térmicos, elevadas resistencias mecánicas en las zonas húmedas y poseer un color resultado de la mezcla del rojo-rosáceo de la cal de albero, el ocre del albero o marrón de la arena.



figura 3.
Morteros de albero en muros y en revestimientos



figura 4.
Morteros de albero en muros y en revestimientos

LOS MATERIALES

Como se viene haciendo referencia a lo largo del trabajo, los materiales empleados para su fabricación según la tradición oral han sido: cal de albero, cal aérea, albero con diferentes granulometrías y arena de río. Las mezclas más frecuentes para los morteros más antiguos eran las de cal de albero y albero, y la misma cal con arena de río. Posteriormente se introdujo la cal aérea, proveniente fundamentalmente de la localidad de Morón de la Frontera (Sevilla). Las dosificaciones más usuales fueron la 1:2 y 1:3, dependiendo del fin de los morteros y de la calidad de la cal.

TIPOLOGÍAS

Los morteros estudiados proceden de edificaciones de los municipios de Alcalá de Guadaíra (Sevilla) y Dos Hermanas (Sevilla), con unas edades que se puede situar dentro de la primera mitad del presente si-

glo. Se han clasificado en cuatro grupos distintos atendiendo a sus funciones constructivas (figura 5):

- M1) Mortero de cimientos
- M2) Mortero de enlucido
- M3) Mortero de enfoscado de relleno de revestimiento
- M4) Mortero de enfoscado o guarnecido

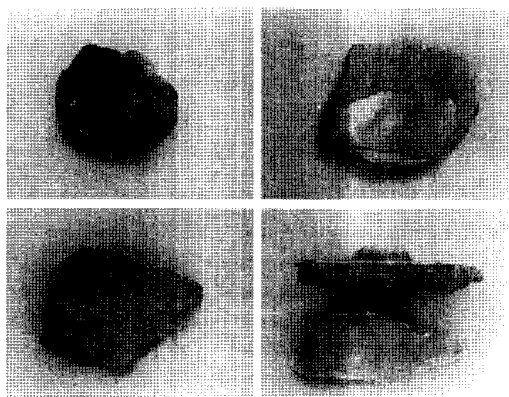


Figura 5.
(*Sup. Izda.*) Mort. de cimientos (M1). (*Sup. Dcha.*) Mort. de enlucido (M2). (*Inf. Izda.*) Mort. de enfoscado de relleno (M3). (*Inf. Dcha.*) Mort. de enfoscado o guarnecido (M4)

ANÁLISIS QUÍMICO

El análisis químico de elementos mayoritarios efectuado a las muestras representativas de los cuatro tipos de morteros antiguos estudiados, y de dos fabricados como referencia, ofrece los siguientes resultados expresados en porcentaje en peso (Tabla 1):

Tabla 1. Resultados del análisis químico de los morteros antiguos.

Morteros	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ ⁼ (%)	Pérdida a 1.000 °C (%)	Suma (%)
MREF ⁴ 1:3	88,2	0,0	0,0	6,2	0,6	0,0	4,9	99,9
MCAL ⁵ 1:3	13,4	0,6	1,7	45,5	0,8	0,0	38,1	100,1
M1	60,6	2,0	2,0	16,7	0,1	0,3	16,1	97,8
M2	50,4	2,6	1,1	23,3	1,6	0,4	19,2	98,6
M3	35,4	1,1	1,0	32,9	0,1	0,1	28,1	98,7
M4	23,3	2,8	1,0	39,1	0,3	0,4	31,9	98,8

Las conclusiones más significativas que se han extraído son:

— La clasificación de los morteros antiguos dentro de dos grupos: el primero formado por los morteros M1 y M2, caracterizados por altos contenidos de sílice, bajos de óxido de calcio y menores pérdidas por calcinación, y el segundo, formado por los morteros M3 y M4, que se caracterizan por menores contenidos sílice, mayores de óxido de calcio y mayores pérdidas que los anteriores. Se podría decir, por lo tanto, que el primer grupo de morteros está más cercano a la composición del MREF, y que el segundo lo está más del MCAL. Ni que decir tiene, que la aproximación realizada es de carácter orientativo, debido a la existencia de amplios márgenes en los valores de los distintos elementos y a la multitud de composiciones mineralógicas que pueden tener cabida dentro de ellas.

— Los bajos contenidos en azufre (en forma de SO₃⁼) pone de manifiesto que no se utilizó yeso para su fabricación.

— Los contenidos de óxido de magnesio han sido bajos, excepto para la muestra M2, para la que ha sido mayor. El contenido en este elemento se puede asociar a la presencia de dolomita o a los minerales de la arcilla.

ANÁLISIS MINERALÓGICO POR DRX

En este apartado se exponen los minerales identificados mediante DRX de polvo en los distintos morteros (Tabla 2). Nótese que se ha incluido el color de la muestra como propiedad orientativa de su mineralogía, así los tonos rojo-rosáceos se pueden asociar a la presencia de hematites, y por consiguiente, a la de cal de albero, y los tonos ocres, a la de goethita del albe-

Tabla 2. Composición mineralógica de los morteros de cal y albero.

<i>Morteros</i>	<i>Minerales</i>	<i>Color</i>	<i>Materiales</i>
MREF ⁶ 1:3	Cuarzo, calcita	Blanco	Cal aérea-arena
MCAL ⁷ 1:3	Calcita, cuarzo, goethita	Ocre	Cal aérea-albero
M1 Cimientos	Cuarzo, calcita, Vaterita, hematites?	Rosa-marrón	Cal de albero-arena
M2 Enlucido	Calcita, cuarzo, Hematites y dolomita	Rosa-marrón	Cal de albero-arena
M3 Enfoscado	Calcita, cuarzo, Goethita y dolomita	Ocre	Cal aérea-albero
M4 Enfoscado	Calcita, cuarzo, Goethita y dolomita	Ocre	Cal aérea-albero

ro. Si el color ocre es «puro», muy probablemente la cal utilizada en el albero es aérea, mientras que si tiene mezcla con cal de albero será un ocre-rosáceo.

En general, la composición ha sido bastante sencilla y ha coincidido con los resultados previsibles. Sólo se ha de destacar la presencia de vaterita, una variedad esferulítica del $\mu\text{-CaCO}_3$, que procede de la cristalización de disoluciones de carbonato de calcio en determinadas condiciones, y la de dolomita (carbonato cálcico-magnésico) que se puede encontrar como mineral minoritario en algunas muestras de albero.

PROPIEDADES FÍSICAS

Las principales propiedades físicas que se han podido determinar en los morteros antiguos con un tamaño de muestra adecuado, se detallan en la tabla 3.

De los anteriores resultados se han de destacar los buenos valores de resistencia a compresión que han ofrecido los morteros M1 y M3, y a flexión el M1, superiores a la de los MCAL fabricados en la presente investigación, y que pueden tener su origen tanto en la completa carbonatación de la cal (ensayo de la fenoltaleína), como en el empleo de dosificaciones más ricas en cal que la 1:3 de los MCAL. En cuanto a la porosidad accesible al agua que han presentado las muestras de M1, M3 y M4, ha sido ligeramente superior a la de los MCAL.

Finalmente se debe hacer hincapié en el carácter general y orientativo de los resultados referentes a los morteros antiguos estudiados. Para la realización de una caracterización más completa y precisa de estos morteros, sería necesario comenzar con un muestreo adecuado de los mismos, la ampliación del rango de elementos químicos analizados, analizar la

Tabla 3. Algunas propiedades físicas de los morteros antiguos de albero

<i>Morteros</i>	<i>Resistencia a compresión (N/mm²)</i>	<i>Resistencia a flexión (N/mm²)</i>	<i>Porosidad (Rilem) %</i>	<i>Permeabilidad al agua (cc/10mi)</i>
MREF 1:3 1 año	1,6-1,7 ⁸	0,8-0,9	26,3-27,7	3,8-4,0
MCAL 1:3 1 año	1,0-1,7	0,4-0,6	30,9-32,8	2,2-3,6
M1	2,9	1,3	34,9	2,3
M2	—	—	—	—
M3	2,7	—	34,5	4,7
M4	—	—	40,1	—

mineralogía de la fracción menor de 2 micras, el empleo de técnicas como el examen mineralógico-petrográfico o la porosimetría de mercurio, etc. Todo ello se enmarca dentro de futuras líneas de investigación cuyo objetivo principal sería profundizar en el conocimiento de estos morteros tradicionales.

NOTAS

1. La caracterización se ha llevado a cabo mediante la cocción de muestras de albero cernido a temperaturas entre 900 °C y los 1.000 °C¹, al no disponer de muestras de cal por haberse dejado de fabricar en nuestros días. La identificación de las nuevas fases de alta temperatura formadas, se ha realizado mediante DRX con la técnica de polvo, utilizando el programa informático P.L.V. para el tratamiento de diagramas y su identificación.
2. 2FeOOH (goethita) + calor (230 °C – 280 °C) \Rightarrow Fe_2O_3 (hematites) + H_2O .
3. Para la fabricación del hormigón se hacía un mortero a base de cal de albero y arena o albero cernido como árido fino y como árido grueso se introducían los fragmentos más grandes del albero (lumaquellas) constituyendo una especie de *Opus caementicium* romano.
4. Mortero de referencia de cal aérea y arena normalizada CEN EN 196-1 de dosificación 1:3
5. Mortero de cal aérea y albero cernido (T máx. < 5mm) de dosificación 1:3.
6. Mortero de referencia de cal aérea y arena normalizada CEN EN 196-1 de dosificación 1:3
7. Mortero de cal aérea y albero cernido (T máx. < 5mm) de dosificación 1:3.
8. El primer valor corresponde a una consistencia seca de 138 mm, el segundo a una consistencia plástica de 185 mm.

BIBLIOGRAFÍA

AENOR. Norma UNE 80-101 (1988). *Métodos de ensayo de cementos. Determinación de las resistencias mecánicas*.

AENOR. Norma UNE 83-821 experimental (1992). *Morteros. Métodos de ensayo. Morteros endurecidos. Determinación de las resistencias a flexión y a compresión*.

Alejandre, J. (1997). *«El albero como árido para la fabricación de morteros de color»*. Tesis Doctoral, Dpto.

Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla, 255 pp.

Alejandre, J.; Barrios, J.; Ramírez de Arellano, A. (1996). *«Propiedades mecánicas de los morteros de cal y albero/cal y arena con adición de humo de sílice»*. Cap. de libro de comunicaciones del III Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación. CEHOPU - CEDEX y la Universidad de Granada. Editores: E.M. Sebastián Prado, I.Valverde Espinosa y U. Zerza. Granada, 328-331 pp.

Barrios Sevilla, J. (1975). *«Preparación y estudio de un cemento pas a partir de albero de Alcalá de Guadaira»*. Tesis Univ. Sevilla, 204 pp.

Brindley, G. W.; Lemaitre, J. (1987). *«Thermal, Oxidation and Reduction Reactions of Clay Minerals»*. En: Chemistry of Clay Minerals, Mineralogical Society Monograph no.6. Edit. A.C.D. Newman. 319-371 pp.

Brown, G. (1980). *«Associated Minerals»*. En: Crystal Structures of Clay Minerals and their X-Ray Identification. Mineralogical Society. London. 495 pp.

Galán Huertos, E.; Pérez Rodríguez, J. L.; Díaz Estévez, M. G.; González Díez, M. I.; Maqueda Porras, C.; Polvorinos del Río, A.; Rodríguez Vidal, J.; Ruiz Carvajal, J. (1989). *«Geología de Sevilla y características geotécnicas de los suelos del área urbana»*. Ayuntamiento de Sevilla.

García-Ruiz, J. M.; Amorós, J. L. (1980). *«Sobre la precipitación polimórfica del carbonato cálcico»*. Estudios geológicos, 36, 193-200.

González Díez, I. (1986). *«Estudio geológico del área de Sevilla y sus alrededores»*. Tesis Univ. Sevilla, 289 pp.

González Díez, M. I.; Galán Huertos, E.; Cornejo Suero, J. (1992). *«Estudio geológico y valoración del impacto ambiental en el municipio de Alcalá de Guadaira»*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Serie: Ciencias n.º 31. Universidad de Sevilla.

Peroni, S.; Tersigni, G.; Torraca, G.; Cerea, S.; Forti, M.; Guidobaldi, F.; Rossidoria, P.; De Rege, A.; Picchi, F. J.; Pietrafitta, G.; Benedetti, G. (1981). *«Lime based mortars for the repair of ancient masonry and possible substitutes»*. Mortars, Cements and Grouts used in Conservation of Historic Buildings. Symposium 3-6. 11. Roma.

Rilem (1973). *«Essais recommandés pour mesurer l'altération des pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement»*. Commission 25-PEM, Protection et Érosion des Monuments. Doc. PEM 73/10.

Taylor, H. F. W. (1967). *«La química de los cementos»*. Enciclopedia de la química industrial, volumen 1. Ediciones Urmo. Bilbao, 473 pp.