

# COMPOSICIÓN Y ORIGEN DE LAS SALES EN LA IGLESIA DE SAN ISIDORO (ÚBEDA)

M.J. CAMPOS Y M.J. DE LA TORRE

Dpto. de Geología de la Universidad de Jaén. Escuela Politécnica Superior de Linares. Alfonso X el Sabio, 28. 23700- Linares.

## INTRODUCCIÓN

La Iglesia de San Isidoro está situada en el centro histórico de Úbeda. El edificio primitivo, que se remonta al siglo XIII, se concibió en el gótico y fue construido sobre los restos de una fortificación árabe. A partir del siglo XVI sufrió una constante remodelación de la antigua fábrica siguiendo el modelo de la catedral de Jaén. Este ambicioso proyecto es ralentizado por la depresión económica padecida en Úbeda a final del siglo XVI. A través de revisiones sucesivas con las que se simplificaron las trazas, se consigue finalizar las obras en 1698 procediéndose a derribar parte del edificio viejo, respetando las portadas y buena parte del muro perimetral (Moreno, 1993). La última intervención en San Isidoro ha sido realizada recientemente desde octubre de 2003 hasta mayo de 2005. Con ella se ha pretendido mejorar los numerosos defectos estructurales que llevaba padeciendo desde su construcción. También se aprovechó para sustituir elementos en los tejados, actuar sobre las filtraciones de agua y reponer morteros en las fachadas.

Esta iglesia como la mayor parte de monumentos ubetenses está construida con la calcarenita típica de la comarca de la Loma conocida como Piedra Dorada, de la que se conocen dos variedades, viva y franca (Sebastián et al., 1996). La planta de San Isidoro es ligeramente asimétrica y presenta algunos defectos estruc-

turales que han conducido a la acumulación y circulación de agua a través de sus muros. Las sucesivas fases constructivas e intervenciones ya comentadas han introducido una gran variedad de morteros tanto de cal como de yeso e incluso cemento Portland más recientemente. La unión de estos dos factores (infiltración y sustitución e introducción de nuevos morteros) ha provocado el crecimiento de sales tanto en eflorescencias como en subeflorescencias. Con este trabajo pretendemos identificar y caracterizar dichas sales así como identificar su origen para controlar su aparición.

## MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES

Se han recogido 20 muestras de sales sobre sillares y morteros de la iglesia de San Isidoro en zonas donde aparecían como eflorescencias masivas. Un primer muestreo tanto del interior como del exterior fue realizado en plena intervención del edificio (marzo de 2004) mientras que el segundo muestreo se llevó a cabo 10 meses después de que concluyeran dichas obras (marzo de 2006). En este segundo muestreo las sales habían sido eliminadas de las portadas, por lo que se precedió a recogerlas sólo del interior de la iglesia.

Las técnicas que se han empleado para su estudio se detallan a continuación.

Difracción de Rayos X: Las muestras se molieron en mortero de ágata hasta un tamaño menor de 50  $\mu\text{m}$ . Se



Figura 1: Arquivolta sur con eflorescencias de epsomita.



Figura 2: La misma arquivolta tras eliminar las sales, dos años después.

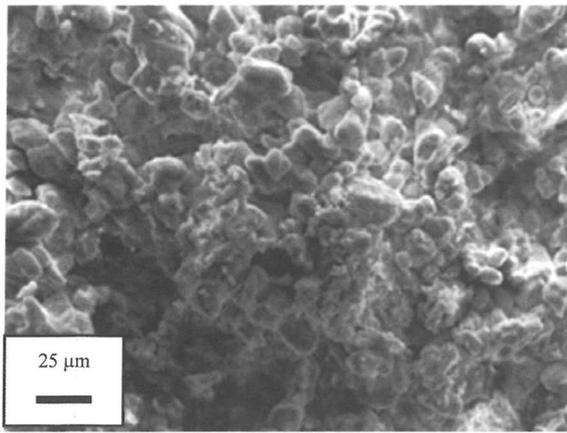


Figura 3: Cristales de hexahidrita sobre mortero.

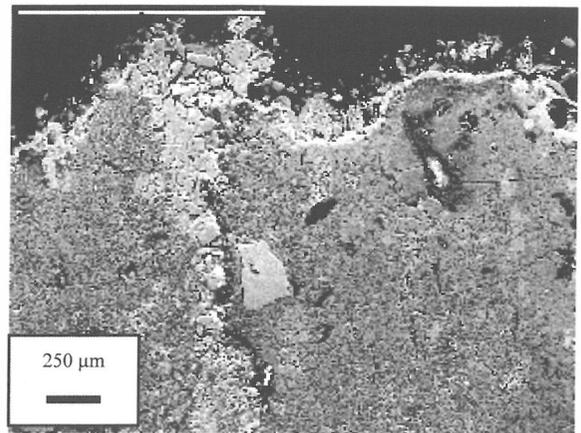


Figura 5: Cristalización de yeso en forma de costra superficial con crecimiento hacia el interior rellenando un canal perpendicular a la superficie.

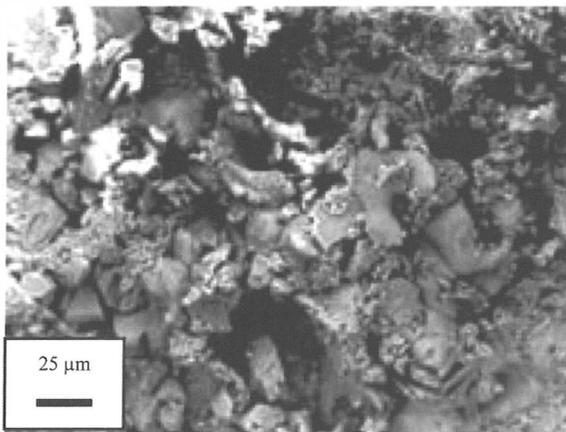


Figura 4: Hexahidrita en subfluorescencia bajo placa de calcarenita desprendida.

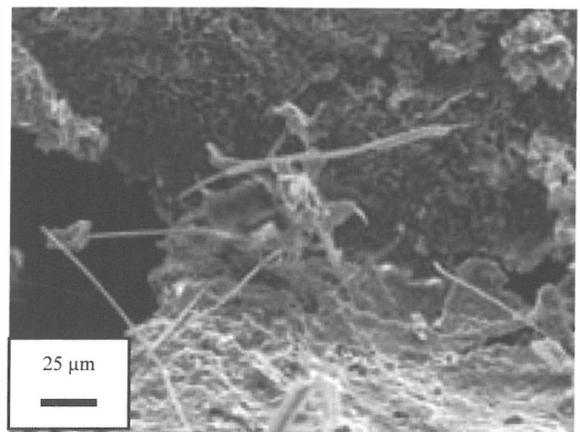


Figura 6: Crecimiento acicular de cristales de yeso sobre mortero.

utilizó un difractómetro de polvo con rendija automática, filtro de Ni, radiación Cu K $\alpha$ , trabajando a 35 kV y 25 mA y con una zona explorada de 2 a 70° 2 $\theta$ .

Microscopio electrónico de barrido: Se seleccionaron algunas muestras de sales con el fin de observar la microestructura y morfología de sus cristales gracias al microscopio electrónico de barrido (SEM). Dichas sales fueron metalizadas con carbono para conseguir identificarlas mediante el microanálisis.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

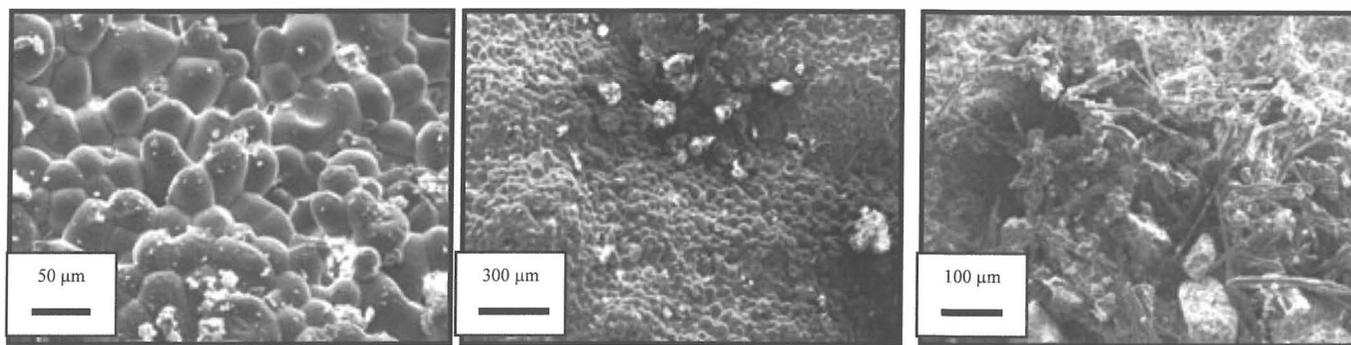
La diversidad de sales identificadas en la iglesia de San Isidoro responde a diferentes orígenes según sea su naturaleza composicional. Hemos procedido a agruparlas atendiendo a la situación de las eflorescencias.

A) Portadas norte y sur de la iglesia. En las muestras analizadas se ha detectado una asociación de sales de sulfato y magnesio en la que la epsomita (MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) aparece como componente mayoritario acompañada de una importante cantidad de hexahidrita (MgSO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O). Las sales presentaban un aspecto céreo y de color blanco amarillento especialmente en la portada sur, donde llegaban a tapizar la arquivolta casi en su totalidad. Estas sales son susceptibles de cristalizar en varios estados de hidratación por lo que Winkler y Singer (1972) las consideran especialmente peligrosas ya que son capaces de hidratarse y cambiar de volumen en muy pocas horas, frente a los

sulfatos sódicos que necesitan varios días. Su aparición es especialmente problemática ya que se han concentrado en elementos ornamentales de gran valor arquitectónico.

Este problema de sales es de origen relativamente reciente y relacionado con la deficiente evacuación de las aguas de lluvia durante la intervención en los tejados. La gran continentalidad de la zona propicia un rápido proceso de evaporación del agua acumulada en dichos sillares en cuanto se alcanzan las altas temperaturas características de la primavera ubetense, acelerado por la acción del viento. Las sales que habían permanecido disueltas durante el invierno empiezan a cristalizar aprovechando zonas de debilidad de la piedra, desestabilizando las uniones intergranulares al ejercer presiones extras en la estructura. (Silva y colaboradores, 2003). En un estudio complementario realizado sobre los sillares y morteros de la iglesia se pudo constatar la existencia de subeflorescencias tras la observación de muestras en láminas delgadas. Las subeflorescencias tienen un efecto disruptivo mucho mayor que las eflorescencias (Ordaz et al., 1998).

En el segundo muestreo estas sales habían desaparecido porque fueron eliminadas al finalizar la intervención del año anterior. Desafortunadamente el método elegido para ello fue la aplicación de agua a presión. La arquivolta sur muestra un aspecto totalmente descarnado y suponemos que las sales volverán a aparecer conforme avance la primavera.



Figuras 7 y 8: Crecimiento de cristales isométricos de nitrato potásico relacionados con un medio húmedo.

Fig. 9. Crecimiento de cristales aciculares sobre revoco de yeso.

B) La mampostería del templo, tanto en su cara exterior como en el interior, revela otras formas de asociación de sales originadas por la sustitución reciente de morteros de cal por otros con cemento Portland. Se han analizado 10 muestras en las que la asociación más común es yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) con hexahidrita en 8 de ellas; las 4 correspondientes a la escalera de ascenso a la espadaña complementan lo anterior con trazas de mirabilita ( $\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) y níter ( $\text{KNO}_3$ ). La asociación yeso-epsomita sólo aparecía en 2 difractogramas del muestreo inicial que en el segundo habían evolucionado también a yeso-hexahidrita. Cuando el agua penetra y circula a través de la piedra disuelve iones sulfato del cemento; los cationes que acompañan al sulfato se obtienen por disolución de los diferentes morteros o bien de la calcita o dolomita de la propia Piedra Dorada. Este fenómeno es especialmente llamativo en la escalera de subida a la espadaña donde las sales son más variadas ya que se superponen mayor cantidad de morteros de diferente composición unidos a los problemas de humedad. Los nitratos proceden de la disolución de excrementos de cernícalo acumulados en el tejado y su posterior infiltración. Las sales cristalizan tanto en la superficie de los morteros originando eflorescencias, como a escasa profundidad en los sillares (subeflorescencias) generando desplazados que al desprenderse dejan ver las sales.

Llama especialmente la atención el cambio en el estado de hidratación que han sufrido las sales entre los dos muestreos realizados. En el primer muestreo de esta zona, la sal predominante era sulfato magnésico en forma de epsomita, con siete moléculas de agua; en el segundo muestreo por el contrario, la epsomita ha desaparecido prácticamente y la forma resultante es la hexahidrita, con seis moléculas de agua. Si asumimos que los muestreos fueron realizados en el mismo mes, marzo, pero distanciados dos años y con niveles pluviométricos similares, podemos suponer que las obras de impermeabilización de los tejados han conseguido paliar en parte la infiltración de agua desde niveles superiores, pero no han podido eliminar el ascenso de agua capilar por lo que la humedad sigue siendo muy importante. Por ello, en el interior de la iglesia se deben producir ciclos de hidratación-deshidratación estacionales que permiten la cristalización alternativa de hexahidrita o epsomita (Winkler, 1973).

C) Habitación junto al altar en la cara norte utilizada actualmente como almacén. En esta sala, las 6 muestras tomadas tienen una composición que difiere de las anteriores. Se han identificado grandes eflorescencias de nitrato potásico con dos hábitos cristalinis distin-

tos acompañados de algunas trazas de yeso. Sobre la parte de mampostería cubierta por un revoco de yeso, los nitratos aparecen como whiskers con formas alargadas y de aspecto algodonoso. Las sales níter que han cristalizado entre los morteros de junta de los sillares no cubiertos por revocos son más compactas y no tan largas, con aspecto más sacaroideo. Estas morfologías se aprecian con nitidez en SEM.

La presencia de estos nitratos es de naturaleza claramente orgánica. Existe una conducción de agua residual limitando con una de las paredes de la sala, que periódicamente se anega y satura de agua rica en compuestos nitrogenados.

## CONCLUSIONES

Hemos detectado tres tipos de agrupaciones de sales. Las primeras se han relacionado con el periodo en el que la sustitución de elementos del tejado dejó desprotegida la iglesia frente a las precipitaciones. El agua se acumuló y se infiltró libremente en la mampostería. Este hecho puntual provocó la disolución y la rápida cristalización de sales en las portadas con el ascenso de la temperatura. Las asociaciones del segundo conjunto de sales se relacionan con la presencia de diferentes tipos de morteros unidos a la presencia de humedad tanto capilar como por infiltración. Las diferencias composicionales reflejan la diversidad de morteros empleados. La tercera asociación está directamente relacionada con problemas en la canalización de aguas residuales.

Una vez conocido su origen, es importante prevenir o al menos paliar los factores que han desencadenado estas eflorescencias. Ante todo es necesario evitar las infiltraciones de agua de niveles superiores aunque sean muy puntuales. En el caso de realizarse nuevas intervenciones, los arquitectos deben tomar conciencia de la necesidad de utilizar morteros compatibles con los materiales en los que se van a emplear y no guiarse sólo por criterios económicos o estéticos. Por último, aunque actualmente sería complicado resolver los problemas de capilaridad en el edificio, al menos se podría tratar de reparar la saturación en la conducción de aguas residuales.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Grupo de Investigación RNM-325 de la Junta de Andalucía y ha contado con una beca de formación de doctores del Plan de Apoyo a la Investigación de la Universidad de

Jaén. Agradecemos a D. Robustiano, párroco de San Isidoro, todas las facilidades prestadas en las fases de muestreo.

#### REFERENCIAS

- Moreno, A. (1993). Úbeda renacentista. Guías artísticas Electa. Madrid, 155-163, 213-227.
- Ordaz, J. & Esbert, R.M. (1988). Glosario de términos relacionados con el deterioro de las piedras de construcción. *Materiales de Construcción*, 38, nº 209, 39-45.
- Sebastián, E., Martín, J. & Zezza, U. (1996). The «Piedra Dorada» calcarenite in the cultural built heritage of Baeza (Andalusian Province of Jaen, Spain). *Est. da: Atti Tic. di Sci della Terra*. Ed. New Press, Como. Univ. degli Studi di Pavia, 205-213.
- Silva, B., Rivas, T. & Prieto, B. (2003). Soluble salts in granitic monuments: origin and decay effects. *Applied Study of Cultural Heritage and Clays*. CSIC, Madrid, 113-129.
- Winkler, E. M. and Singer, P. (1972). Crystallization pressure of salts in stone and concrete. *Geol.Soc.of Amer. Bull*, 83, 3509-3514.
- Winkler, E.M. (1973). *Stone: properties, durability in man's environment*. Springer-Verlag, New York. 230 pp.