

INVESTIGACIÓN PRELIMINAR DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN Y CAUSAS DE ALTERACIÓN DE LA BÓVEDA DE LA SALA CONSISTORIAL DEL AYUNTAMIENTO DE SEVILLA

Robador González, María Dolores; Alcalde Moreno, Manuel; De Vega García, Esther; Gimena Córdoba, Pilar.

Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. E. T. S. de Arquitectura de Sevilla.

RESUMEN

El objeto de estudio es la bóveda del Cabildo o Sala Capitular Baja del Ayuntamiento de Sevilla, edificio cuyas trazas originales son del arquitecto Diego de Riaño, 1527; la bóveda se comenzó en 1534.

La planta es rectangular con una bóveda muy rebajada dividida mediante potentes nervaduras en 36 casetones, cada uno de los cuales alberga a un rey o reina de España, entre Carlos I y Alfonso III, todo ello magníficamente esculpido en piedra, una calcarenita bioclástica de la zona, más bien franca, adornada con policromías y dorados.

El estado de conservación a nivel general es bueno, pero puntualmente se han producido rupturas, algunas fragmentaciones, la más grave la caída de un gran trozo de nervio, y la bella pátina que recubre toda la superficie presenta numerosas disyunciones, con pérdidas numerosas de material aunque de poca masa. La policromía se ha perdido en gran parte y más aún los dorados. Todo ello ha inducido a la realización de un estudio diagnóstico cuyos primeros resultados se presentan aquí.

La investigación ha comenzado con un exhaustivo análisis de los indicadores de alteración y de la naturaleza de los materiales pétreos. Ante la presencia de fracturas, fisuras y fragmentaciones, se ha medido la velocidad de transmisión del sonido en toda la nervadura, con objeto de localizar la existencia de alteraciones internas no visibles exteriormente. Para identificar los posibles mecanismos que han conducido a las disyunciones, se ha realizado un estudio termohigrométrico ambiental y un análisis de contenido de sales y de humedad en la piedra.

Los resultados se utilizarán como base para ulteriores investigaciones y para el proyecto de restauración.

ESTUDIO DE LOS INDICADORES DE ALTERACIÓN

Estudio experimental

Se ha realizado un exhaustivo estudio de los indicadores de alteración presentes en toda la superficie de la bóveda. En la Figura 1 se muestra a título de ejemplo una vista parcial de la bóveda con una grave fragmentación en un nervio.

Análisis de los resultados

El estado de conservación se puede calificar de forma muy global como bueno. Es decir, la piedra ha soportado el paso de varios siglos de forma excelente, creando una pátina noble y resistente, en algunas partes con ayuda del hombre, sobre todo en las zonas coloreadas o doradas. Esta ya es una razón que obliga a respetar lo que hasta ahora se ha mostrado como duradero y cuando haya que intervenir se hará con la mayor aproximación posible al empleo de materiales y técnicas originales. No obstante, se observan graves degradaciones puntuales que impelen a una necesaria intervención

Los factores de alteración más importantes son los relacionados con las migraciones de humedad y de sales, con sus ciclos de humectación-secado, cristalización-disolución e hidratación-deshidratación.

Los mecanismos de alteración implicados son los relacionados con el aumento

de volumen en poros e intersticios que conducen a disyunciones de placas, con pérdida de material pétreo, de películas y escamas, fundamentalmente de pátina, de abombamientos o hinchamientos, es decir, disyunciones sin pérdida de materia. También se producen arenizaciones con pérdida de materia, aunque a veces sólo se llega a leves disgregaciones. Los picados se presentan de forma esporádica.

Las fracturas, fisuras y fragmentaciones están relacionadas con los cambios térmicos rápidos o con las vibraciones provocadas por seísmos, perforadoras, etc. El estudio termohigrométrico también puede informar en el primer caso.

Las excoりaciones se deben en la mayor parte a perforaciones para clavos y, en algunos casos, a lo que hipotéticamente han podido ser tomas de muestras en otros estudios.



Figura 1. Fragmentación con gran pérdida de material en un nervio

MEDIDAS DE LA VELOCIDAD DEL SONIDO

Estudio experimental

Se ha realizado un estudio del tiempo de transmisión del sonido en los nervios de la bóveda. Dividiendo la distancia entre el emisor y el receptor por dicho tiempo, se obtiene la velocidad de transmisión del sonido.

Son conocidas las relaciones entre dicha velocidad y la compacidad del material, resistencia mecánica y otras propiedades físicas. De esta forma, se emplean para diferenciar los litotipos utilizados, determinar pérdidas de compacidad por arenizaciones, etc. Pero la razón principal por la que se ha recurrido a este método de ensayo no destructivo es por su gran utilidad a la hora de determinar fracturas o fisuras internas, no visibles exteriormente y, por tanto, no encontradas en el examen visual de indicadores de alteración.

Se han tomado medidas en tres secciones de cada nervio, y en cada sección se han tomado cinco valores, según muestra la Figura 2, con la intención de barrer ampliamente la sección y tener mayor seguridad en la detección de posibles discontinuidades. Se han obtenido así quince valores de velocidad del sonido en cada nervio.

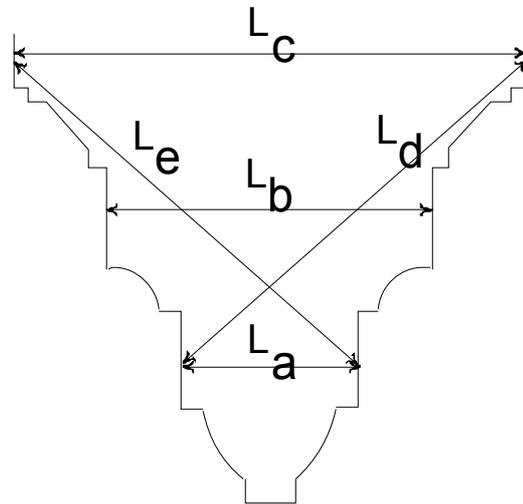


Figura 2. Distancias emisor-receptor

Análisis de los resultados

En la Figura 3 se han marcado los lugares donde los valores de velocidad de transmisión han sido anormalmente bajos, lo que indica la existencia de alguna patología en la piedra, o bien de dificultades de asentamiento de los palpadores. Estos puntos habrán de ser objeto de especial atención en la intervención, por si hubiera que tomar medidas de sustitución, consolidación, reforzamiento estructural, etc, pues es en dichos puntos donde existe mayor riesgo de que se puedan producir fragmentaciones y, consecuentemente, desprendimientos. El punto C56 es el que ha presentado velocidad de sonido más baja y, por tanto, requerirá mayor atención.

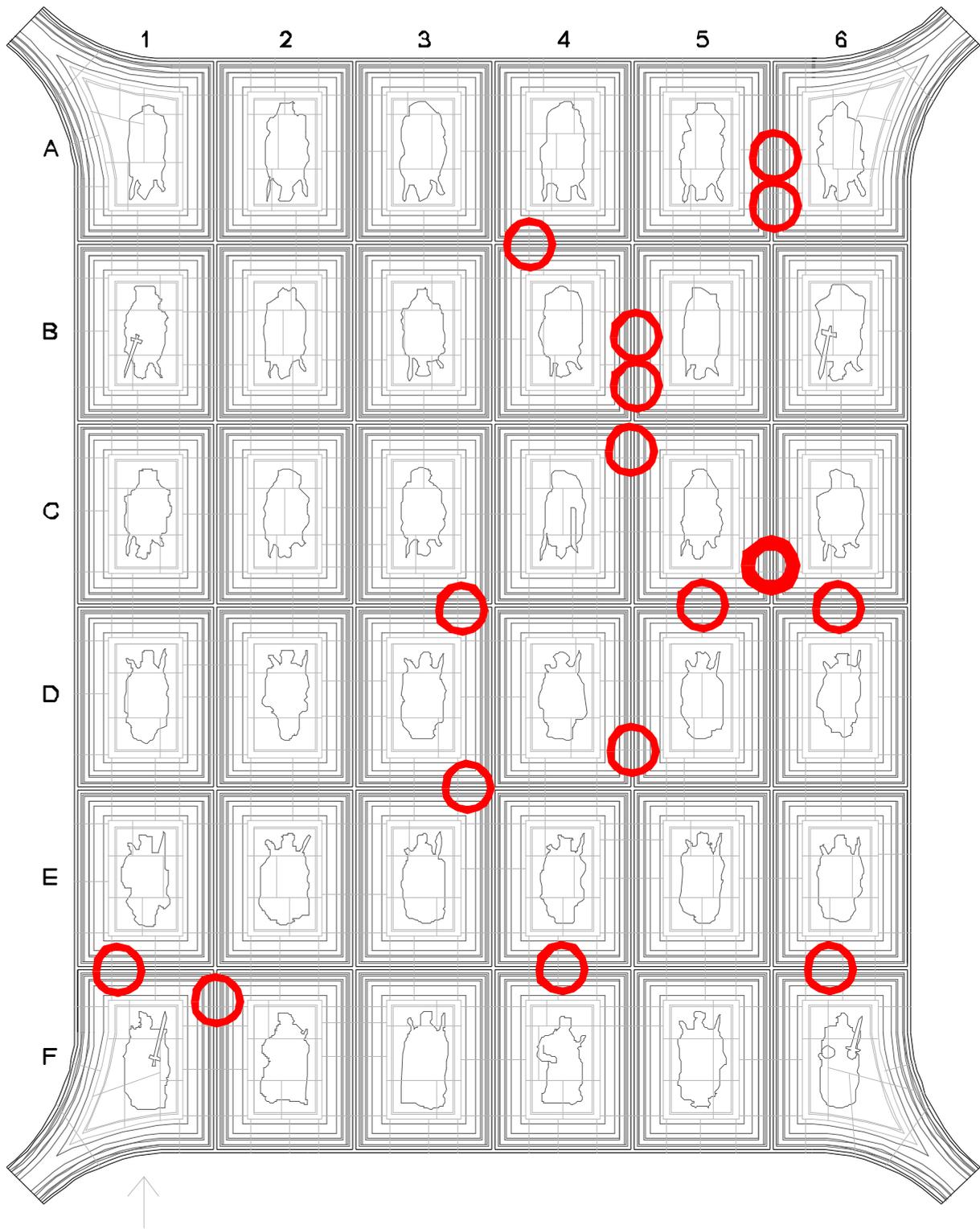


Figura 3. Situación de los puntos con muy baja velocidad del sonido

ESTUDIO TERMO-HIGROMÉTRICO AMBIENTAL

Estudio experimental

Se ha realizado un seguimiento continuo de las evoluciones de la temperatura y de la humedad ambiente con seis sensores colocados, dos de ellos en sendos casetones y cuatro en las cornisas, y en tres periodos de tiempo: del 1 al 15 de septiembre de 2004, del 24 de enero al 23 de febrero de 2006 y del 22 de marzo al 21 de junio de 2006. También se han tomado medidas puntuales en vertical, a diferentes alturas, en días determinados.

Condiciones Ambientales. Día de Pleno

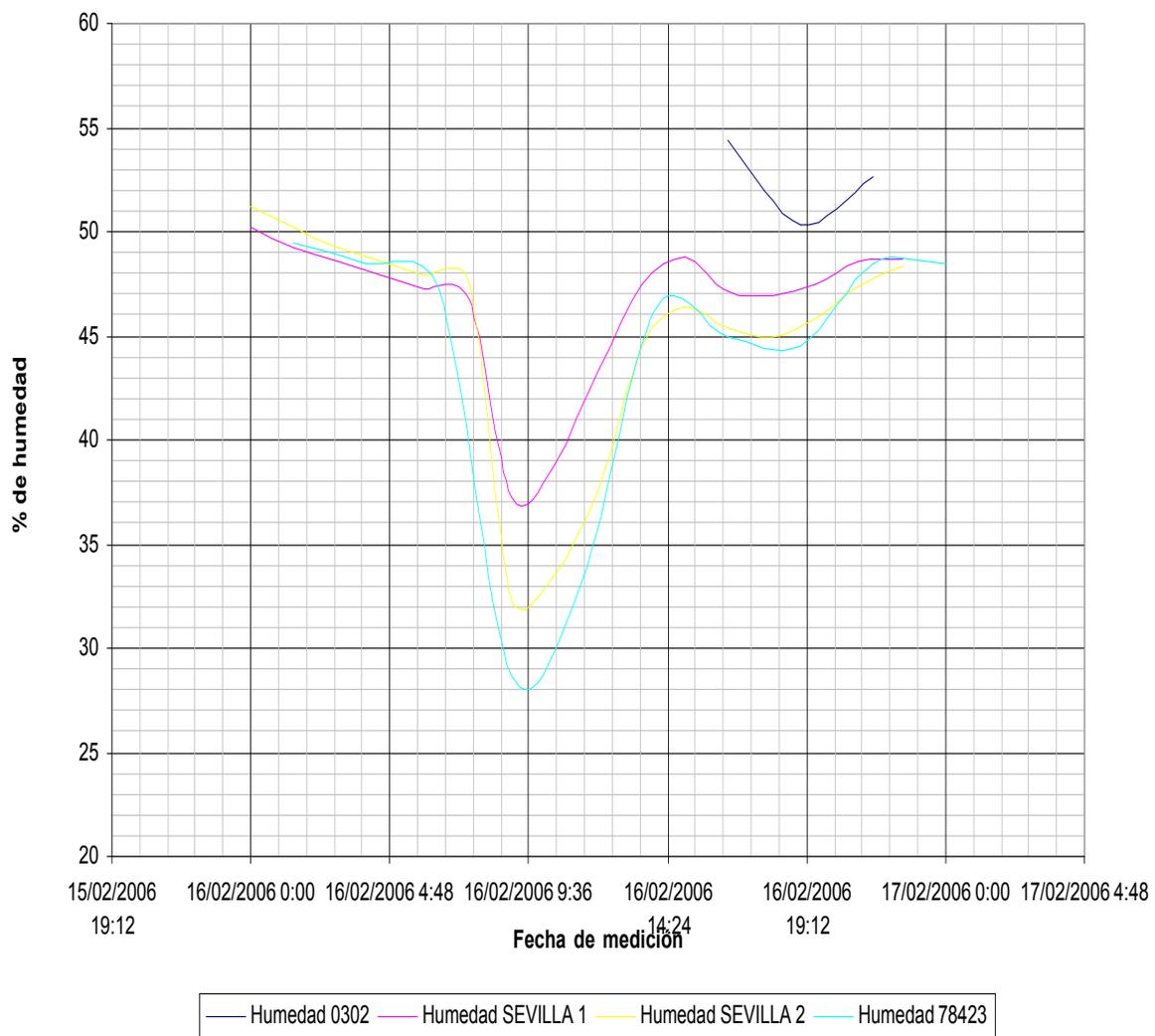


Figura 4. Variación de la humedad ambiental en día de pleno

Condiciones Ambientales Día de Pleno

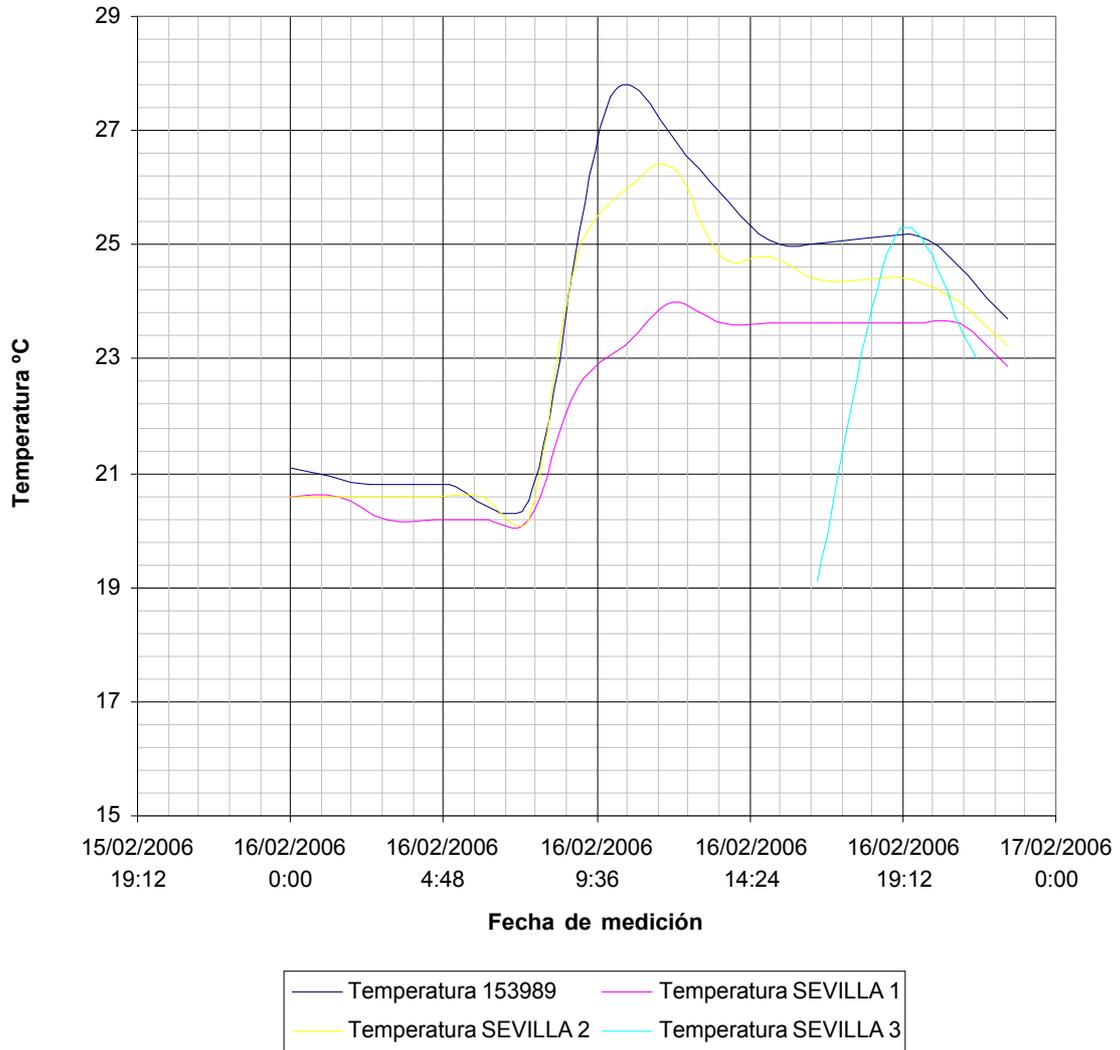


Figura 5. Evolución de la temperatura ambiental en día de pleno

Análisis de los resultados

Se producen desviaciones importantes con respecto a la evolución normal, tanto en la temperatura como en la humedad, en ciertos días concretos. La mayor parte son jueves, día en que se suelen celebrar los plenos. Concretamente, el 16 de febrero de 2006, día en que se celebró un pleno, se ha estudiado más detalladamente.

Lo más destacable son los incrementos bruscos de temperatura en las primeras horas de la mañana, presumiblemente a partir de la puesta en marcha de la calefacción, y la correspondiente bajada de humedad relativa (la humedad absoluta permanecerá constante mientras no haya afluencia de público). A partir de las 9,30 AM la humedad relativa presenta una rampa de ascenso hasta las 14,30 en que se estabiliza, cuando probablemente se termina el pleno.

Es conocida la inequívoca relación entre los cambios bruscos de temperatura y de humedad con la generación de mecanismos que conducen a disyunciones, sobre todo de películas. Establecer una relación entre la abundancia de disyunciones en la bóveda estudiada y el comportamiento medioambiental, sobre todo en los días en que se celebra pleno es ineludible.

Se impone, pues, un control climático del recinto evitando los cambios bruscos de humedad y de temperatura, evitando, sobre todo, las posibles condensaciones, así como valores altos de humedad. En Sevilla no hay que prevenir valores excesivamente bajos de temperatura relacionados con la gelivación.

DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICE DE HUMEDAD Y DE SALINIDAD EN LA PIEDRA

Dentro de las causas de alteración de los materiales pétreos, se le atribuye a los ciclos y migraciones de humedad y a la presencia de sales solubles en la piedra una gran responsabilidad. Los indicadores de alteración más comunes asociados con estos factores son las disyunciones de escamas, películas y placas, decohesiones en sus diversos grados (desagregaciones, disgregaciones, arenizaciones y pulverizaciones), todos ellos presentes tanto en el techo como en los frisos, así como picados y alveolizaciones cuando también se cuenta con el concurso del viento, lo que en este caso no ha lugar.

Estudio experimental

Se ha medido la presencia de humedad en el interior de la piedra y de sales en la superficie mediante medidores que presentan los valores, tanto de humedad como de salinidad, como índices en una escala de 0 a 100. Tienen un valor cualitativo, útil solamente para hacer comparaciones entre zonas o entre fechas. No supone esto una pérdida de interés pues, a la hora de identificar los factores de alteración responsables de los deterioros, son las migraciones de agua y sales, su evolución en el tiempo, posibles ciclos de humectación-secado, etc, lo que nos interesa dilucidar, más que valores absolutos exactos.

Se han realizado medidas en la bóveda y en los frisos en dos fechas: septiembre de 2004 y febrero-marzo de 2006 y se ha estudiado su distribución espacial y su evolución en el

tiempo.

Análisis de los resultados

Se observa que entre el estudio realizado en el 2004 y el de 2006 hay un incremento global de los índices de humedad y de salinidad.

ESTUDIO MINERALÓGICO-PETROGRÁFICO

Estudio experimental

Para la caracterización mineralógico-petrográfica se han estudiado cinco muestras. Las técnicas empleadas para la caracterización han sido Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopía Óptica de Luz Transmitida Polarizada (MOP)

Difracción de Rayos X

Los resultados obtenidos con este método se recogen en la Tabla 2

Tabla 2. Composición mineralógica de las muestras de piedra (%)

Muestra	Calcita	Feldespato	Cuarzo	Otros
ASP-1	>90	7	Ind	Filosilicatos
ASP-2	>90	5	Ind	Fils, yeso?
ASP-3	>90	Ind	5	yeso?
ASP-4	>90	<5	Ind	-
ASP-5	>90	<5	Ind	-

A la vista de los resultados se deduce que todas las muestras presentan composiciones mineralógicas bastante similares, siendo el porcentaje de calcita (carbonato cálcico) superior al 90% en todas ellas. Esto las incluye a todas ellas dentro del grupo de rocas carbonatadas muy puras, que a pesar de que sean rocas prácticamente monominerálicas pueden presentar gran variedad de texturas y componentes carbonatados de diverso origen, lo que justifica la necesidad de realizar un estudio petrográfico detallado.

Como minerales accesorios aparecen feldespatos en diferentes proporciones en todas las muestras estudiadas, y cuarzo en muy escasa cantidad. Esto es indicativo de que se trata de rocas que tienen su origen geológico sin demasiada influencia continental, ya que estos minerales constituyen los terrígenos de aporte continental. Por otro lado la influencia de estos en el comportamiento de la roca es prácticamente inerte.

También se han detectado cantidades minoritarias de otros minerales que si pueden tener mayor influencia en el comportamiento de las rocas, aunque su proporción es muy escasa tal y como manifiesta la intensidad de los picos diagnósticos en los difractogramas. Por un lado se ha detectado filosilicatos que pueden corresponder a micas o a minerales arcillosos. Estos últimos pueden jugar un papel decisivo en los procesos de alteración de los materiales, especialmente si se tratan de minerales expansivos. En ambos casos tienen un origen intrínseco a la roca, bien por deposición simultánea al resto de componentes, o bien, en el caso de las arcillas, proceder de la

alteración mediante hidrólisis de los feldespatos.

Por otro lado también se han detectado cantidades indicios de yeso (sulfato cálcico) en algunas muestras. Este compuesto puede participar en los procesos de alteración de la roca ya que se trata de una sal de relativa solubilidad y puede generar procesos cíclicos de cristalización y solubilización dependiendo del contenido de humedad. El origen del yeso puede ser intrínseco a la roca, proceder de la alteración de la propia piedra si se encuentra en un ambiente contaminado, o por removilización procedente de otros materiales como morteros.

Descripción Petrográfica. Microscopia Óptica (MOP)

Tras la observación visual de las muestras en corte fresco junto con la visión de las láminas delgadas al microscopio se ha comprobado que todas las muestras corresponden a las denominadas *calizas bioclásticas*. Presentan una textura *arenítica* en mayor o menor grado, variando el tamaño de grano, la proporción de matriz y cemento, y el grado de compactación. Así pues, texturalmente, las rocas se pueden englobar en el grupo de calcarenitas, aunque la componente detrítica (cuarzo, feldespato...) es muy escasa o casi nula, siendo los aloquímicos calcáreos (con elementos tamaño arena) los únicos responsables de dicha textura. Por otro lado, también se han observado diferencias entre unas muestras y otras en cuanto a la naturaleza de los aloquímicos o en sus proporciones relativas.

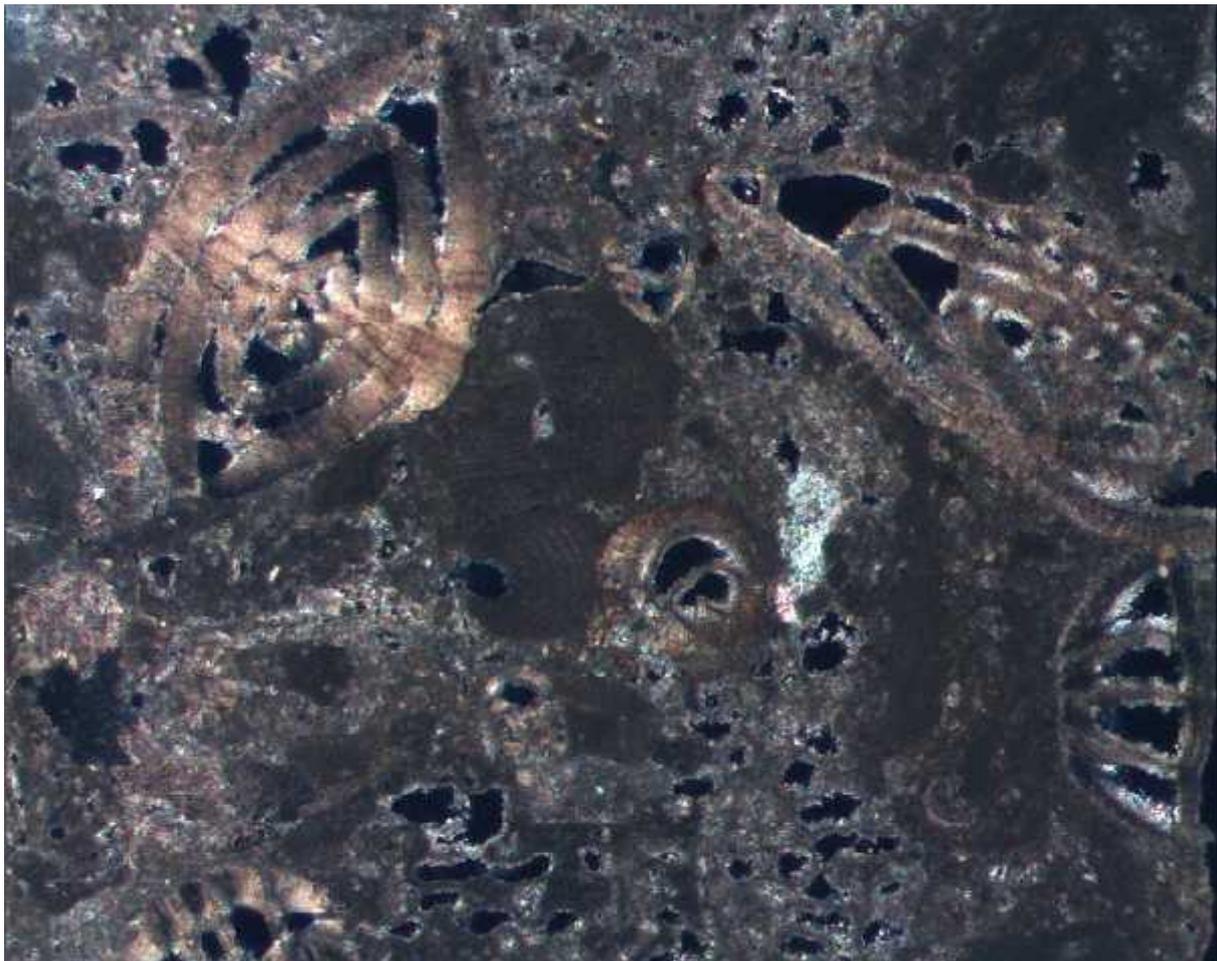


Figura 6. Aspecto global textura de la muestra ASP-2 dónde se observan abundantes nummulites y algunos fragmentos de algas. Objetivo 2,5x

Análisis de los resultados

Lo que más interesa destacar es el carácter puramente calizo de la piedra, lo que hace que las intervenciones realizadas con morteros de cal sean compatibles con su naturaleza.

La conocida carbonatación de la cal con el tiempo puede incluso mejorar en sus propiedades, si la unión con el sustrato se ha realizado adecuadamente.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDE, M.; MARTÍN A.: *Morfología macroscópica de alteración acelerada de algunos materiales pétreos de monumentos de Andalucía (España)*. Materiales de construcción, nº 218, 1990.

ESBERT, R; MARCOS, R: *La deterioración de las piedras de la Catedral de Oviedo. 2a parte: formas y fenómenos de alteración*. Materales de la Construcción 186, 79-88, 1982.

FANCELLI, P: *Il Progetto di Conservazione*. Ed. Guido Guidotti. Roma, 1983.

GUERRERO, M^a.A.: *Diagnóstico del estado de alteración de la piedra del palacio consistorial de Sevilla. Causas y mecanismos*. Tesis doctoral. Sevilla, 1990.

MARTÍN, A: *Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de obras de piedra de interés histórico-artístico*. Ed. Ceura. Madrid, 1990

TERREROS, G.G.; ALCALDE, M.; VILLEGAS, R: *The main front of the San Telmo Palace in Seville. Characterization of stones, weathering and change in properties*. En *La conservazione dei monumenti nel bacino del Mediterraneo* (ed. Fassina, V.; Ott, H.; Zezza, F.), Venecia, 1994, 619-624. III Int. Symp. on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Venecia, 1994.

VILLEGAS, R.: *Estudio de la alterabilidad y respuesta a tratamientos de conservación de los principales tipos de piedra utilizados en catedrales andaluzas*. Serv. Publ. Universidad de Sevilla, 1990.

NOTA: *Este trabajo se ha realizado con la ayuda del Proyecto I+D BIA2004-07237 del Plan Nacional 2004*