



Patronato de la Alhambra y Generalife  
**CONSEJERÍA DE CULTURA**

*La presente colección bibliográfica digital está sujeta a la legislación española sobre propiedad intelectual.*

*De acuerdo con lo establecido en la legislación vigente su utilización será exclusivamente con fines de estudio e investigación científica; en consecuencia, no podrán ser objeto de utilización colectiva ni lucrativa ni ser depositada en centros públicos que la destinen a otros fines.*

*En las citas o referencias a los fondos incluidos en la investigación deberá mencionarse que los mismos proceden de la Biblioteca del Patronato de la Alhambra y Generalife y, además, hacer mención expresa del enlace permanente en Internet.*

*El investigador que utilice los citados fondos está obligado a hacer donación de un ejemplar a la Biblioteca del Patronato de la Alhambra y Generalife del estudio o trabajo de investigación realizado.*

*This bibliographic digital collection is subject to Spanish intellectual property Law. In accordance with current legislation, its use is solely for purposes of study and scientific research. Collective use, profit, and deposit of the materials in public centers intended for non-academic or study purposes is expressly prohibited.*

*Excerpts and references should be cited as being from the Library of the Patronato of the Alhambra and Generalife, and a stable URL should be included in the citation.*

*We kindly request that a copy of any publications resulting from said research be donated to the Library of the Patronato of the Alhambra and Generalife for the use of future students and researchers.*

**Biblioteca del Patronato de la Alhambra y Generalife**  
**C / Real de la Alhambra S/N. Edificio Fuente Peña**  
**18009 GRANADA (ESPAÑA)**  
**Tel. (+ 34) 958 027 944**  
**(+ 34) 958 027 945**  
**Fax. (+34) 958 210 235**  
**[biblioteca.pag@juntadeandalucia.es](mailto:biblioteca.pag@juntadeandalucia.es)**

# ESTUDIO MINERALÓGICO-PETROGRÁFICO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE LA RAUDA EN LA ALHAMBRA

M<sup>a</sup> JOSÉ DE LA TORRE LÓPEZ / EDUARDO SEBASTIÁN PARDO  
OLGA CAZALLA VÁZQUEZ / GIUSEPPE CULTRONE  
MARIA ANTONIETTA DE PAOLIS / CARLOS RODRÍGUEZ NAVARRO

## MINERALOGICAL-PETROGRAPHIC STUDY OF THE BUILDING MATERIALS OF THE RAUDA IN THE ALHAMBRA

*Results of the mineralogical and petrographic studies of construction materials in the Rauda Real of the Alhambra are presented. Using analytical techniques such as X-ray diffraction, optical microscopy and scanning electron microscopy, materials originating from the Nasri epoch were studied which include bricks, joining mortars, concretes and mortars for attaching decorations. In addition, the materials used by Torres Balbás in his restoration works, as well as other restoration interventions were identified and characterized. Special attention was paid to the study of the deterioration processes suffered by the construction materials which included the determination of the degree of decay of the studied samples and the identification of the most important factors of their deterioration.*

En este trabajo se presentan los resultados del estudio mineralógico y petrográfico de los materiales presentes en la zona de la Rauda Real de la Alhambra. Mediante la utilización de técnicas instrumentales como la difracción de rayos X, la microscopía petrográfica y la microscopía electrónica de barrido se han caracterizado los materiales originales nazaríes: ladrillos, morteros de juntas, hormigones y morteros de fijación de las decoraciones. Asimismo, se han establecido claramente las características de los materiales empleados en las intervenciones de Torres Balbás y se han detectado otras intervenciones de restauración. Se ha prestado especial atención a los procesos de deterioro que sufren los materiales, estudiando el grado de alteración de los materiales muestreados y señalando las causas más relevantes de este deterioro.

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La Rauda Real es otra más entre las construcciones de la Alhambra que ha sufrido numerosas modificaciones a lo largo de su historia. Inmediatamente después de la conquista cristiana, pierde su primitiva condición de cementerio real nazarí, dado que Boabdil se lleva consigo los restos de sus antepasados. Se le adosan algunas edificaciones en esta época. Asimismo es excavada y restaurada en 1905 por Mariano Contreras y entre 1925 y 1926 por Torres Balbás (Vílchez Vílchez, 1988). El tiempo y el expolio se han encargado de desfigurar lo que quedaba de esta construcción. Como consecuencia, nos encontramos actualmente con unos muros y restos de decoraciones cuya cronología desconocemos y que parecen presentar bastantes problemas de conservación.

Teniendo en cuenta estos hechos, los objetivos de este estudio han sido:

- Caracterización detallada de todos los tipos de morteros y materiales cerámicos presentes en esta zona, con objeto de diferenciar los originales nazaríes de los que se pusieron en obra en intervenciones posteriores.
- Estado de conservación de estos materiales expuestos a la intemperie. Asimismo, resulta interesante la identificación de los agentes de deterioro que están actuando, con el fin de adecuar las futuras intervenciones de restauración.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un exhaustivo muestreo de toda la

zona. A todas las muestras se les asignaron las siglas LRD, seguidas del número correspondiente para su identificación. A continuación se describen las muestras que se han estudiado. Llamamos muro A al que se encuentra al fondo, si nos situamos en la entrada a través de la portada decorada. El muro B es perpendicular al anterior y, visto desde la entrada descrita anteriormente, queda a la izquierda. El muro C es la continuación hacia el Partal del muro donde se abre la portada y el muro D es casi paralelo al anterior, más hacia el interior de la Rauda.

#### MUESTRAS DE LA RAUDA (LRD)

1. Mortero zona superior del muro del fondo (A), posiblemente pertenezca a la época de Torres Balbás. Tiene aspecto de una reparación para evitar la penetración de agua al resto del muro.
2. Mortero superficial, con fragmentos de azulejos incluidos y con marcas de los mismos en forma de estrella, también el muro del fondo (A).
3. Revestimiento que tapa la zona superior del mortero con marcas de los azulejos en el pilar delantero izquierdo. (Pilar de ladrillo situado al E).
4. Capa de mortero más interna del mismo pilar, de aspecto estalactítico. (Pilar de ladrillo situado al E).
5. Mortero que reviste el pilar delantero derecho (5E zona externa, 5M zona media y 5I zona interna). (Pilar de ladrillo situado al N).
6. Ladrillo del pilar trasero derecho, tomado en la zona baja y, por tanto, original nazarí. (Pilar situado al W).
- 6A. Mortero de yeso de la misma zona anterior. (Pilar de ladrillo situado al W).
7. Mortero rejuntado de ladrillo anterior. (Pilar de ladrillo situado al W).
8. Mortero revestimiento del mismo pilar. (Pilar de ladrillo situado al W).
9. Mortero zona superior del pilar delantero izquierdo (justo debajo del último ladrillo). (Pilar de ladrillo situado al E).
10. Ladrillo junto al mortero anterior. (Pilar de ladrillo situado al E).
11. Ladrillo antiguo muy deteriorado. Se tomaron tres muestras diferentes (11.1, 11.2, 11.3) procedentes del muro situado a la izquierda de los pilares (Muro B).
12. Ladrillo del mismo muro pero en buen estado de conservación (Muro B).
13. Mortero entre ladrillos del mismo muro (Muro B).
14. Ladrillo del mismo muro tomado en la esquina del acceso hacia la sala contigua (Muro B).
15. Mortero de rejuntado del ladrillo anterior (Muro B).
16. Material que forma el suelo tomado en un punto central con respecto a los cuatro pilares de ladrillo. El objetivo de esta muestra es comprobar si se trata del terreno natural o si éste se encuentra estabilizado con algún aglomerante.
17. Portada (zona externa, hacia la calle Real). Mortero que simula la decoración de la albanega, se observa claramente que no es original.
18. Mortero y cerámica que conforman la decoración de la albanega en la misma portada. (Estos materiales sí parecen originales).
19. Cerámica con contorno de palmeta, en la portada.
20. Mortero de relleno de la misma zona entre fragmentos cerámicos.
21. Portada de La Rauda. Revoco del intradós del arco. Se tomó otra muestra muy próxima con las siglas 21.1.
22. Mortero entre ladrillos, zona trasera de la misma portada.
23. Mortero en la misma zona anterior, pero justo encima de la viga de madera.
24. Mortero rojo próximo a la viga, zona trasera de la portada.
25. Mortero blanco de la parte inferior derecha de la portada hacia la calle Real. Se tomó otra muestra en la misma zona (25.1).
26. Ladrillo de esa misma zona.
27. Mortero rojo en esa misma zona (¿original?).
28. Mortero de cemento (¿actual?) muestreado en esa misma zona.
29. Muro perimetral de separación con la calle Real, mortero blanco de la zona más próxima al suelo (Muro C).
30. Mortero rojo de la misma zona (Muro C).
31. Mortero de rejuntado entre bolos (Muro D).

La composición mineralógica de las muestras se ha obtenido mediante difracción de rayos X, utilizando el método del polvo cristalino desorientado. Para ello se han molido las muestras en mortero de ágata hasta un tamaño menor de 50  $\mu\text{m}$  y se han analizado con un Difractómetro Philips PW 1710 equipado con rendija automática. El uso de la microscopía petrográfica de luz polarizada ha permitido completar el estudio mineralógico y abordar el

TABLA I

Muestra	Q	Ca	Fil	Diop	W	Geh	Hem	Feld	Yeso
LRD6	XXX	X	X	-	XX	-	-	X	X
LRD10	XXX	XX	X	XX	X	X	-	X	X
LRD11	XXX	XX	XX	-	-	-	X	t	t
LRD12	XXX	XX	XX	t	t	X	-	X	X
LRD14	XXX	XX	XX	t	-	-	X	t	t
LRD18	XXX	XX	XX	t	t	X	-	X	-
LRD19	XXX	XX	XX	-	-	-	X	X	X
LRD26	XXX	XX	XX	-	-	-	-	t	X

*Composición mineralógica de las muestras cerámicas (XXX: mayoritario; XX: proporción mediana; X: presente; t: trazas). Las abreviaturas utilizadas para los minerales son: Q: cuarzo; Ca: calcita; Fil: filosilicatos; Feld: feldespatos; Diop: diópsido; W: wollastonita; Geh: gehlenita.*

TABLA II

Muestra	Q	Ca	Dol	Fil	Feld	Yeso	Anh	Cel
LRD1	X	X	-	X	t	XXX	-	t
LRD2	t	-	-	t	-	XXX	-	-
LRD3	X	X	-	X	-	XXX	t	t
LRD4	t	X	-	t	-	XXX	-	t
LRD5I	-	X	-	-	-	XXX	-	t
LRD5M	-	-	-	t	-	XXX	-	-
LRD5E	t	X	-	t	-	XXX	-	t
LRD7	XXX	XX	-	X	X	X	-	-
LRD8	XXX	XX	X	X	X	X	-	-
LRD9	XX	XX	XXX	X	t	-	-	-
LRD13	XXX	XX	-	X	X	X	-	-
LRD15	XXX	XX	XXX	X	t	t	-	-
LRD17	XX	XX	-	X	-	XXX	X	t
LRD18	X	X	-	t	t	XXX	-	t
LRD20	t	t	-	t	t	XXX	-	-
LRD21	t	X	-	X	t	XXX	t	-
LRD22	XXX	XXX	-	X	X	X	-	-
LRD23	X	XX	-	t	-	XXX	t	-
LRD24	XXX	XX	X	XX	X	X	-	-
LRD25	X	X	-	t	-	XXX	t	-
LRD27	XXX	XX	-	X	t	X	-	-
LRD28	XXX	X	X	t	X	-	-	-
LRD29	XXX	XXX	-	XX	X	XX	-	-
LRD30	XXX	XX	X	X	X	t	-	-
LRD31	XXX	XX	XX	X	X	t	-	-

*Composición mineralógica de los morteros (XXX: mayoritario; XX: proporción mediana; X: presente; t: trazas). Las abreviaturas utilizadas para los minerales son: Q: cuarzo; Ca: calcita; Dol: dolomita; Fil: filosilicatos; Feld: feldespatos; Anh: anhidrita; Cel: celestina.*

estudio textural de las muestras. Con esta técnica se consiguen una serie de objetivos como son la identificación del árido en los morteros, estimación visual de la porosidad, relleno de las fisuras, etc. Para ello se prepararon láminas delgadas de la muestra que su consistencia lo permitía y se observaron con un microscopio petrográfico Olympus BH-2, fotografiándose los detalles más significativos. Como técnica complementaria se utilizó la microscopía electrónica de barrido, lo que nos permitió confirmar aspectos relacionados con la técnica de fabricación de los ladrillos originales.

### 3. RESULTADOS

La composición mineralógica de las muestras, obtenida mediante DRX, aparece en las tablas I y II. La primera de ellas recoge los datos de morteros y la segunda de ladrillos y decoración cerámica. Como puede observarse a partir de las diferencias composicionales hay varios tipos de morteros. También pueden observarse distintos grados de cocción en el material cerámico, hecho que deducimos a partir de los minerales existentes en las diferentes piezas cerámicas.

En la muestra 28 aparecieron además indicios de minerales del cemento, si bien los picos son de muy pequeño tamaño, debido en parte al bajo poder reflectante de estos minerales.

La muestra de suelo (LRD 16) está compuesta por cuarzo y filosilicatos como minerales mayoritarios, contiene feldespatos y presenta un contenido relativamente bajo de calcita.

Las muestras se analizaron también mediante *microscopía óptica de polarización* y los resultados obtenidos se detallan a continuación.

#### LRD1

Se trata de un mortero de yeso de matriz brillante, de tamaño de grano fino, con una porosidad muy alta. Tiene numerosas impurezas: partículas de carbón, calcita micrítica, nódulos de yeso microcristalino y yeso en grandes cristales, a veces lenticulares.

#### LRD2

Es otro mortero de yeso, con matriz compuesta por pequeños cristales aciculares y porosidad relativamente baja (con respecto a los morteros de yeso en general). Los poros tienen morfología predominantemente redondeada. Tiene relativamente pocas impurezas, sobre todo se trata de yeso monocristalino y de calcita micrítica. Se observan indicios de removiliza-

ción, que consisten en bolsadas de yeso acicular, con tamaño de cristal mayor que la matriz.

#### LRD4

Es muy similar a LRD2, pero parece menos removilizado.

#### LRD5I

Bastante parecido a LRD2, pero con la calcita muy finamente repartida y poco removilizado.

#### LRD5M

Parecido a LRD5I, aunque con muy poca calcita.

#### LRD5E

Similar a LRD5I, aunque bastante poroso, seguramente debido a disolución.

#### LRD6

En esta muestra encontramos un fragmente de ladrillo, cubierto por un mortero de yeso bastante parecido a LRD5I. En cuanto al ladrillo, presenta una alta proporción de desgrasante, bastante seleccionado y de tamaño fino, compuesto sobre todo por cuarzo y micas (moscovita y biotita). Estos últimos minerales presentan una marcada orientación, que resulta paralela a la de las fisuras. Algunas de estas fisuras están rellenas de yeso, lo que provoca un cierto grado de deterioro. El ladrillo también contiene fragmentos de carbonatos, que presentan un halo de reacción, lo que indica que la temperatura de cocción ha sido lo bastante alta como para afectarlos.

#### LRD7

Mortero de cal, bien carbonatado, con algunos nódulos mal apagados pero también carbonatados actualmente. Presenta porosidad fisural, acentuada por disolución y por el crecimiento de yeso. El árido está formado por fragmentos subangulosos de esquistos, cuarcitas y otras rocas metamórficas. Tiene tamaño heterogéneo, desde muy fino a bastante grueso.

#### LRD8

Mortero de cal (puede que contenga también compuestos hidráulicos). Está bastante fisurado y presenta crecimiento de yeso en poros y fisuras. El árido está formado por fragmentos subangulosos de rocas metamórficas silicatadas (sobre todo esquistos) y tam-

bién por carbonatos (calcita y dolomita), bien cristalizados y de morfología bastante redondeada. Esta morfología propicia que la adherencia con el ligante sea defectuosa y que las fisuras se generen precisamente en el contacto árido carbonatado-ligante.

#### LRD9

Mortero muy similar al anterior, pero menos alterado. Además de los carbonatos recristalizados en este mortero aparecen fragmentos de fósiles calcíticos, como algas rojas y equinodermos.

#### LRD12

Ladrillo con desgrasante de tamaño fino y uniforme, compuesto sobre todo por cuarzo y filosilicatos (moscovita y biotita). La matriz es clara y birrefringente en el interior del ladrillo y se va haciendo cada vez más oscura (de color marrón rojizo) y vítrea al exterior. La porosidad principalmente redondeada. Hay fisuras rellenas de yeso, cuyos cristales se disponen de forma perpendicular a las paredes de las mismas.

#### LRD13

Esta muestra debió ser en algún tiempo un mortero de cal, con abundante proporción de filosilicatos (arcillas) en la matriz. El árido está compuesto por fragmentos de rocas metamórficas silicatadas. Sin embargo, en su estado actual es más bien una red de fisuras rellenas de yeso, es decir, presenta un muy alto grado de deterioro causado por la cristalización de este mineral.

#### LRD15

Mortero muy similar a LRD9, aunque en mejor estado de conservación.

#### LRD17

Mortero de yeso, con matriz de tamaño de grano fino y porosidad redondeada, relativamente escasa para ser un yeso. Contiene numerosas impurezas, de tamaño bastante grueso: carbón, nódulos de calcita micrítica, yeso en nódulos microcristalinos, en agrupaciones de cristales aciculares, en cristales individuales, etc. La calcita no parece ser añadida en forma de cal, sino que se observa que aparece incluso en los planos de exfoliación del yeso, lo que indica que es una impureza procedente de la misma materia prima.

#### LRD18

Mortero de yeso, con porosidad relativamente

escasa, de morfología redondeada. Tiene un aspecto muy uniforme, con una baja proporción de impurezas. Estas son de cuarzo, calcita de tamaño de grano fino, yeso monocristalino y acicular dispuesto en nódulos.

#### LRD19

Cerámica de matriz birrefringente, con desgrasante de tamaño muy fino y uniforme (bien seleccionado), formado por cuarzo y micas. También contiene carbonatos, que no están afectados por la cocción, lo que indica que no se superaron los 800° C. Está muy fisurada, pero, sin embargo, es escaso el ataque por cristalización de yeso.

#### LRD21

En esta muestra, que corresponde al revoco del intradós del arco de entrada se distinguen tres partes:

##### *Interna*

Es el mortero de unión entre ladrillos, en buen estado de conservación. Se trata de un mortero de cal y arcilla, con árido compuesto por fragmentos de rocas metamórficas: esquistos, cuarcitas, mármoles.

##### *Media*

Mortero de yeso, con alta porosidad redondeada, aunque bien conservado. Contiene impurezas de calcita, de marga, y yeso tanto monocristalino como en nódulos recristalizados.

##### *Externa*

Es una capa de yeso compacta y de grosor (pocos milímetros) muy uniforme. Está formada por cristales aciculares de yeso, sin impurezas y sin porosidad visible a esta escala.

#### LRD22

Mortero de cal, con aspecto de original nazarí: árido formado por fragmentos de rocas metamórficas predominantemente silíceas, cal de textura uniforme, fisurada, mezclada con una cierta proporción de material arcilloso. El mortero está algo disuelto y fracturado.

#### LRD25

Mortero de yeso, de matriz fina pero bastante brillante, con nódulos de yeso recristalizado y fragmentos de yeso de cantera no cocido. También contiene otras impurezas: granos de calcita esparítica y

otros micrítica, fragmentos de esquisto. Presenta porosidad redondeada y está bien conservado.

#### LRD26

Ladrillo de matriz birrefringente y desgrasante abundante de tamaño mayoritariamente fino aunque también hay fragmentos gruesos. Está formado por cuarzo, esquistos, micas y algunos carbonatos, los cuales no se ven afectados por la cocción. Está sufriendo un fuerte proceso de alteración debido a la cristalización de yeso en las fisuras, si bien se mantiene relativamente compacto.

#### LRD29

Se trata de un mortero de cal, cuya textura es casi irreconocible por el intenso deterioro que sufre, causado por la disolución-recristalización de la cal y el crecimiento de yeso en los poros y fisuras. A pesar de esto se reconoce un mortero similar a los originales nazaries, con su árido característico procedente de la Formación Alhambra.

#### LRD30

Mortero de cal, si bien no de buena calidad. Tiene un aspecto bastante fisurado y poroso. Está muy atacado por la cristalización de yeso, que ocupa densamente el espacio de las fisuras. Tiene dos tipos de árido: fragmentos subangulosos de rocas metamórficas silíceas (esquistos y cuarcitas) y granos redondeados de mármol calcítico y dolomítico.

#### LRD31

Mortero de cal, muy similar a la muestra 30, si bien en mejor estado de conservación, mucho menos alterado por la cristalización de yeso.

La observación de superficies de fractura fresca de los ladrillos originales procedentes de la zona inferior de los pilares corrobora los datos obtenidos por otras técnicas, en relación con la temperatura de cocción. Se observan claramente los gruesos fragmentos de desgrasante, así como los minerales de la arcilla. En ambos casos los contornos de las partículas minerales aparecen perfectamente definidos y no se aprecia ningún indicio de vitrificación (Tite y Maniatis, 1975).

## 4. DISCUSIÓN

El primer problema que se nos presentaba era reconocer si los morteros que aparecen en el Muro A

y en algunos de los pilares, y que aún presentan las improntas de los azulejos, eran los originales o bien habían servido para adherir los azulejos al muro en una época posterior.

En este sentido, los datos obtenidos indican que se trata de morteros de yeso, con pequeñas proporciones de calcita, cuarzo, celestina, filosilicatos y anhidrita. Los argumentos en contra de su autenticidad son que en otros puntos de la Alhambra los morteros utilizados para la fijación de azulejos al muro son de cal y no de yeso (de la Torre, 1995). Asimismo, los morteros que encontramos actualmente en la Rauda, en capas de grosor inusual, engloban fragmentos de azulejos rotos, lo que resultaría raro si fuesen originales. Los argumentos a favor de que sean nazaries son, en primer lugar, que se trata de un tipo de yeso muy similar a los que encontramos en las albanegas del arco de la portada (que consideramos originales). El segundo argumento sería que no se conserva ningún resto de otro tipo de mortero de fijación en los pilares.

Los morteros originales de unión entre ladrillos son bastante similares en toda la Rauda, a pesar de los diferentes grados de deterioro que presentan y son: LRD7, LRD13, LRD22 y quizá LRD24. Se trata de morteros de cal, con arcillas rojizas en la matriz y con árido formado por fragmentos de rocas metamórficas predominantemente silicatadas. Cuando contienen yeso, éste es siempre secundario, originado en procesos de alteración. Presentan características comunes con otros morteros de juntas originales estudiados en otras áreas de la Alhambra (de la Torre *et al.*, 1996). Estos morteros originales aparecen en la zona baja de los pilares, zona baja del Muro B de separación con la sala contigua, arco de la puerta y parte posterior de las albanegas. Se distinguen claramente de los morteros utilizados en las intervenciones de Torres Balbás, que son morteros con un tipo de árido característico, clastos de carbonatos (calcita y dolomita), a veces fosilíferos y otras muy bien cristalizados, pero siempre de morfologías redondeadas. Hay que hacer constar que, si bien la composición mineralógica de este árido no parece presentar problemas relacionados con la alteración, su superficie extremadamente lisa dificulta la adherencia con el ligante. Esto se traduce en que las zonas de debilidad de estos morteros son precisamente los contactos árido-ligante, donde se suelen iniciar las fisuras.

La muestra LRD28, tomada en el muro de ladrillo junto a la Portada 4, no parece original, ni de la época de Torres Balbás. Su difractograma muestra un aspecto muy diferente al de los morteros anteriormente mencionados. Asimismo, presenta restos de minerales del cemento, lo que está de acuerdo con su aspecto, bastante moderno. Hay algunos otros

morteros de edad incierta, como el rojizo que aparece a la derecha de la puerta y otro, claramente no original, que está sobre la viga, en la parte posterior del arco. Por su contenido primario en yeso no pueden ser considerados originales de época nazarí, ni tampoco colocados durante las intervenciones de Torres Balbás. Pueden atribuirse a otras intervenciones de las muchas que se han realizado en la Rauda.

Resulta interesante el caso del muro C que separa la Rauda de la calle Real Baja. Como se deduce de los resultados de las muestras LRD15, LRD30 y LRD31, Torres Balbás debió recrecer el muro que separa la zona de los pilares de otra estancia contigua, así como el muro perpendicular a éste y el de separación de la calle Real Baja. Sin embargo, en este último encontramos dos tipos de morteros: LRD29, blanco, que está alrededor de algunos de los grandes bolos de piedra y LRD30, rojizo, que es el que está funcionando realmente como agarre del muro. A pesar del intenso deterioro que sufre, aún se puede reconocer que LRD29 es un mortero nazarí y posiblemente de época anterior a Jusuf I (de la Torre *et al.*, 1995). Esto nos hace pensar que en la reconstrucción del muro se utilizaron bolos de piedra de un muro anterior, nazarí, aún con restos del mortero original descompuesto. Estos bolos pudieron proceder de cualquier zona de la Alhambra, si bien no es descabellado pensar que fueran los restos de un muro similar al que existe actualmente, que se derrumbó y se reconstruyó *in situ*.

Los ladrillos originales presentan distintos grados de deterioro al crecimiento de yeso. El modo en que se ven afectados depende en gran medida de la temperatura a la que fueron cocidos: los ladrillos bien cocidos resisten bien, mientras que los cocidos a más baja temperatura están casi desintegrados. Estas diferencias entre ladrillos (todos ellos originales) se deben a que en los hornos tradicionales el calor no se repartía de un modo uniforme entre toda la carga de ladrillos del horno. Los ladrillos utilizados por Torres Balbás no presentan grandes diferencias con los originales en cuanto a la composición, si bien siempre están correctamente cocidos.

Las decoraciones cerámicas que debieron adornar las albanegas del arco de la puerta se encuentran en un lamentable estado de conservación, causado por una lado por la exposición a los agentes atmosféricos, dado que la portada no tiene protección, y, sobre todo, por la naturaleza de los materiales empleados. Como se deduce de la composición mineralógica (alto contenido en filosilicatos y bajo o nulo de fases de alta temperatura) y del aspecto que presentan en lámina delgada, las piezas cerámicas fueron cocidas a una temperatura relativamente baja, siempre menor de 850° C y en ocasiones por debajo de los

800° C (Maggetti, 1982; Peters & Igerg, 1978). Este hecho las hace bastante sensibles a la alteración. Asimismo, el mortero que se utilizó para fijarlas al muro (que consideramos que es original) es un mortero de yeso, mineral muy soluble, que se puede removilizar y cristalizar en los poros y fisuras de la cerámica, favoreciendo su desintegración. La muestra 17 procede del relleno de una laguna en la decoración. Se trata de un yeso claramente diferente al resto de los que aparecen en la Rauda, en especial por las numerosas impurezas que contiene. En cuanto al revoco del interior del arco, las observaciones en microscopía petrográfica indican que es bastante similar a otros originales nazaríes estudiados anteriormente (de la Torre, 1995). En concreto, lo más característico es la capa externa, lisa y compacta, con apariencia de encalado pero constituida por cristales aciculares de yeso, de tamaño muy pequeño y uniforme.

La muestra de suelo (16) tiene un contenido relativamente bajo de calcita, similar al del terreno natural, Formación Alhambra (von Drasche, 1879), en ciertos niveles estudiados con anterioridad (de la Torre, 1995). Por tanto, parece poco probable que el suelo esté estabilizado con cal o, si lo está, debe ser en una muy discreta proporción.

## 5. CONCLUSIONES

Las conclusiones más relevantes se resumen a continuación:

- Se identifican claramente las zonas originales de la Rauda a través de las características de los morteros.
- Los procesos de deterioro de las zonas bajas no decoradas deben atribuirse a la ascensión por capilaridad de soluciones salinas procedentes del suelo.
- Se localizan muy bien los morteros empleados en las intervenciones de Torres Balbás, a través de las características del árido. Del mismo modo, se distinguen algunos morteros que deben ser atribuidos a otras restauraciones.
- Los problemas de deterioro del material cerámico (ladrillos y decoraciones de la puerta) se deben en gran medida a que la temperatura de cocción en algunas de las piezas no fue suficientemente alta, lo que se une a la constante presencia de humedad, ya que actualmente se encuentran expuestos a los agentes atmosféricos.
- La composición de los morteros de fijación de la decoración de la portada (yeso princi-

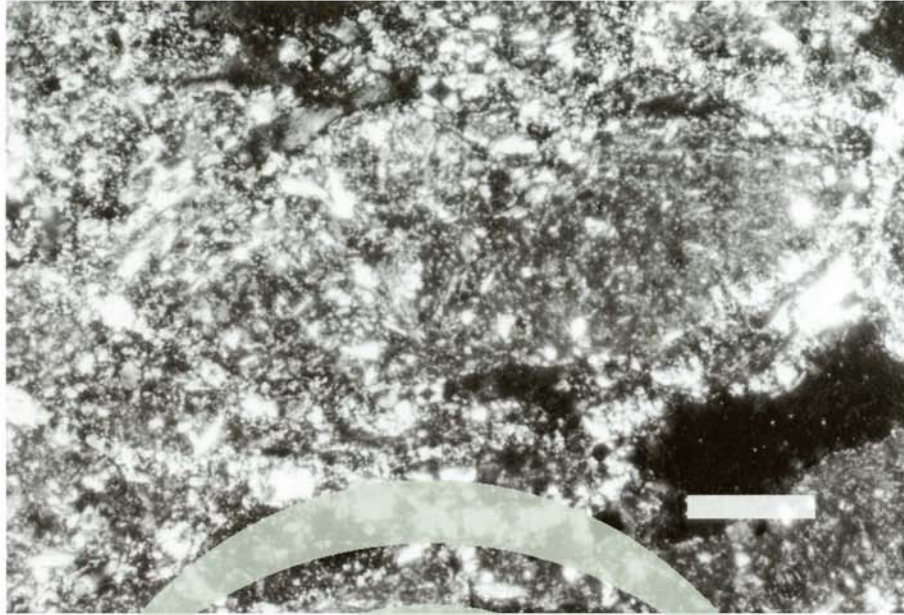


palmente) y la removilización de este mineral debido a la humedad, están generando un grave proceso de alteración por cristalización de sales.

## BIBLIOGRAFÍA

- R. von DRASCHE, "Geologische Skizze des Hochgebirgssteiles der Sierra Nevada in Spanien", *Bol. Com. Mapa Geológico de España*, IV (1879), 353-388.
- M. MAGGETTI, "Phase Analysis and its Significance for Technology and Origin", en: *Archaeological Ceramics*, (1982), 121-133.
- T. PERTERS; R. IGERG, "Mineralogical Changes During Firing of Calcium-Rich Brick Clays", *Ceramic Bulletin*, 57, 5 (1978), 503-509.
- M.S. TITE; Y. MANIATIS, "Examination of ancient pottery using the scanning electron microscope", *Nature*, 257 (1975), 122-123.
- M.J. DE LA TORRE LÓPEZ, *Estudio de los materiales de construcción en la Alhambra*. Granada, 1995.
- M.J. DE LA TORRE LÓPEZ; E. SEBASTIÁN PARDO; J. RODRÍGUEZ GORDILLO, "Los morteros y hormigones como elementos de datación relativa en construcciones históricas. El caso de la Alhambra", en: *Segunda Reunión de Arqueometría*, Granada (1995), 34-35.
- M.J. DE LA TORRE LÓPEZ; E. SEBASTIÁN PARDO; J. RODRÍGUEZ GORDILLO, "A study of the wall material in the Alhambra (Granada, Spain)", *Cement and Concrete Research*, 26, nº 6, (1996), 825-839.
- C. VÍLCHEZ VÍLCHEZ, *La Alhambra de Leopoldo Torres Balbás (Obras de restauración y conservación 1923-1936)*, Granada, 1988, 293-298.





*Lám. 1. Aspecto de un ladrillo (LRD12) cuyas fisuras están rellenas de cristales aciculares de yeso, que crecen perpendiculares a las paredes de las mismas. Este proceso origina un intenso deterioro. La barra de escala representa 250  $\mu\text{m}$ .*



*Lám. 2. Se puede observar la orientación preferente de las micas en un ladrillo original (LRD6) que resulta paralela a las fisuras. La barra de escala representa 250  $\mu\text{m}$ .*



*Lám. 3. Muestra LRD26, en la que se observa un grano de calcita en el centro de la imagen, que aparece rodeado de un halo de reacción. Esto indica que la temperatura de cocción ha sido suficiente como para iniciar la descomposición de este mineral. La barra de escala representa 100  $\mu\text{m}$ .*



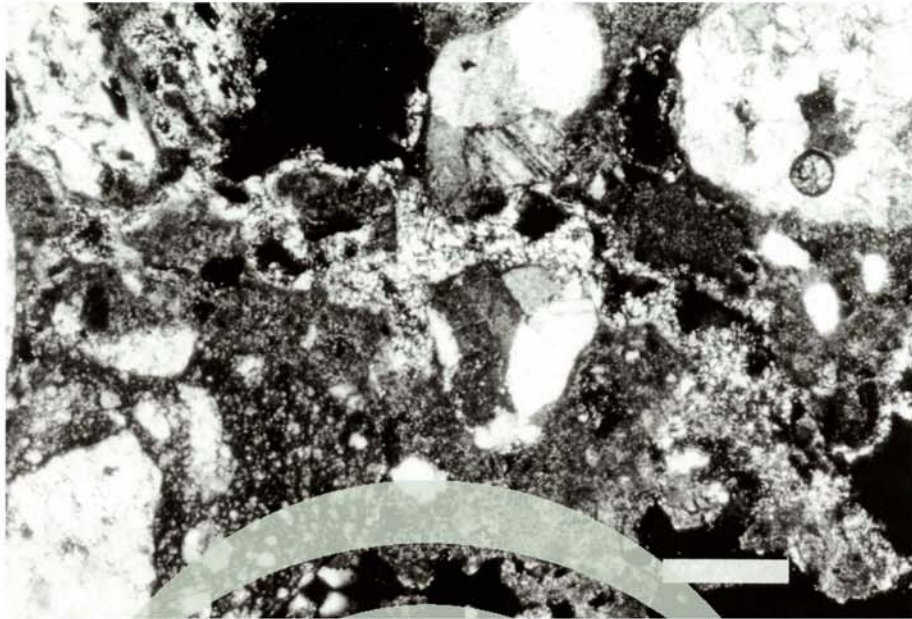
*Lám. 4. También aquí aparece un grano de calcita, pero intacto, lo que indica que la temperatura de cocción de esta cerámica (LRD19) no fue muy alta. La barra de escala representa 250  $\mu\text{m}$ .*



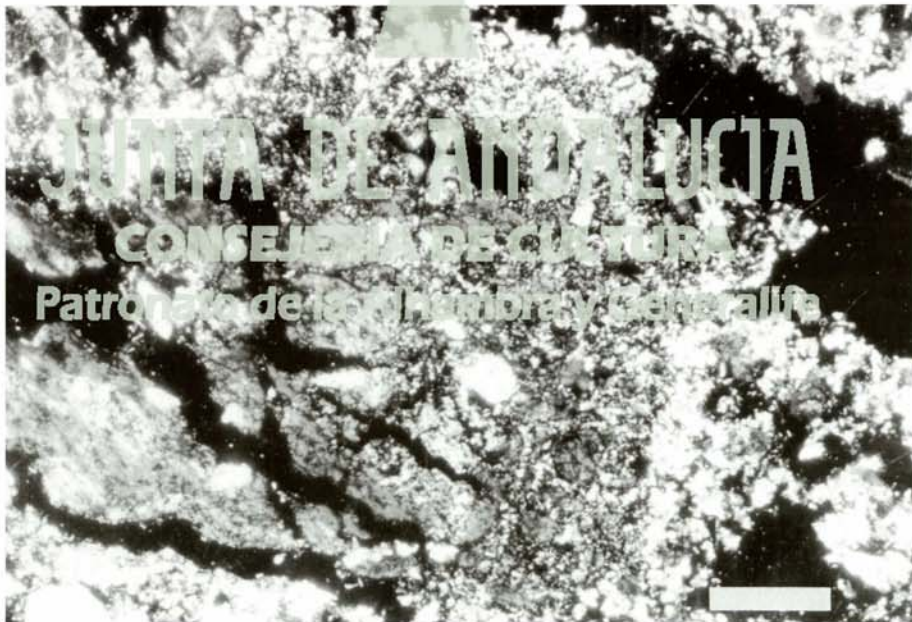
*Lám. 5. Mortero de yeso utilizado en la fijación de la decoración original de la portada (LRD18). Se observa su gran similitud con la muestra LRD4. La barra de escala representa 250  $\mu$ m.*



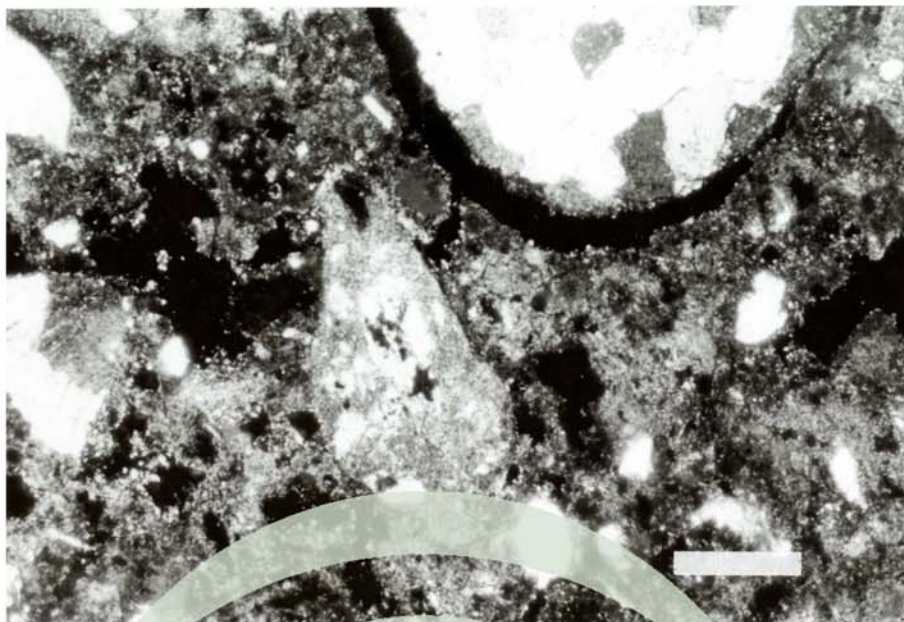
*Lám. 6. Mortero de yeso con improntas de azulejos (LRD4). La barra de escala representa 250  $\mu$ m.*



*Lám. 7. Mortero de cal de los atribuidos a la época de Torres Balbás (LRD30). Se pueden observar las fisuras rellenas de yeso de alteración. La barra de escala representa 100  $\mu$ m.*



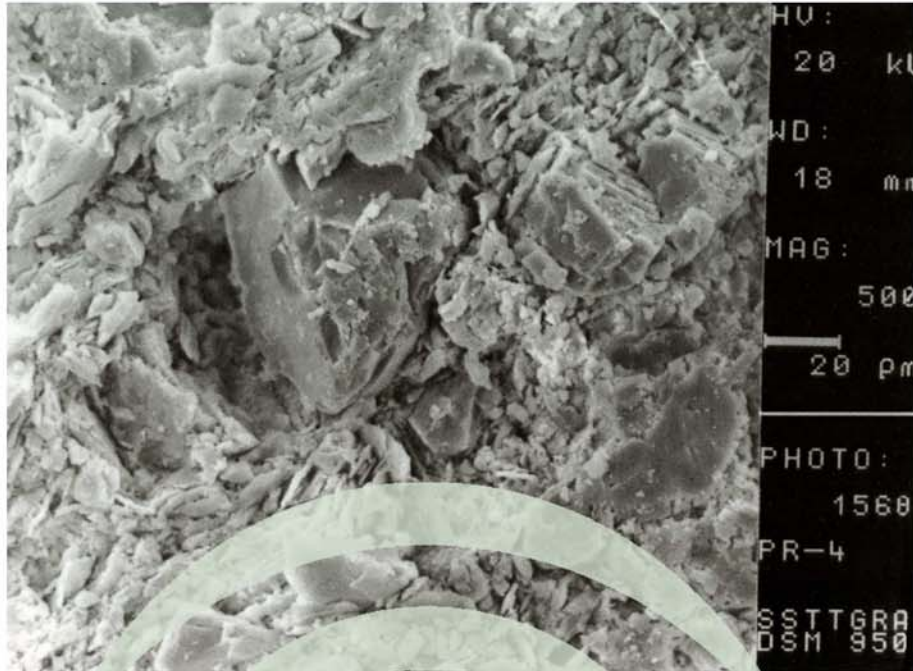
*Lám. 8. Mortero original (LRD13) muy alterado, que presenta fisuración y crecimiento de cristales de yeso. La barra de escala representa 250  $\mu$ m.*



*Lám. 9. Mortero de cal de los atribuidos a la época de Torres Balbás (LRD9).  
Se puede observar cómo los despegues se generan en el contacto árido-ligante.  
La barra de escala representa 250  $\mu\text{m}$ .*



*Lám. 10. Mortero de cal de los atribuidos a la época de Torres Balbás (LRD15). Se pueden observar un fragmento de algas rojas (derecha) y un grano de carbonato con su exfoliación característica. La barra de escala representa 250  $\mu\text{m}$ . (Láms. 1 a 10, microfotografías obtenidas mediante microscopía petrográfica).*



*Láms. 11 y 12. Se observa, prácticamente intacta, la morfología original de los granos minerales presentes en un ladrillo nazari procedente de los pilares de la Rauda. (Microfotografías obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido).*