

## MORTEROS COMO ELEMENTOS DE ESTUDIO EN ARQUEOLOGÍA-ARQUEOMETRÍA MEDIEVAL\*

JOSÉ FRANCISCO RODRÍGUEZ GORDILLO  
UNIVERSIDAD DE GRANADA

\* Las investigaciones ejemplificadas han contado con la subvención del Grupo de Investigación RNM 179 de la Junta de Andalucía. Los datos analíticos han sido obtenidos con los equipamientos del Departamento de Mineralogía y Petrología, y el Centro de Instrumentación Científica, ambos de la Universidad de Granada.

Los materiales duraderos elaborados o manipulados por el hombre constituyen una importantísima fuente de información, en ocasiones, única sobre la época o periodo en que se elaboraron.

Dentro de este apartado, los materiales constructivos, y en concreto los morteros, han permitido a arqueólogos e historiadores la obtención de datos de enorme trascendencia en sus investigaciones.

Los morteros, como material constructivo, son un producto genuinamente representativo de la inventiva del ser humano, y de la evolución del nivel de sus conocimientos científicos y técnicos. Constituyen un claro ejemplo de aprovechamiento de los recursos más accesibles o disponibles con el objetivo de resolver determinados problemas de índole constructiva.

Se trata de un producto cuyo uso, con las consiguientes modificaciones o evoluciones, se ha extendido desde periodos prehistóricos hasta la actualidad y, por supuesto, forma una parte importante de la metodología constructiva en el Medioevo. Constituye por tanto un elemento de estudio imprescindible por el conocimiento histórico y arqueológico de la Edad Media.

Pretendo transmitir aquí qué datos desde el campo de las ciencias experimentales en general, y de la Mineralogía Aplicada en particular, pueden ser extraídos del estudio de los morteros que sean útiles para las investigaciones citadas.

Es muy importante además, y mi intención, ofrecer un panorama lo más realista posible de este campo, sus luces y sombras, sus auténticas posibilidades.

Desde el campo de la Mineralogía Aplicada los datos que obtenemos del estudio de los morteros son fundamentalmente de tipo geoquímico: naturaleza química y mineralogía de las fases constituyentes, dosificaciones, granulometrías, texturas y formas, componentes mayoritarios y minoritarios, grado de cristalinidad. Son datos que, en principio, pueden aportar información sobre la procedencia (autoctonía o no) de los constituyentes, el grado de conocimiento o el nivel de eficiencia técnica, el uso, e incluso la datación cronológica.

Un mortero es un agregado artificial de varios componentes para uso constructivo, ya sea con una función estructural en sentido estricto, o para unir y/o revestir otros elementos de fábrica.

El mortero, como elemento constructivo es, en términos generales, el producto de un lugar y de una época, dado que su elaboración y empleo implicaba el conocimiento y la

selección cuidadosa de las materias primas disponibles, y saber sus funciones y su compatibilidad con los demás elementos de fábrica.

Por tanto, cada tipo de mortero debe responder evidentemente a un entorno, por lo que respecta a su composición, y a un nivel de conocimientos —época— en cuanto a sus características técnicas.

Ciñéndonos al caso de «morteros antiguos», que son los de interés arqueológico, podemos definirlos como una mezcla de un aglomerante o cemento inorgánico (arcillas, yeso, cal, etc.), áridos y agua. Frecuentemente puede contener otros componentes inorgánicos u orgánicos (aditivos) con objeto de mejorar sus prestaciones, o dotarlo de otras específicas.

No obstante, y antes de describir la evolución de este tipo de materiales constructivos a lo largo del tiempo, así como algunas de las características según épocas de los mismos, interesa recordar al menos algunos conceptos generales:

### *Componentes*

Aglomerante o cementante, áridos, y agua. Frecuentemente también otros aditivos inorgánicos u orgánicos.

### *Aglomerante*

Es la sustancia o sustancias que sirven de unión. En morteros antiguos es barro, cal, yeso, o mezclas de éstos. La cal puede ser aérea, obtenida por la calcinación de rocas carbonáticas cálcico-magnésicas, con un contenido en arcillas inferior al 6%, o hidráulica, obtenida calcinando a altas temperaturas (1.000-1.300 °C) calizas mezcladas con arcillas, o que contienen hasta un 20% de sílice y/o alúmina.

En el caso de los morteros de barro de la antigua Mesopotamia, este aglomerante suele aparecer mezclado con materiales bituminosos (asfalto, alquitranes, etc.). Interesa estudiar el grado de cristalinidad, el tamaño de grano de la matriz cementante y el tipo de unión con los áridos.

### *Árido*

Material pétreo natural (arenas, gravas, etc.) o procedente del machaque de material de cantera. Son materiales granulares que no contribuyen de forma activa al endurecimiento del mortero, pero estabilizan su volumen, hacen de relleno y disminuyen la retracción durante el secado. Interviene en las reacciones químicas e influye en propiedades tan importantes como la compacidad y plasticidad. Dependiendo de su tamaño tenemos morteros (árido más o menos fino según usos), y hormigones (con árido grueso y fino). Por lo que pertenece el estudio de morteros, en relación a los áridos, hemos de considerar: tamaño, granulometría, porosidad, forma y superficie, composición química y mineralógica.

## Agua

Sirve de vehículo de las reacciones químicas, permite homogeneizar la mezcla de componentes, e influye en la plasticidad del mortero.

## Dosificación

Relación cemento/árido/agua. Las distintas dosificaciones obedecen a la función del mortero, a la resistencia deseada y a su composición. Por tanto del estudio de la dosificación de un mortero, en este caso medieval, podemos deducir aspectos relativos a la función del material, así como al grado de conocimiento técnico del constructor. Por ejemplo, los morteros romanos contienen 1 parte de cal y 3 de arena de cantera, o 1 parte de cal y 2 de arena de río, o 1 parte de cal y 2 de puzolana. Normalmente la cantidad de agua era del 15-20%, aunque esta proporción dependía del clima y función del material (a los morteros de relleno se les agregaba menos agua que a los de mampostería o enlucido).

## Aditivos

Son diversos, tales como sangre y pelos de animales y humanos, leche (caseína), ceras, grasas (sebo), aceites, tejo o ladrillo triturado, polvo volcánico («tierra de santorín» o «puzolana»), arcilla cocida, huesos, cola animal, azúcares, cerveza, arroz, huevos, paja, etc.

La función de estos aditivos es muy específica, e indica un determinado grado de conocimiento y de desarrollo técnico. Es importante conocer la función de estos aditivos para obtener toda la información que estos datos posibilitan. Así las ceras, grasas y aceites cumplen la función de hidrorrepelentes, los azúcares de retardadores de fraguado, la cerveza y orines de oclusores de aire para conferir porosidad y ligereza, las puzolanas, vidrio y arcillas confieren hidraulicidad, etc.

## Tipos «históricos» de morteros

La presencia de morteros se remonta al Neolítico. Se trata por tanto de un producto conocido desde los albores históricos, y cuya composición y características han ido evolucionando en función de las demandas y conocimientos técnicos.

A fin de una descripción y caracterización cronológica, en términos de clasificación se suele hablar de:

- Morteros prehistóricos
- Morteros egipcios
- Morteros griegos
- Morteros romanos
- Morteros medievales
- Morteros de Renacimiento y Barroco
- Morteros modernos y actuales

Aunque nuestro interés se centra en los morteros medievales, es necesario un conocimiento adecuado de los tipos de morteros anteriores, puesto que aquéllos (los medievales) son herederos directos de éstos. Procede aquí por tanto, aunque inevitablemente somera, una exposición de sus principales características (para más detalles remito a los trabajos de FURLAN y BISSIGGER, 1975; ÁLVAREZ *et alii*, 1995.)

Las épocas posteriores al Medioevo determinan el perfeccionamiento y la introducción de nuevos morteros y cementos; es necesario igualmente por tanto conocer las diferencias entre los morteros medievales y los de épocas posteriores. Dado que las características de estos últimos son más evidentes y proliferas técnicamente, prescindo de su descripción en aras a una obligada economía de espacio.

### *Morteros prehistóricos*

Como ya se ha indicado, existen evidencias arqueológicas del uso de morteros de composición variada desde las primeras etapas neolíticas. Así, se han encontrado en monumentos megalíticos cementantes a base de arcillas a las que se añadía agua para permitir su manipulación, y que adquirieran gran dureza al secarse (SERSALE, 1991).

Los primeros morteros son de tierras con cenizas y restos óseos, y aparecen en la construcción de muros, megalitos, pavimentos o suelos. El uso del fuego y la observación de las piedras calcinadas al entrar en contacto con el agua propicia el descubrimiento de la cal, cuyo uso en los morteros se extiende. La presencia de componentes orgánicos ha permitido la datación mediante la técnica de C14 de morteros de cal de la ciudad de Jericó, cuya antigüedad se remonta a 7.000 años a. C. (MALINOWSKI, 1981). Incluso Reller con otros autores (RELLER *et alii*, 1992) han descrito morteros en Nevali Cori (Turquía) que datan, según ellos, del 10.000 al 8.000 a. C.

Todos los vestigios indican el alto grado de conocimiento de los constructores neolíticos sobre las propiedades de las arcillas, la calcinación de la caliza y el apagado de la cal, la mezcla de los componentes para obtener el mortero y sus técnicas de aplicación, así como su mejora mediante la adición de otros componentes (cenizas, huesos, asfalto, barro, pigmentos, etc.).

### *Morteros egipcios*

Los egipcios parecen ser los primeros en obtener y aplicar el yeso como ligante. En esta región y periodo (4.000 a 2.000 a. C.) son escasos los morteros con cemento de cal. Esta escasez en el uso de la cal podría estar motivada por la mayor cantidad de combustible necesaria para su calcinación, y la escasez del mismo. No obstante está documentada la presencia de morteros de cal en periodos iniciales (por ejemplo: en pirámides), sobre todo, en época ptolomeica, quizás por influencia griega y romana.

### *Morteros griegos*

Ya Vitrubio describe las técnicas de construcción con morteros como «antiguas técnicas griegas», lo que demuestra el alto grado técnico alcanzado por los griegos en todas las etapas de la obtención de los morteros (selección de materiales, calcinación, elaboración, técnicas de aplicación, etc.), así como la variedad de usos. Los morteros helenísticos son los de cal y arena fina (en proporciones 2/3 o 2/5). Era frecuente la adición de polvo volcánico o de ladrillo molido para conseguir características hidráulicas. Recurren con profusión al pulimento de los estucos al igual que el de los morteros de revestimiento.

### *Morteros romanos*

Este periodo implica un enorme avance en las técnicas de fabricación y aplicación de morteros. Se fabrican sobre todo morteros de cal aérea o de cal hidráulica, a partir de una cuidadosa selección de materiales, calcinaciones a temperaturas controladas, prolongado tiempo de apagado de la cal, y correcta proporción de las mezclas. Es común la incorporación de aditivos muy especiales (caseína, albúmina, urea, aceite, etc.). Como muestra de sus innovaciones en las técnicas en su uso se puede citar su aplicación en multicapa.

### *Morteros medievales*

Como es sabido, hay una primera parte de este periodo en el que no es apreciable ningún avance respecto al nivel tecnológico alcanzado por los romanos, puede incluso hablarse de retroceso. La composición de los morteros varía según lugares, y bajan sensiblemente sus calidades debido a la mala calidad de materiales, falta de homogeneidad y poco cuidadosa elaboración y aplicación.

A partir del siglo XII se produce una recuperación tecnológica, y vuelven a usarse morteros con facturas de mejor calidad, de cal los más abundantes, y se incorporan aditivos orgánicos como ceras, goma arábiga, arroz, albúmina, azúcar, cerveza, etc. Son materiales colocados fundamentalmente en edificios religiosos y militares (ADAMS *et alii*, 1992).

En la España musulmana se emplean con profusión los denominados morteros islámicos, que son morteros con cal y yeso como aglomerantes («morteros bastardos»). Por otra parte, en la época nazarí son abundantes los estucos o yeserías, que se pigmentan con agua de cal como base para las profusas policromías. En el periodo califal estos estucos eran generalmente de cal.

Otra peculiaridad es el empleo del tapial, muy usado en muros de fortificaciones. Consiste en una mezcla de tierra y cal ligeramente humedecidas, y apisonadas dentro de un molde o cajón, que después del apisonado se retiraba y el muro o tapia resultante se revestía con mortero de cal (TORRES, 1940). Este tipo de construcción comienza a usarse en el siglo VIII y se generaliza a partir del periodo zirí.

## Ensayos y técnicas de estudio

La obtención de los datos sobre la composición, estructura, y otras características de los morteros que puedan aportar información a los estudios histórico-arqueológicos, requieren de la aplicación de una serie de técnicas que relataré someramente, así como los datos que proporcionan.

Los tipos de ensayos y técnicas de análisis a aplicar en cada caso van a depender, como es lógico, de las características tanto del material como de las propias técnicas o ensayos. Por otra parte, hemos de considerar que la mayoría de las técnicas o ensayos son total o parcialmente destructivas, y que el material de estudio es un vestigio histórico cuya destrucción debería evitarse. La solución a este dilema hay que buscarla en cada caso (cantidad de material disponible, importancia del mismo, estado de conservación, objetivos de la investigación, etc.).

Expongo en términos sucintos los ensayos y técnicas analíticas más usuales. Prescindo de las técnicas de datación en un sentido estricto por ser suficientemente conocidas por los arqueólogos, y algunas otras más minoritarias, poco accesibles, caras y específicas (análisis mediante activación neutrónica, radioisótopos, etc.), por otra parte útiles y de gran futuro, pero en todo caso se encuentran algo más alejadas de mi ámbito de trabajo.

*Ensayos de resistencia mecánica:* determinan la resistencia del material a los esfuerzos de compresión, tracción y flexión, y por tanto la calidad técnica del mismo. Se trata de un ensayo destructivo, que requiere además de trozos grandes con los cuales obtener las probetas necesarias para el ensayo (el tamaño mínimo normalizado es del orden de 5 x 5 x 15 cm).

*Medida de la velocidad de propagación de ultrasonidos:* se trata en este caso de una técnica no destructiva, pero que también requiere de trozos de tamaño apreciable con los que poder obtener probetas de forma regular y tamaño determinado, con una superficie lisa para aplicar los transductores. La técnica permite comparar el grado de compacidad entre distintos morteros, por tanto sus resistencias mecánicas, así como sus calidades técnicas.

*Medidas porosimétricas:* ofrecen información sobre la porosidad total de un mortero y, lo más interesante, sobre la distribución o porcentaje de los distintos tamaños de poros, así como de la forma y tipo de conexión entre ellos. Las técnicas más usuales son la porosimetría de inyección de mercurio y la absorción de gases. Son técnicas destructivas, que requieren de poca cantidad de muestra (trozos más o menos prismáticos de dimensiones centimétricas). Sólo son aplicables a morteros muy finos (con tamaño de árido muy pequeño), o a la parte cementante exclusivamente.

*Medidas granulométricas:* determina la distribución de tamaños de áridos y demás componentes «suelos» tras un ligero machaqueo. Permite conocer dosificaciones y otros datos técnicos sobre la elaboración del mortero. Es una técnica destructiva que requiere también en este caso de una considerable cantidad de muestra.

*Estudio de microscopía óptico-petrográfica:* consiste en la obtención de lo que se denomina una lámina delgada del mortero (de la matriz cementante, e incluso, áridos si son pequeños), y su estudio mediante un microscopio de luz polarizada. Es una técnica destructiva, pero la cantidad de muestra requerida es pequeña (trozo de orden centimétrico). Permite un análisis mineralógico muy preciso (hasta nivel de fases muy minoritarias), y también, visualizar la estructura de la matriz cementante y su conexión con los áridos.

*Difracción de rayos X:* proporciona datos sobre los minerales presentes en las distintas fases del mortero (matriz, árido, etc.). Es igualmente una técnica destructiva, que requiere de poca cantidad de muestra si no se pretende un análisis cuantitativo.

*Análisis químico:* técnicas como la espectrometría de absorción atómica, fluorescencia de rayos X, ICP Masas, etc., permiten conocer la composición química global de una muestra, ya sea de matriz, árido, etc. Se trata de técnicas destructivas que requieren de poca cantidad de muestra, e incluso se puede usar la analizada previamente mediante difracción de rayos X. Los datos sobre los elementos químicos minoritarios presentes, como en el caso de las fases minerales minoritarias, pueden aportar información sobre la procedencia geográfica de los materiales.

Son técnicas que analizan los componentes inorgánicos del mortero. Para conocer la naturaleza de aquellos aditivos de naturaleza orgánica (y que aún permanezcan), ha de recurrirse a técnicas analíticas como la cromatografía de gases, espectroscopia de infrarrojos, RNM, etc.

*Microscopía electrónica:* el estudio mediante microscopía electrónica (*scanning* y *microanálisis*) permite un estudio minucioso de la microestructura de la matriz y su relación con los áridos, así como la composición química de pequeños gránulos o zonas. Puede usarse la lámina delgada, previamente preparada, para el estudio mediante el microscopio de luz polarizada, con el consiguiente ahorro de muestra.

### Ejemplificación de casos

Resumo a continuación algunos estudios sobre morteros islámicos llevados a cabo dentro de nuestro grupo de investigación, comentando los análisis efectuados sobre los mismos, y los datos de tipo arqueométrico que se obtuvieron.

#### *Iglesia del Salvador (Granada)*

Construida sobre la antigua mezquita del Albayzín, y como consecuencia de los estudios para la elaboración de propuestas restauradoras para los pilares de travertino de la galería del patio, se estudian los morteros mixtos de cal y yeso (bastardos) que rellenan parte de las estructuras cavernosas originales en las secciones superiores de los pilares, y que coexistían con otros morteros de cemento Portland. Los morteros mixtos (antiguos) presentan una matriz básicamente carbonatada y árido constituido por barro cocido de



tamaño de grano fino a medio. El estudio de estos morteros se llevó a cabo fundamentalmente mediante microscopía óptica, microscopía electrónica con microanálisis, difracción de rayos X, y porosimetría de inyección de mercurio. Gómez Moreno y Gallego Burín le atribuyen a estos pilares una edad mínima de puesta en obra de 1543. Las consideraciones sobre la composición de los morteros y su disposición nos hicieron suponer que estos morteros sean coetáneos a los pilares. A título de ejemplo de los datos y estudios analíticos que permitieron obtener las conclusiones comentadas (Fig. 1, a-b) se presentan imágenes de microscopía electrónica del material travertino de los pilares y de los morteros (DURÁN *et alii*, 1993).

### *Antigua Lonja de Granada (Capilla Real)*

En el marco de las actuaciones arqueológicas llevadas a cabo en el conjunto de la Catedral de Granada en 1990, como apoyo a las labores de restauración emprendidas sobre la misma, se estudian morteros y elementos decorativos en yeso pertenecientes a una antigua estructura octogonal, seccionada en dos partes por el posterior muro de la Lonja. Son elementos de suma importancia, pues han estado preservados de contactos con épocas posteriores a la medieval. Los materiales estudiados eran: morteros de unión de los ladrillos de los pilares; morteros de fijación de las placas decorativas al paramento; estucos de yeso lisos y sin decoración; yeserías decoradas; acanaladuras de arco; albanegas (DE LA TORRE *et alii*, 1996).

Los materiales (morteros, estucos y pigmentos) son estudiados mediante DRX, microscopía óptica y microscopía electrónica. Entre otros datos se encuentra que hay una correspondencia entre la función constructiva de los materiales, y su composición mineralógica y química y su textura; así, los morteros de unión entre ladrillos son de yeso y cal (bastardos), de textura gruesa, mientras que los estucos son exclusivamente de yeso, con textura fina. Han podido distinguirse algunos morteros algo posteriores a los originales (quizás de restauraciones) por el alto contenido en cal. Igualmente pudieron conocerse diversos aspectos técnico-constructivos, y distinguir diferentes etapas decorativas. En las Figs. 2a, 2b y 2c 1-2 se recogen la planta de la estructura, imágenes de microscopía óptico-petrográfica de las yeserías policromadas, y resultados de microanálisis electrónico de pigmentos de algunas de dichas yeserías.

### *Alhambra*

El estudio de materiales de construcción en la Alhambra por parte de nuestro grupo de investigación, tanto con fines restauradores como arqueométricos, ha sido abundante, continuado y de gran interés.

Son muchas las incógnitas sobre la cronología constructiva de bastantes de las edificaciones de este conjunto monumental, de las que sabemos además que han sufrido reedificaciones e intervenciones diversas. La investigación estriba en averiguar si los mate-

riales y las tipologías constructivas de cronología similar presentan algunas características diferenciadoras, lo que las habrá de convertir en herramientas objetivas para la datación.

Entre otros materiales se han estudiado morteros, hormigones, estucos, revocos, enlucidos, etc., tanto de la Alcazaba como de otras múltiples dependencias del conjunto monumental alhambrense.

Los resultados, su discusión y conclusiones han sido origen de exposiciones en Congresos (DE LA TORRE *et alii*, 1991; DE LA TORRE *et alii*, 1992), o publicaciones (DE LA TORRE, MORENO *et alii*, 1996), así como objeto de tesis doctorales (DE LA TORRE, 1995; CAZALLA, 2002).

Estos resultados, cuyo auténtico beneficio exige una profunda colaboración entre arqueólogos e historiadores, nos han aportado por ahora algunas cuestiones interesantes sobre composición y función constructiva, e incluso para apoyo de algunas disquisiciones de carácter cronológico.

Por ejemplo, los hormigones son generalmente material formáceo (por sí solos constituyen el muro), o bien forman parte del tapial calicastrado (hormigones claros en la zona externa, o rojizos en la interna). El ligante es fundamentalmente a base de cal, por lo que el haber encontrado en algunos una cantidad importante de yeso, nos ha permitido asignarlos a reparaciones cristianas.

El árido lo constituyen desde arcillas hasta bolos de roca de más de 10 cm; no suele ser de origen calcítico, y, sobre todo, sin yeso. Precisamente el que aparecieran hormigones con yeso, formando claramente parte de este árido, en muestras que se especula podrían pertenecer al buscado palacio de Ismāil, y sólo en estas muestras, abre perspectivas interesantes.

Los morteros aparecen casi siempre uniendo otros elementos (ladrillos, azulejos, yeserías, etc.). El ligante es cal, yeso con muy poca cal, o una mezcla de ambos (morteros bastardos). La cal es aérea y bastante grasa, es decir, con muy poco magnesio, aunque hemos detectado la presencia de algunos minerales (etringita, tobermita, etc.) que son indicadores de cierta hidraulicidad. El árido presenta en la mayoría de los casos el aspecto de rocas metamórficas.

Otro aspecto interesante, lo constituye el hecho de que la cal ligante de hormigones supuestamente ziríes aparece en forma de cristales de calcita mucho más desarrollados que en materiales de otras épocas. Asimismo, pueden encontrarse ciertas diferencias mineralógicas entre hormigones anteriores, y posteriores a la época de Yūsuf I. Hay que mencionar igualmente como elemento relevante las diferencias en la composición química que se puede observar tanto entre materiales originales como en los correspondientes a restauraciones.

No obstante lo comentado, son claros los problemas y los puntos débiles. El principal es disponer de material perfectamente datado que sirva de referencia. Por otra parte, hemos de tener en cuenta que se trata de materiales con una gran heterogeneidad intrínse-

ca, lo que unido al pequeño volumen de muestra del que se puede disponer pueden poner en cuarentena algunos de los datos experimentales, o, cuando menos, ser cautos a la hora de extraer conclusiones y establecer correlaciones.

En las Figs. de 3 a 6 se ilustran mediante microscopía óptico-petrográfica diversos detalles composicionales y estructurales de morteros del la Alcazaba y del Palacio de Comares. Por su parte, en la Fig. 7 se recogen datos de porosimetría, y en la Fig. 8 un esquema del tapial calicestrado y de su evolución ante la erosión.

## BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, J., KNELLER, W. y DOLLIMORE, D. (1992): «Thermal analysis (TA) of lime –and gypsum– based medieval mortars». *Thermochimica Acta*, 211, pp. 93-106.
- ÁLVAREZ GALINDO, J. I., MARTÍN PÉREZ, A. y GARCÍA CASADO, P. J. (1995): «Historia de los morteros». *Boletín Informativo Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, nº 13, pp. 52-59.
- CAZALLA VÁZQUEZ, O. (2002): *Morteros de cal. Aplicación en el Patrimonio Histórico*. Tesis Doctoral inédita de la Universidad de Granada.
- DE LA TORRE LÓPEZ, M. J., RODRÍGUEZ GORDILLO, J. y SEBASTIÁN PARDO, E. (1991): «Caracterización geoquímica de morteros y hormigones hispanomusulmanes. Procedencia de materias primas». *Actas del IV Congreso de Geoquímica de España*. Soria, pp. 470-478.
- DE LA TORRE LÓPEZ, M. J., RODRÍGUEZ GORDILLO, J. y SEBASTIÁN PARDO, E. (1992): «Characterization of mortars in the Alcazaba of the Alambra (Granada, Spain)». *7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*. Lisboa 3, pp. 1177-1185.
- DE LA TORRE LÓPEZ, M. J. (1995): *Estudio de los materiales de construcción en la Alhambra*. Tesis Doctoral, Ed. Universidad de Granada, Monográfica Arte y Arqueología, nº 28.
- DE LA TORRE LÓPEZ, M. J., SEBASTIÁN PARDO, E. y RODRÍGUEZ GORDILLO, J. (1996): «A study of the wall material in the Alhambra (Granada, Spain)». *Cement and Concrete Research*, vol. 26, nº 6, pp. 825-839.
- DE LA TORRE LÓPEZ, M. J., MORENO LEÓN, E., MALPICA CUELLO, A. y RODRÍGUEZ GORDILLO, J. (1996): «Estudio arqueológico y arqueométrico de materiales nazaríes de la Lonja de Granada». *Archéologie Islamique*, 6, pp. 89-108.
- DURÁN SUÁREZ, J. A., GARCÍA CASCO, A., SÁNCHEZ NAVAS, A. y RODRÍGUEZ GORDILLO, J. (1993): «Caracterización de las alteraciones en pilar de travertino de la Iglesia del Salvador (Granada). Propuestas restauradoras». *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 16, pp. 1-12.

- FURLAN, V. y BISSEGER, P. (1975): «Les mortiers anciens. Histoire et essais d'analyse scientifique». *Revue suisse d'Art et d'Archéologie*, vol. 32, pp. 2-14.
- MALINOWSKI, R. (1981): «Ancient mortars and concretes, durability aspects». *Mortars, Cements and grouts used in conservation of Historic Buildings, Proceedings of the Symposium. ICCROM*. Rome, pp. 341-350.
- RELLER, A., WILDE, P. M., WIDEMANN, H., HAUPTAMANN, H. y BONANI, G. (1992): «Comparative studies of ancient mortars from Giza, Egypt and Nevali Cori, Turkey». *Material Research Society, Symp. Proc.*, 267, pp. 1007-1011.
- SERSALE, R. (1991): «Lime: the first in time among the justly named binding materials». *Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche*, vol. 40. Napoli. pp. 257-275.
- TORRES BALBÁS, L. (1940): «La Alhambra de Granada antes del siglo XIII». *Al-Andalus*, V, pp. 155-174.

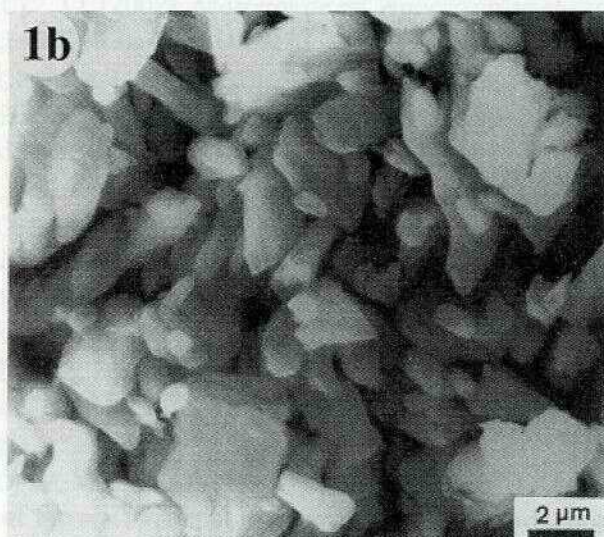
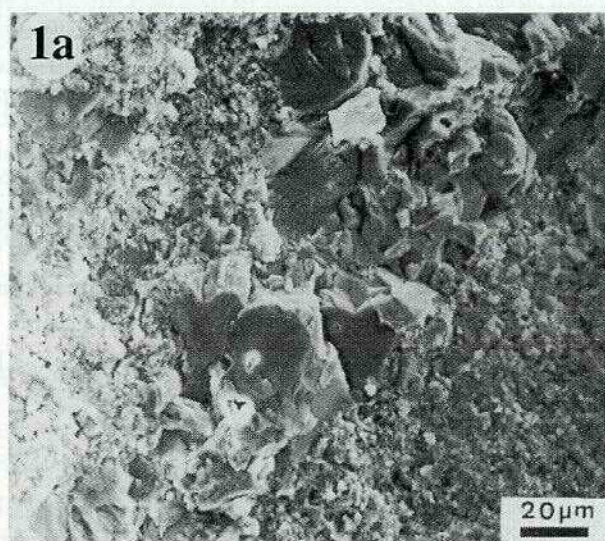


Fig. 1. Imágenes de SEM donde se observan las diferentes características texturales de los diversos materiales. Fig. 1a. Matriz del travertino en donde se aprecia la escasa porosidad de la misma así como la presencia de venas esparfíticas.

Fig. 1b. Matriz carbonatada de elevada porosidad del mortero mixto de cal y yeso

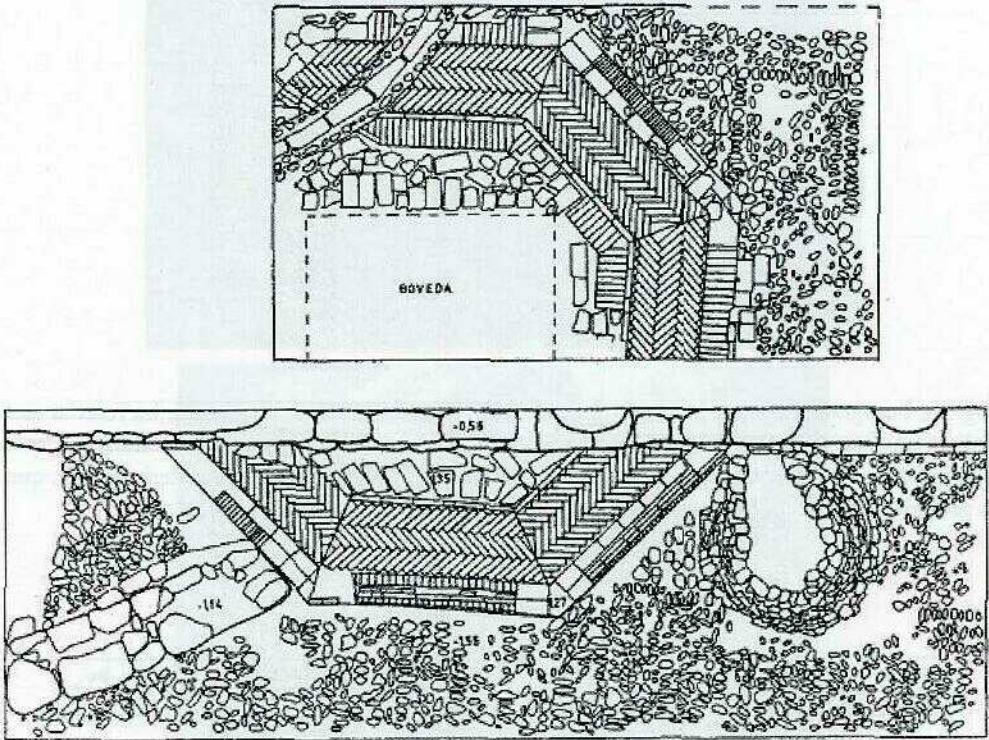


Fig. 2a. Planta de la estructura octogonal de la excavación realizada en la Lonja de la Catedral de Granada

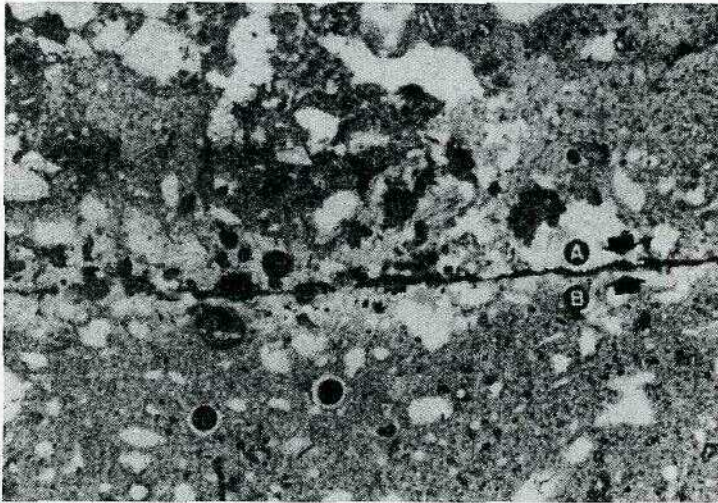


Fig. 2b. Fotografía de microscopía óptica con luz polarizada, nícoles cruzados, de las yeserías con policromía roja. Con flechas se señala la capa de pigmento (hematites poco purificados). La letra B señala el mortero de yeso que constituye la yesería y la A el estuco aplicado posteriormente, que es grueso en este caso (29 aumentos)

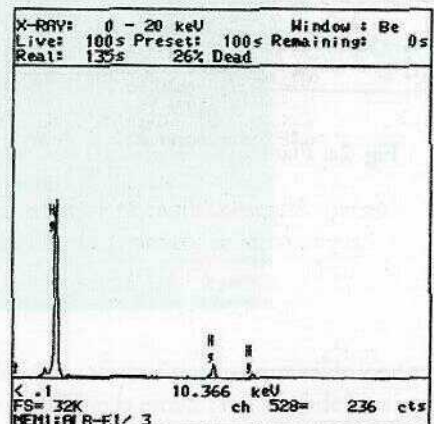
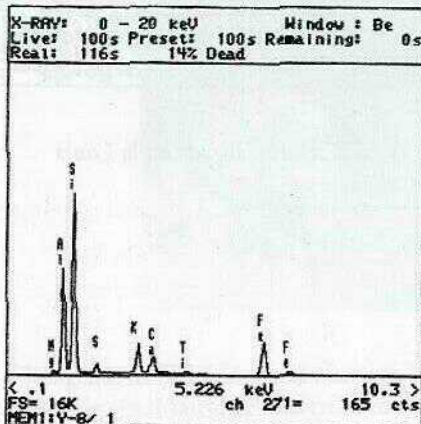


Fig. 2c:1. Microanálisis SEM-EDX de la capa de pigmento rojo de la albanega pintada. El pigmento se identifica como cinabrio (sulfuro di mercurio).  
2. Microanálisis SEM-EDX de la capa de pigmento rojo de una de las yeserías. El pigmento es hematites (óxido de hierro), con numerosas impurezas

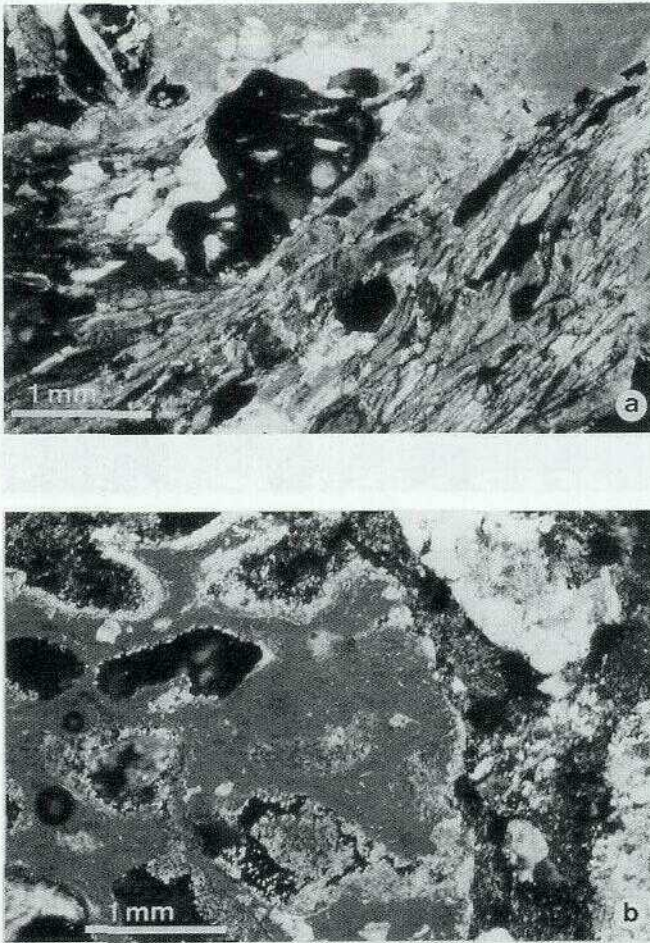


Fig. 3. Morteros Alcazaba. Tipos de árido (nícoles cruzados en ambas): a) silicado, común en la mayor parte de los morteros y hormigones; b) calizo, teñido con alzarina



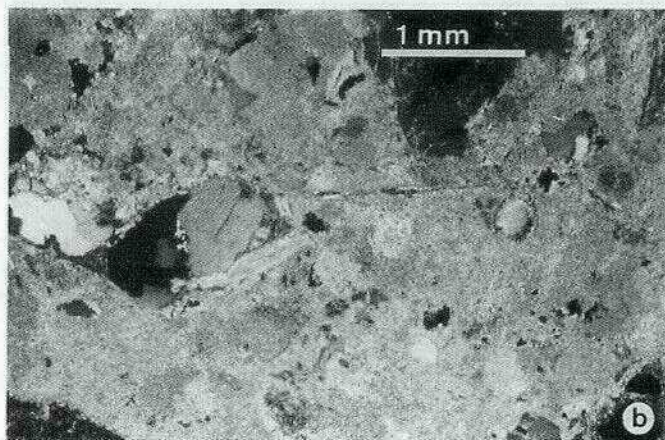
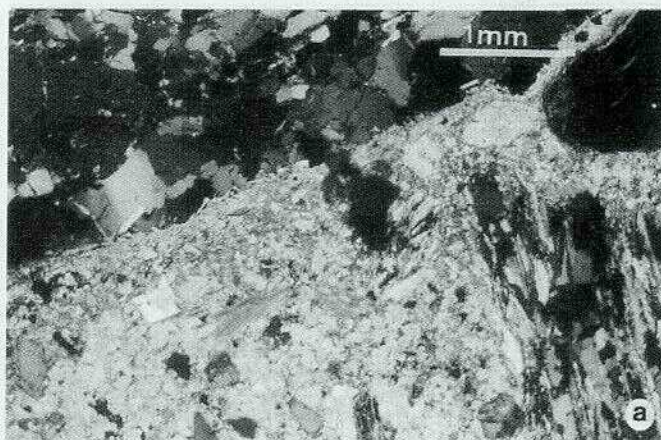


Fig. 4. Morteros Alcazaba. Texturas de la cal: a) espática; b) micrítica. Nícoles cruzados en ambas

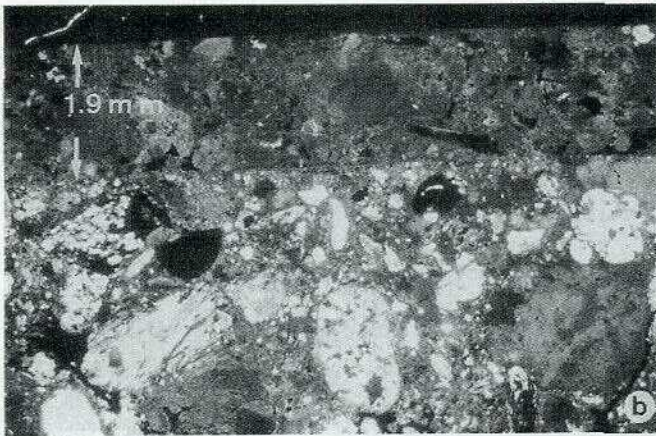
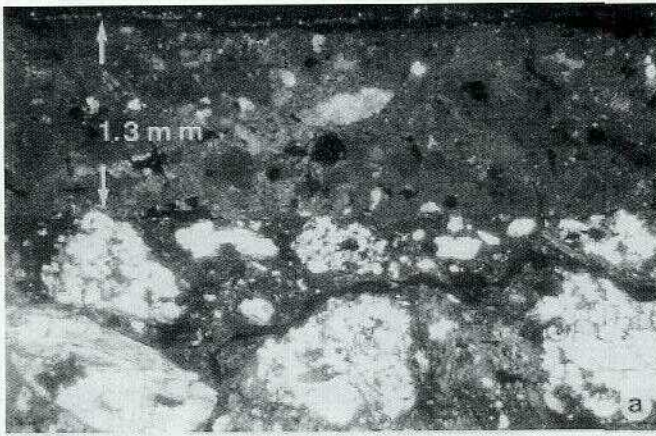


Fig. 5. Palacio de Comares. Revocos de cal delgados. Nícoles cruzados

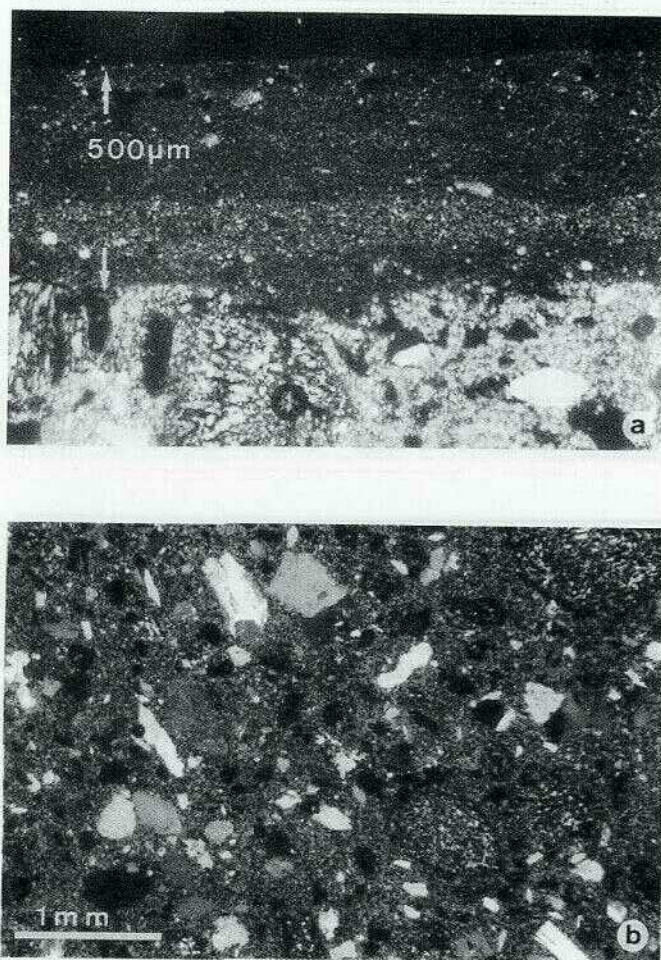


Fig. 6. Palacio de Comares. Revoco de yeso de dos capas. Nícoles cruzados:  
a) capa externa; b) capa interna

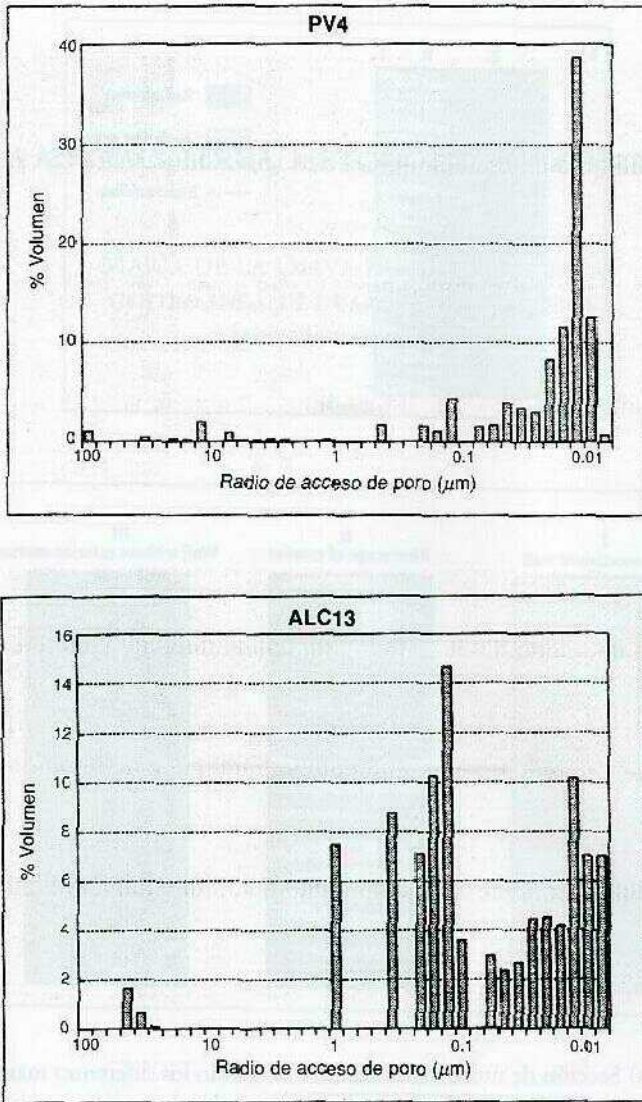


Fig. 7. Histogramas de distribución de radio de acceso de poro en morteros ricos en arcillas (PV4 Hormigón gris, muro excavaciones sótanos del Palacio de Carlos V) (ALC13 Hormigón rosado, Alcazaba)

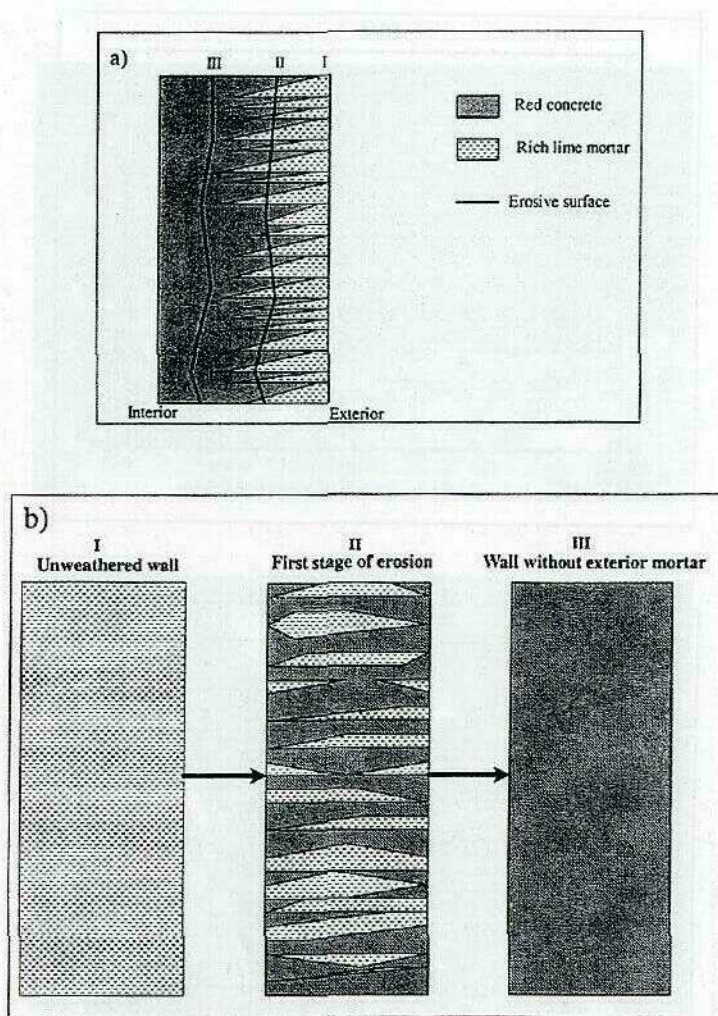


Fig. 8. a) Sección de muro calicestrado, mostrando los diferentes materiales;  
 b) vistas de alzado de distintos estados de erosión