

# ESTUDIO CIENTÍFICO DEL MIHRAB DE LA ANTIGUA MEZQUITA DE ALMERÍA

*J.M. Martínez Blanes<sup>(1)</sup>, J.L. Pérez Rodríguez<sup>(1)</sup> y E. Fernández Navarro<sup>(2)</sup>*

## Resumen

En este trabajo se realiza un estudio de los distintos materiales empleados en la construcción, tanto originales como añadidos, las distintas intervenciones realizadas en el Mihrab de la antigua Mezquita de Almería. El estudio de las muestras ha permitido determinar la naturaleza de cada una de ellas, así como la existencia de gran cantidad de sales (cloruros y sulfatos en su mayoría). Asimismo, se ha obtenido información sobre su micromorfología, porosidad, mayor o menor grado de cristalinidad y estado de alteración. Finalmente se ha comprobado la aplicación, en época reciente, de consolidantes que han sido responsables del desprendimiento superficial.

**Palabras clave:** rocas ornamentales, yesos, sales, alteración, pigmentos, intervenciones.

## 1. INTRODUCCIÓN

La iglesia de San Juan de Almería se levanta sobre los restos de la antigua mezquita mayor. Su construcción fue comenzada en el 965 por el califa Alhaquem II. La quibla constituye el actual muro de la iglesia orientado al sur, formado por sillares de piedra arenisca colocados en aparejo califal.

El mihrab está situado en el centro del muro de la quibla, es el resto más importante de la antigua mezquita, correspondiendo a la segunda mitad del siglo XII, bajo el dominio almohade. Presenta una planta cuadrada de 1,90 m de lado, que se convierte, en octogonal mediante chaflanes para servir de base a la bóveda gallonada. Se conservan restos de los primitivos arcos polilobulados entrelazados y de la decoración en yeso tallado basado en formas vegetales, según esquemas decorativos de época almohade. Los restos de las yeserías originales sirvieron de base para la restauración realizada por D. Leopoldo Torres Balbás, en 1936. La Guerra Civil arruina el edificio

---

<sup>(1)</sup> Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, C/ Américo Vespucio, s/n. 41092 Isla de la Cartuja, Sevilla.

<sup>(2)</sup> Quixera Carretera de Jaén 92, P-4, 1º E. Granada.

y posteriormente se inicia un proceso de puesta en valor del inmueble con sucesivas intervenciones sobre los restos musulmanes.

Las sales presentes en los materiales ornamentales ejercen una gran influencia en su alteración. La acción mecánica del proceso de cristalización e hidratación ejercen presión capaz de destruir cualquier roca. El daño que producen las sales se debe a su facilidad de tomar y ceder agua cambiando su estructura de acuerdo con los cambios de temperatura y RH ambiental.

La importancia del Mihrab almeriense es considerable, puesto que es el único almohade que se conserva en España, pudiendo además estudiarse en él etapas constructivas anteriores. En este estudio se lleva a cabo una caracterización de los materiales empleados en su construcción y en las diferentes intervenciones realizadas. Además se caracterizan las sales de contaminación presentes en el monumento. Finalmente se evalúa el estado de alteración.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. MATERIALES

Se han tomado un total de veinticuatro muestras (figura 1), de las cuales nueve corresponden a restos de yeso, siete a morteros (M-1 a M-16), una a restos de pigmento rojo [M (R-1)], dos a restos de sales superficiales [M (S-1) y M (S-2)] y cinco a pie-

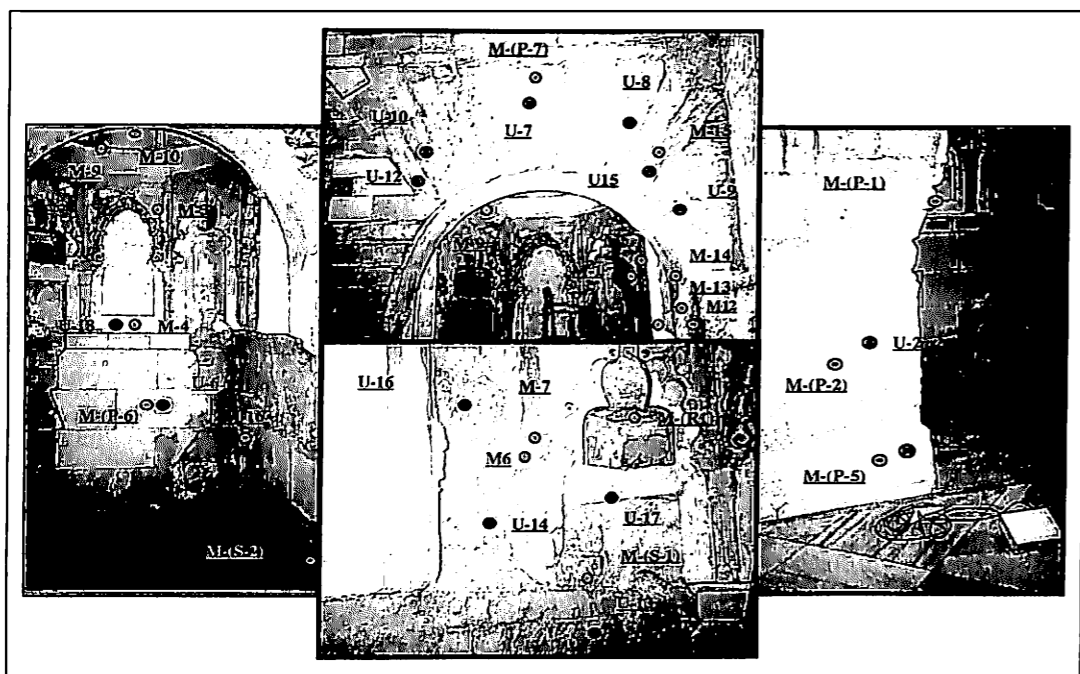


Figura 1. Localización de toma de muestras y ensayos de transmisión de ultrasonidos (ver cuadernillo a color, pág. vii).

dras [M (P-1), M (P-7)]. Por otra parte se han efectuado un total de 18 ensayos de velocidad de transmisión de ultrasonidos (U-1, U-18) en diferentes zonas del monumento.

### 2.2. MÉTODOS

Las técnicas analíticas utilizadas en el presente estudio son la microscopía electrónica de barrido (JEOL JSM-5400 con analizador por energías dispersivas de rayos X LINK), la microscopía óptica (Nikon Type 115), la espectroscopía de infrarrojos (Nicolet 510 FTIR con microscopio acoplado), la difracción de rayos X (Siemens D5000, Siemens D5000 Dual y Siemens D501) y ensayos de transmisión de ultrasonidos (Type BP V).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. RESULTADOS

#### • Yesos:

Muestra 8: está constituida por yeso acompañado de otros minerales en concentraciones minoritarias (cuarzo, silicatos, compuesto de estroncio). No se detectan sales de contaminación ya que la muestra es un adorno que sobresale de la superficie, lo que disminuye la contaminación a través del muro y además el recubrimiento externo (muestra 11) no permite el paso de aerosoles. Presenta una morfología característica con cristales algo menos desarrollados que en otras muestras, quizás debido a las impurezas presentes.

Muestra 11: esta muestra es una capa que recubre a la muestra 8. Está constituida por calcita, lo que indica que sobre el yeso (muestra 8) fue aplicada una capa de cal. Existen sales provenientes del exterior (aerosoles).

Muestra 1: es la más parecida a la muestra 8 en estructura y en composición. Aquí están presentes abundantes sales de contaminación procedentes de eflorescencias a través del muro debido a la humedad existente y del aporte de aerosoles.

Muestra 4: es diferente a los anteriores, de bastante pureza, estando presentes nódulos orgánicos provenientes posiblemente de su fabricación que los diferencia de los demás. Se detecta la presencia de NaCl pero no de MgCl<sub>2</sub>. Este yeso puede ser de co-

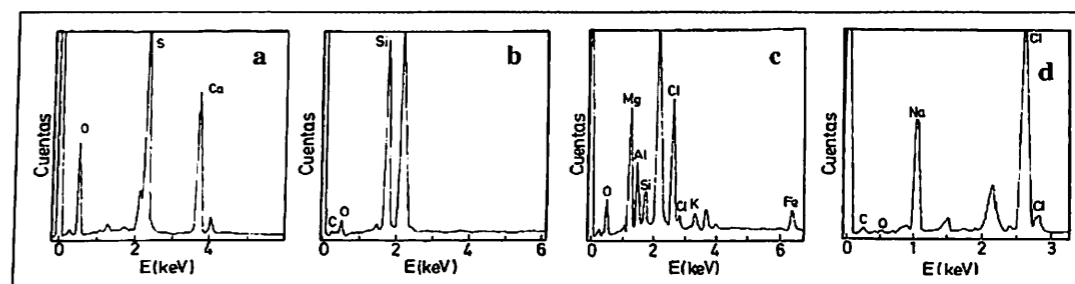
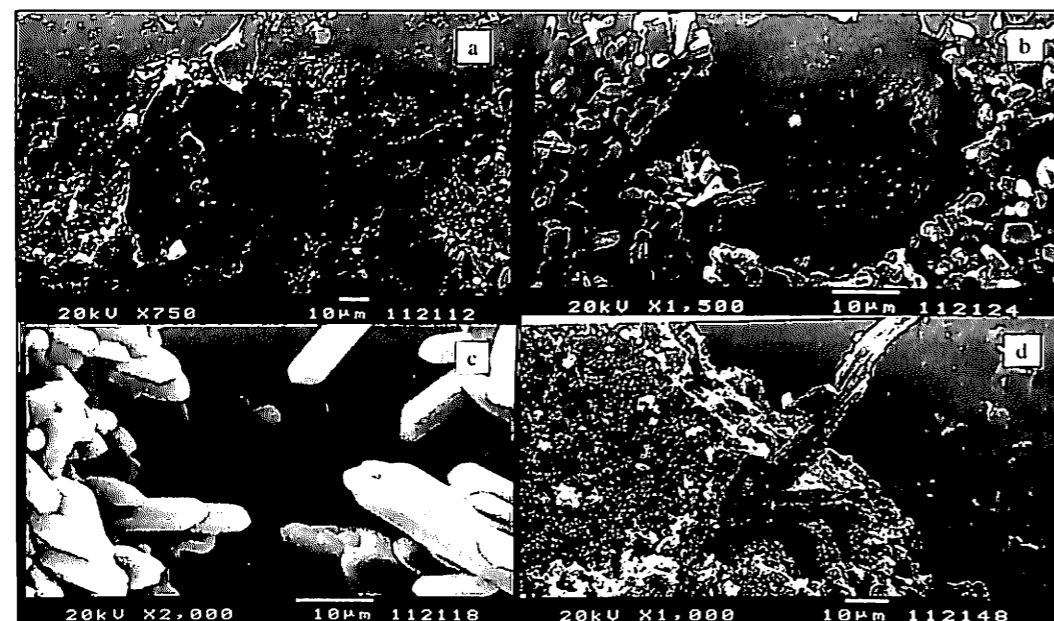


Figura 2. EDX correspondientes a los yesos.

locación muy reciente. La sal presente puede provenir del aerosol pero no se desecha una adición realizada en la intervención (fraguado, agua con sales, etcétera).

Muestra 3: es un material que presenta una mezcla compleja debido a la presencia de un repello que se ha mezclado parcialmente con el yeso ya existente. Existe yeso, silicatos, dolomitas, cuarzo, etc. Presentando una buena cristalinidad similar a la muestra 4.

El DRX de una de estas muestras se da en la figura 4a. Se detecta la existencia de yeso y una pequeña proporción de cuarzo y calcita. Como se observa en las microfotografías realizadas en el microscopio electrónico de barrido, en muchas muestras es posible diferenciar dos zonas. Una superficial de aspecto liso y poca porosidad (microfotografía 1a) y otra interna en la que se observa un mayor grado de cristalinidad (microfotografía 1b). En M-4 y M-11 se localizan estructuras, de forma esférica (mi-



Microfotografía 1. Yesos.

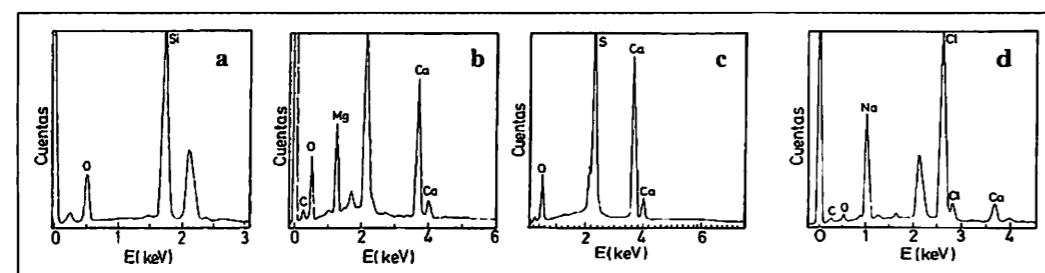


Figura 3. EDX correspondiente a los morteros.

crofotografía 1c) y fibrosas (microfotografía 1d) respectivamente, de naturaleza orgánica.

Los diferentes análisis químicos por energías dispersivas de rayos X (EDX) indican la existencia mayoritaria de calcio, azufre y oxígeno (figura 2a), aunque es posible localizar zonas ricas en silicio y oxígeno (figura 2b). Existen numerosas acumulaciones de cloro y magnesio (figura 2c) y de cloro y sodio (figura 2d).

#### • Morteros:

La constitución de estos morteros demuestra el alto estado de alteración que han sufrido debido a la presencia de sales. El alto contenido en yeso no se atribuye sólo a un posible empleo de este material, que no sería lógico, sino a la formación de sulfatos producidos por las sales y humedad. La no presencia del sulfato magnésico y sí del cálcico se debe a la mayor solubilidad de aquel y eliminación del medio. La alteración ha sido tan intensa, al menos en superficie, que resulta a veces difícil detectar la calcita.

La tabla 1 muestra la composición de los morteros. Los DRX correspondientes (figura 4b) presentan yeso, cuarzo y calcita.

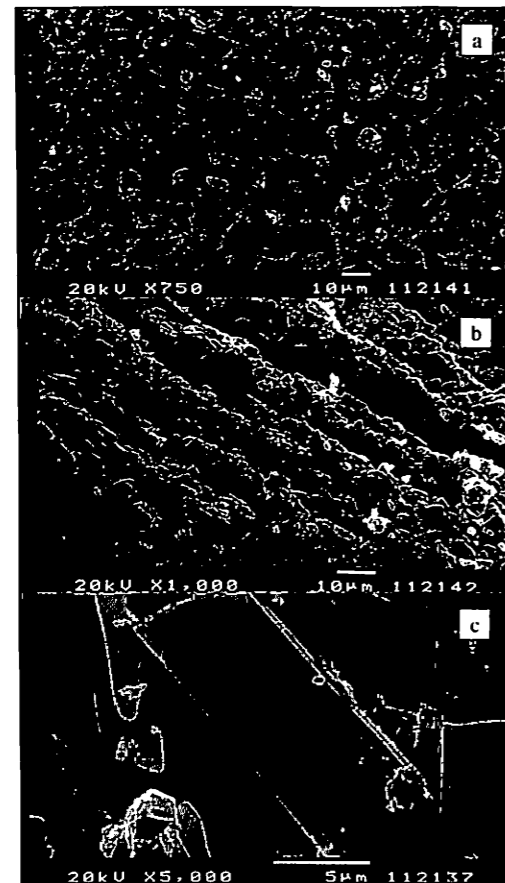
Los espectros de EDX presentan mayoritariamente calcio, azufre y oxígeno (figura 3a) aunque se localizan zonas ricas en calcio y oxígeno (figura 3b), en silicio y oxígeno (figura 3c) y en cloruros (figura 3d). La superficie de la muestra M-9 presenta una mayor proporción en carbono. El espectro de infrarrojos revela la existencia de un compuesto de naturaleza orgánica (debido a una posible aplicación de un consolidante).

Al igual que ocurría en las muestras anteriores, es posible observar dos capas bien diferenciadas con diferentes morfologías; una superficial de aspecto liso, baja porosidad sin poder diferenciarse formas cristalinas (microfotografía 2a) y otra que presenta un alto grado de cristalinidad (microfotografía 2b). Como se observa en la microfotografía 2c, en la muestra M-7 se localizan restos fósiles (diatomea).

Tabla 1. Descripción y composición de las muestras de yeso.

Nombre	Descripción	Composición
M-6	Mortero gris	zona ext: Y, Q, Z. Zona int: Y, Q, S
M-7	Mortero superpuesto a M-6	Y, S, X
M-9	Original con pátina de un repello	zona ext: Y, SI. Zona int: Y, C, D, X
M-10	Cúpula moderna	zona ext: Y, S. Zona int: Y.
M-12	Mortero más profundo	zona ext: Y, S. Zona int: Y.
M-13	Mortero superpuesto a M-12	zona ext: Y. Zona int: Y, C, SI.
M-14	Mortero superpuesto a M-13	zona ext: Y. Zona int: Y, C.
M-15	Mortero original	Y, C, Q
M-16	Mortero moderno	Q (50%), C(40%), Z, S, Y

Y (yeso), Q (cuarzo), X (cloruro magnésico), Z (cloruro sódico), S (silicatos y/o silicoaluminatos), C (calcita), SC (sulfato cálcico).



Microfotografía 2. Morteros.

- Piedras:

Las muestras P-1 y P-2 son similares en sus características estructurales al estudiarlas por microscopía óptica. Su diferencia está en la consistencia externa que es mucho mayor en la P-2, aunque la presencia de yeso en alta proporción en P-2 indica una gran absorción de sales a través del muro, que producirán en un futuro inmediato una gran alteración, pudiendo llegar a una consistencia similar a la P-1. Presenta una alteración de los carbonatos y formación de sulfatos, quedando *in situ* los cálcicos y emigrando, al menos en parte, los magnésicos. La P-5 es diferente a las dos anteriores, es más rica en calcita y cuarzo y más pobre en dolomita, posee mayor consistencia y sus componentes presentan mayor cristalinidad. Esta piedra es la que presenta menor estado de alteración. La P-7 es parecida a la P-1.

Las microfotografías tomadas en el microscopio electrónico de barrido muestran un alto grado, tanto de cristalinidad, como de porosidad para las muestras de piedra (microfotografía 3a).

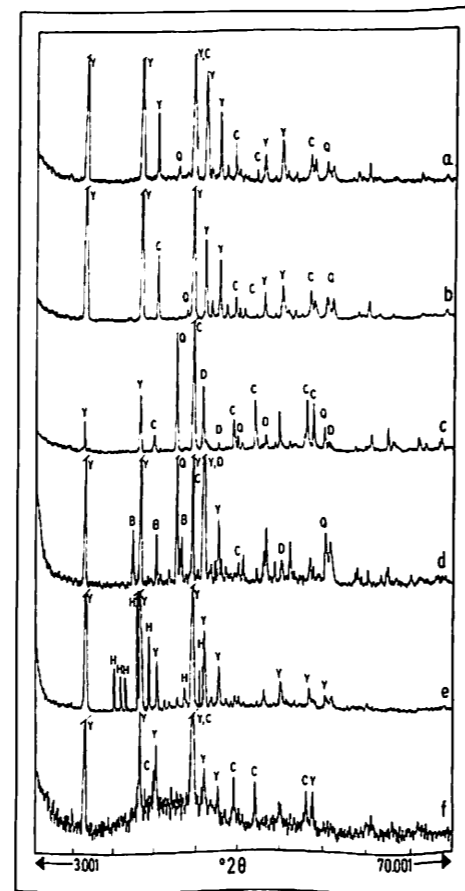


Figura 4. DRX de las muestras.

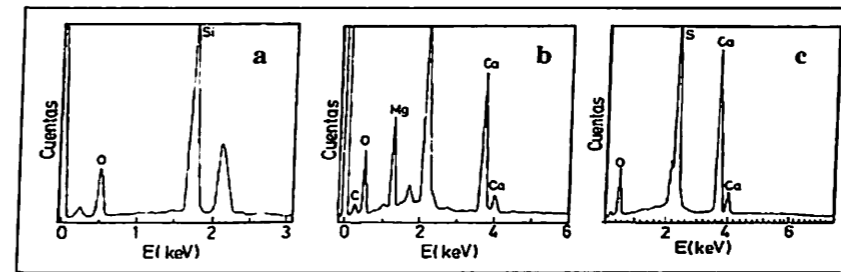


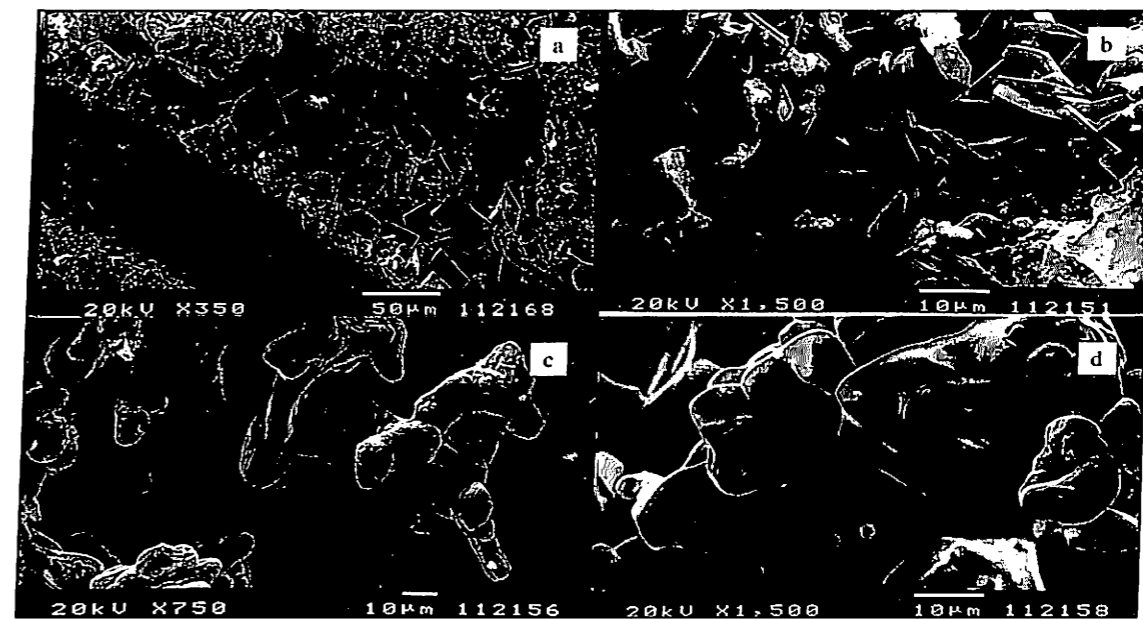
Figura 5. EDX correspondiente a las piedras.

Tabla 2. Descripción y composición de las muestras de piedra.

Nombre	Descripción	Composición
M (P-1)	Piedra califal	D(85%), Q(15%), S(< 5%)
M (P-2)	Piedra califal	D(60%), C(15%), Q(10%), Y(15%)
M (P-5)	Piedra cristiana	C(50%), D(25%), Q(15%), Y(10%)
M (P-6)	Costra de la piedra	C(65%), Q(25%), D(10%)
M (P-7)	Piedra original	D(85%), Q(15%), S(< 5%)

D (dolomita), C (calcita), Q (cuarzo), S (silicatos y/o silicoaluminatos), Y (yeso).

Los DRX indican que todas ellas están compuestas por carbonatos (dolomita y calcita) y por cuarzo y/o silicatos (en menor proporción) (figura 4c). También aparece yeso en algunas muestras. Los EDX presentan principalmente calcio, magnesio, oxígeno y carbono (figura 5b), así como zonas ricas en silicio y oxígeno (figura 5a) y en



Microfotografía 3. Piedras y sales.

calcio, azufre y oxígeno (figura 5c). El estudio por espectroscopía de IR muestra la presencia, en superficie, de un compuesto de naturaleza orgánica, debido a la aplicación de un posible consolidante.

- Sales:

El diagrama de difracción de rayos X (DRX) de la muestra M (S-1) revela la existencia de dolomita (70%) y yeso (25%) de forma mayoritaria y de pequeñas cantidades (5%) de cuarzo, anhidrita y bloedita (sulfato sódico y magnésico tetrahidratado) (figura 4d). El diagrama correspondiente a la muestra M (S-2) revela la existencia de yeso (95%) y hexahidrita (sulfato magnésico hexahidratado) (5%) (figura 4e).

Distintos análisis químicos por EDX efectuados sobre la muestra M (S-1) revelan la existencia de zonas (microfotografía 3b) constituidas por calcio, sodio, azufre y oxígeno (sulfato sódico y cálcico) (figura 6a). El análisis por energías dispersivas de rayos X (EDX) efectuados sobre diferentes zonas (microfotografía 3c y 3d) revelan que los nódulos están compuestos por calcio, azufre y oxígeno (yeso) (figura 6b), por magnesio, azufre y oxígeno (sulfato magnésico) (figura 6c), y dolomita y sodio, magnesio, azufre y oxígeno (sulfato magnésico y sódico) (figura 6d).

- Pigmento:

El diagrama de difracción correspondiente indica calcita y yeso (figura 4f). Los análisis químicos por EDX de la muestra revelan la existencia generalizada de calcio, azufre y oxígeno y de calcio, oxígeno y carbono (figuras 7b y 7a). Las zonas de color rojo presentan oxígeno e hierro (figura 7c). Se localizan nódulos de cloruro só-

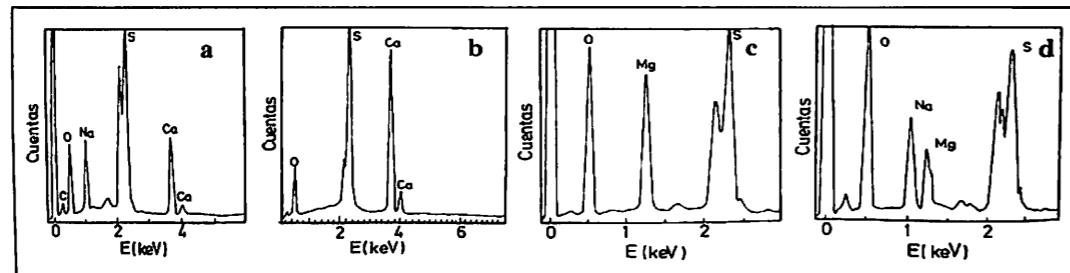


Figura 6. EDX correspondientes a las sales.

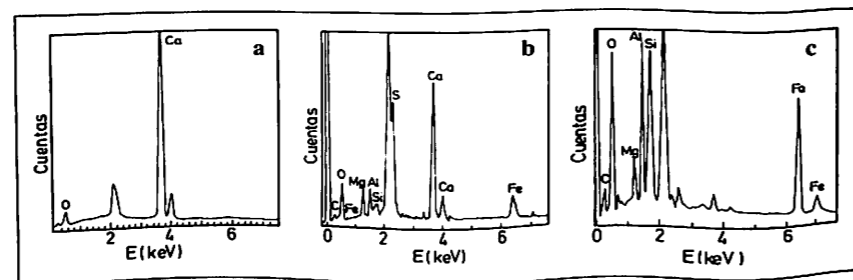


Figura 7. EDX correspondiente a los restos de pigmento.

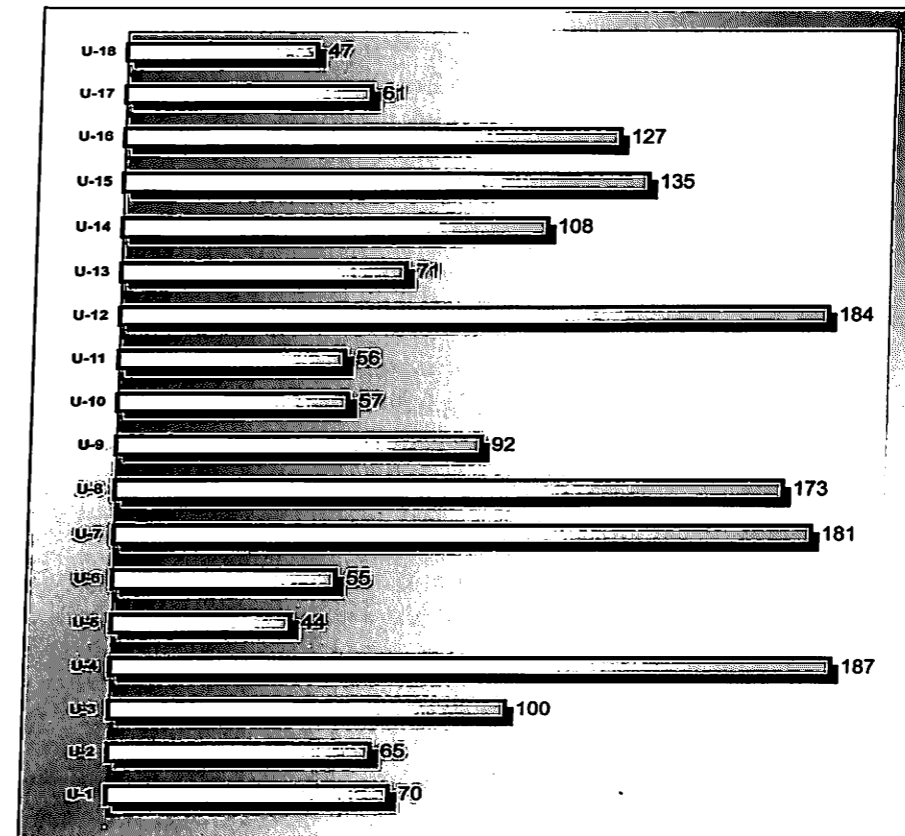
dico y cloruro potásico. El pigmento utilizado ha sido un ocre (óxidos de hierros con arcillas).

- Estudio por transmisión de ultrasonidos:

Se ha realizado un estudio de un total de 18 muestras mediante el método de transmisión de ultrasonidos.

Las medidas tomadas sólo hacen referencia a la superficie del material, debido a la imposibilidad de tomar medidas internas. Los datos obtenidos para el ensayo U-5 (piedra) revelan un valor de la velocidad de transmisión de las ondas de ultrasonido bajo (44 cm por cada 10  $\mu$ s), así como un alto grado de linealidad, indicando un valor bajo de alteración. De hecho, es la piedra que presenta un mejor grado de conservación. Los datos obtenidos para los ensayos U-10 (piedra) y U-11 (piedra) presentan un valor medio de velocidad de 57 y 56 cm por cada 10  $\mu$ s respectivamente y un alto grado de linealidad, lo que indica de nuevo un buen grado de conservación.

Los datos correspondientes al ensayo U-6 (piedra) revelan de nuevo un valor bajo de las ondas de ultrasonidos (55 cm por cada 10  $\mu$ s) y un buen comportamiento lineal. Estos datos revelan un buen estado de conservación y consistencia referidos sólo



a la costra superficial debido a la aplicación de posibles consolidantes (como así lo indican los análisis químicos correspondientes). Los ensayos U-17 y U-18 se han efectuado sobre yeso. Los datos experimentales obtenidos (velocidad de 61 y 47 cm por cada 10  $\mu$ s respectivamente y alto coeficiente de correlación lineal) no permiten localizar ningún tipo de discontinuidad (fisuras, oquedades, añadidos...), hecho normal en este tipo de material. Los ensayos U-2 (piedra) y U-13 (piedra) revelan unos valores de la velocidad de las ondas de ultrasonido (65 cm y 71 cm por cada 10  $\mu$ s respectivamente) comparables aunque superiores a los obtenidos para las muestras anteriores, lo que indica un valor medio de alteración.

Atendiendo a los valores de la velocidad de transmisión de las ondas de ultrasonido obtenidos para los ensayos U-3 (piedra) y U-9 (piedra) (100 y 92 cm por cada 10  $\mu$ s respectivamente) se deduce que presentan un alto nivel de alteración.

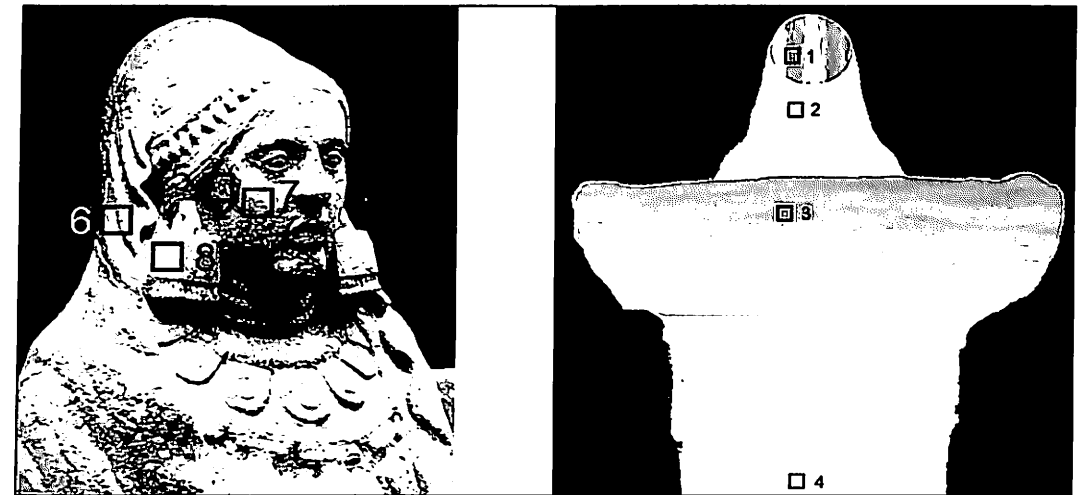
El resto de ensayos U-4 (piedra), U-7 (piedra), U-8 (piedra), U-12 (piedra), U-14 (piedra), U-15 (piedra) y U-16 (piedra) indican un valor de la velocidad anormalmente alto (187, 181, 173, 184, 108, 135 y 127 cm por cada 10  $\mu$ s) y una linealidad muy baja. Esto indica un alto grado de deterioro superficial para estas muestras, impidiendo incluso una correcta toma de datos.

#### 4. CONCLUSIONES

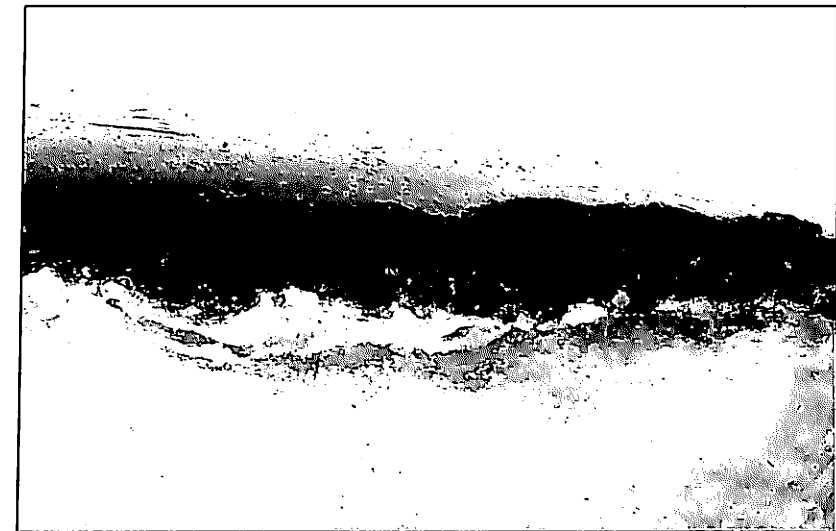
Existe una gran heterogeneidad de materiales utilizados (yesos, piedras y morteros). El único pigmento utilizado ha sido ocre. Existe una importante alteración debido a las sales tanto a través del muro como de aerosoles, principalmente la primera. Antes de cualquier intervención de restauración es necesaria una intervención arquitectónica que resuelva los problemas más acuciantes que son debidos a la humedad. Las intervenciones realizadas con consolidantes han sido perjudiciales produciendo desprendimientos de zonas superficiales y un incremento en la alteración del material sobre el que fue depositado.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Dirección General de Bienes Culturales de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía por la colaboración prestada.



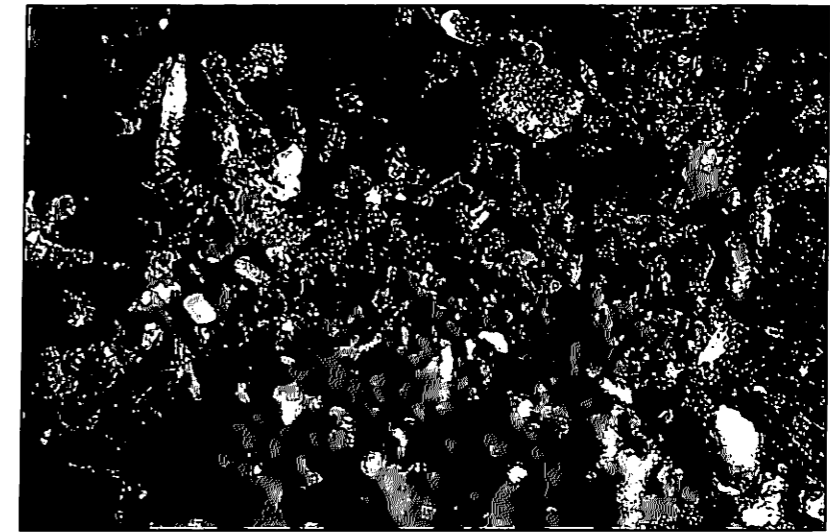
Puntos seleccionados para analizar los pigmentos. La figura de la derecha corresponde a un esquema de la parte posterior de la escultura (figura 1, pág. 110).



Fotomicrografía de la sección transversal de una muestra de pintura sobre tabla. Magnificación 200x (figura 2, pág. 121).



Detalle de los efectos del deterioro (fotografía 1, pág. 149).



Restos de pigmento de color rojo y de oro (fotografía 4, pág. 154).



Fotografía (izda.) y reflectograma IR (dcha.) de miniatura (figura 2, pág. 150).

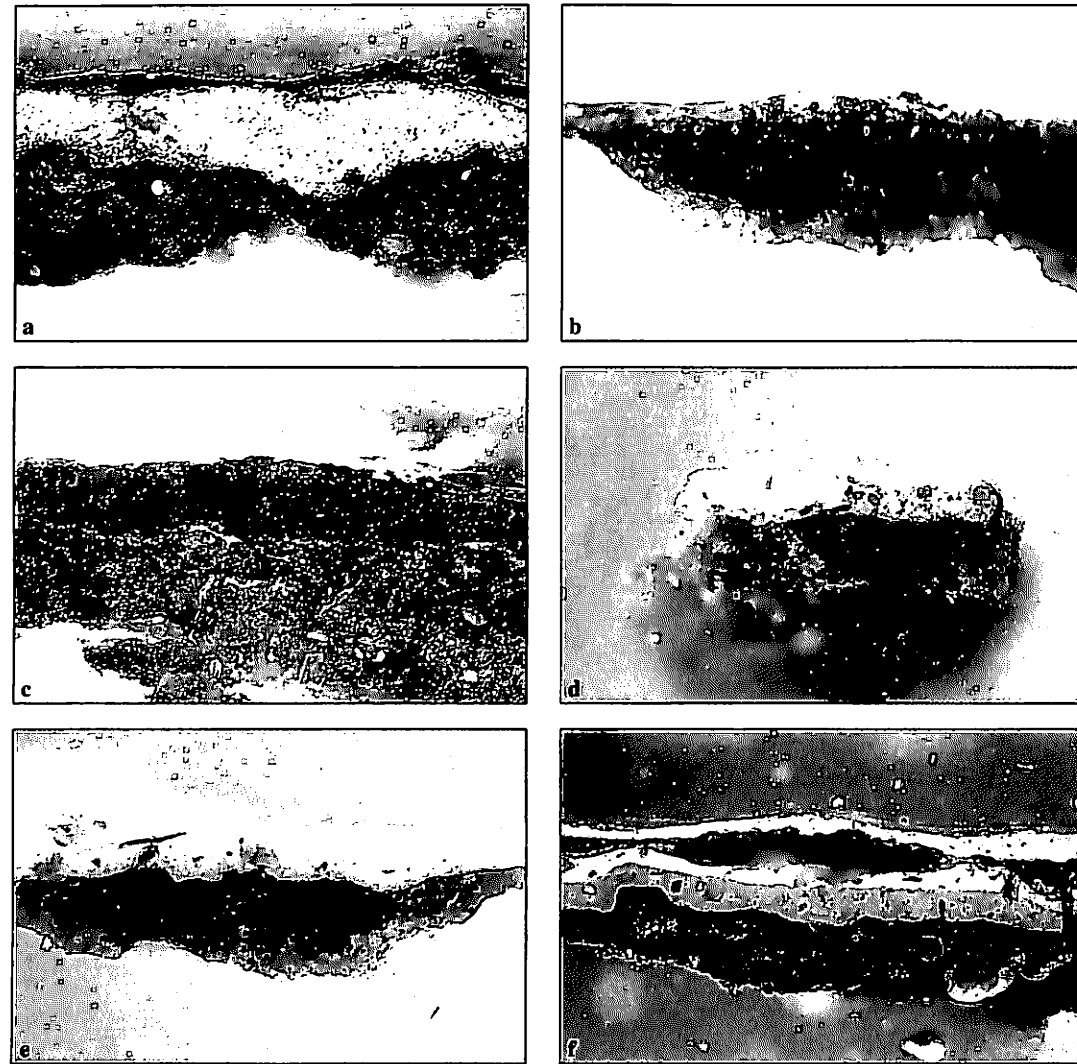


Jesús coronando a San José (ZJCSJ). Localización toma de muestras (fotografía 1, pág. 161).



Padre Eterno (ZPE). Localización toma de muestras (fotografía 2, pág. 161).

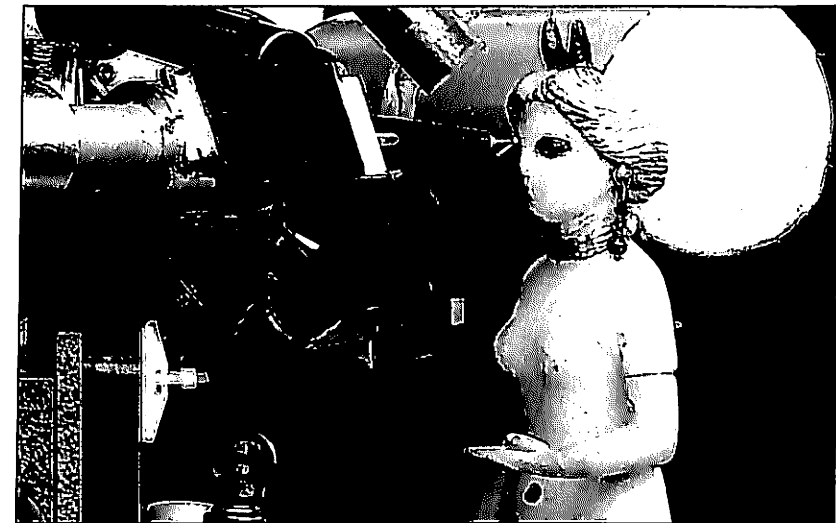




Microfotografías de los cortes estratigráficos de las muestras a) ZPE8; b) ZJCSJ6; c) ZPE4; d) ZSP3; e) ZSP2; f) ZPE1 (figura 3, pág. 163).

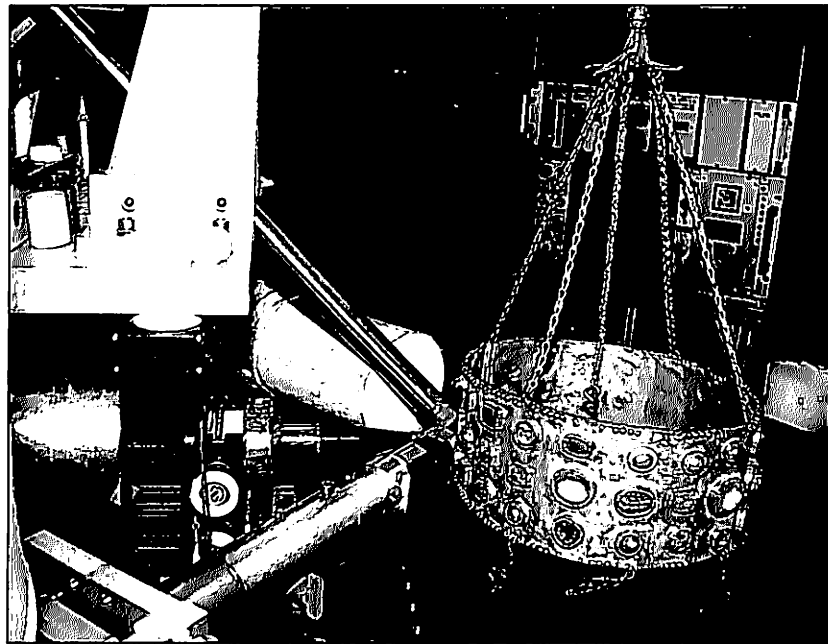


Santa Inés (ZSI). Localización toma de muestras (fotografía 3, pág. 162).

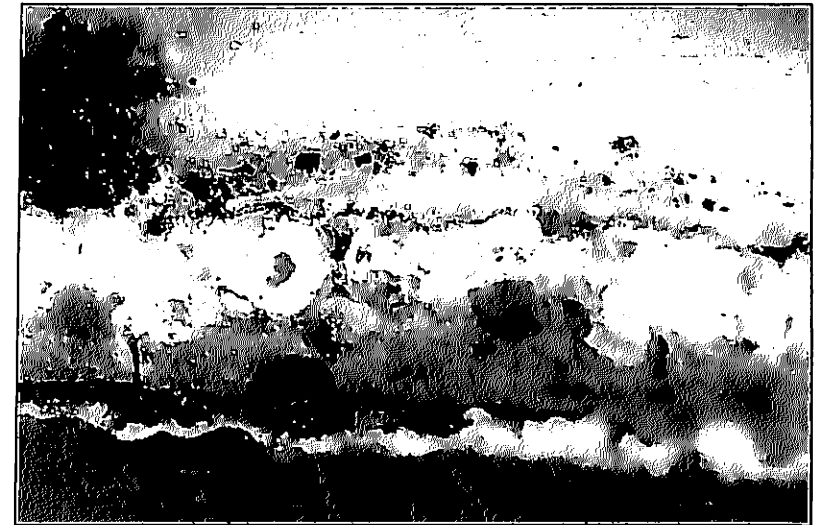


Ishtar in being analysed using the external beam system (figura 2, pág. 201).

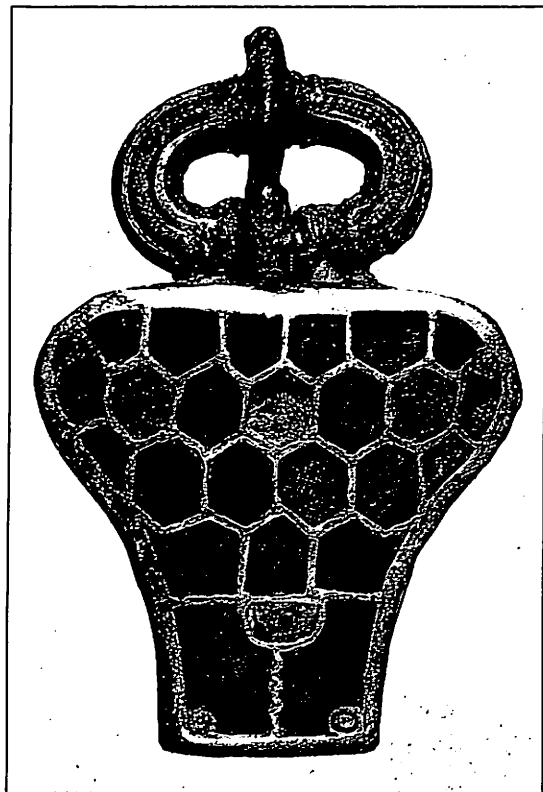




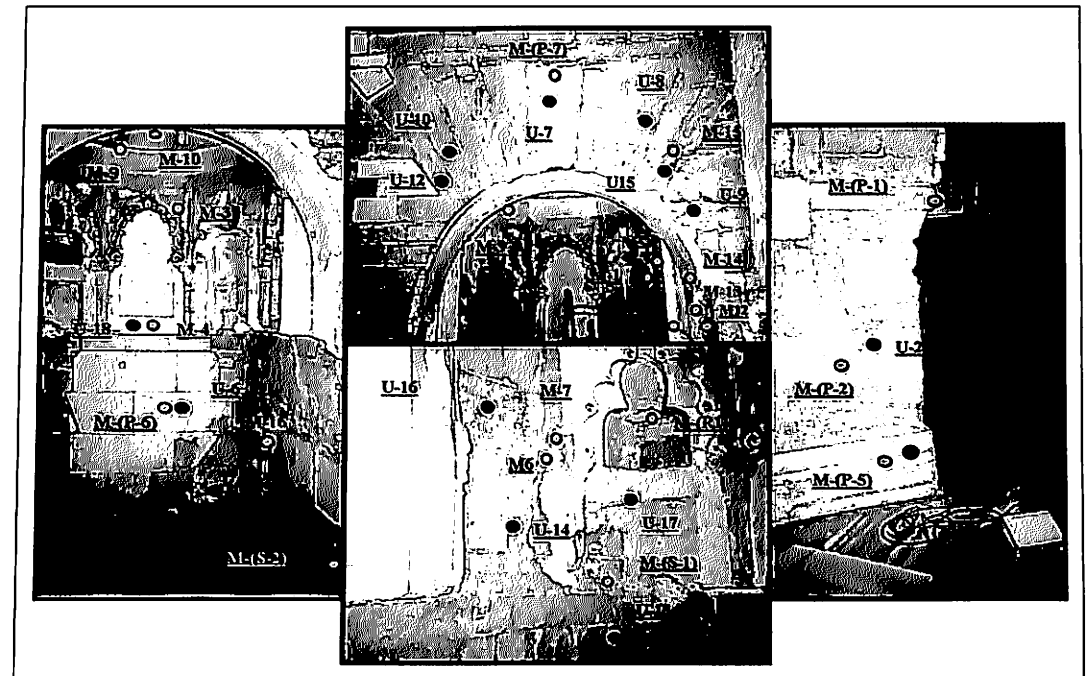
Royal votive crown being analysed with the external beam (figura 5, pág. 203).



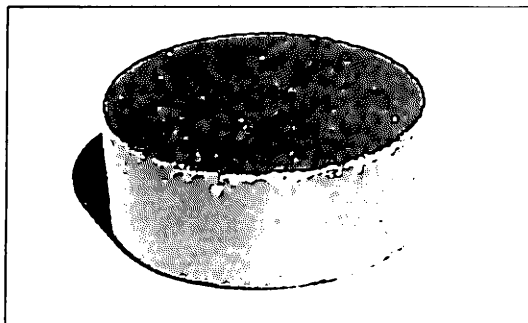
Estratigrafía de una muestra de la puerta del Nacimiento (fotografía 1, pág. 327).



Merovingian jewel with garnets set in cloisonné style (figura 8, pág. 205).



Localización de toma de muestras y ensayos de transmisión de ultrasonidos (figura 1, pág. 408).



*Aspecto de una de las probetas de bronce grafito preparadas a partir de virutas (figura 1, pág. 500).*



*Comparación de eslabones loop-in-loop. En la parte superior los de manufactura antigua y en la inferior los modernos (figura 2, pág. 529).*