

# Deterioro en Muros de Edificios Ocasionado por Eflorescencias Salinas

/ GIUSEPPE CULTRONE (\*), EDUARDO SEBASTIÁN PARDO

Departamento de Mineralogía y Petrología. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Avda. Fuentenueva s/n. 18002, Granada (España)

## INTRODUCCIÓN.

La cristalización de las sales es una de las causas más comunes de deterioro del Patrimonio Arquitectónico (Charola 2000). El desarrollo de cristales de sal ocasiona un aumento de volumen de estas fases minerales, que causa tensiones en los poros y fisuras de las rocas (Benavente et al., 2007). Si los líquidos permiten el transporte de una sal, la evaporación, que puede ocurrir tanto en la superficie (eflorescencia) como en el interior de un material (subeflorescencia), regula su cristalización. Además, cuanto más tiempo una solución salina permanece en los poros, mayor es el daño que pueden sufrir los materiales de construcción (Benavente et al., 2003).

El objetivo de este trabajo es investigar el deterioro de los muros de edificios producido por el desarrollo de eflorescencias (o subeflorescencias) debido a la ascensión capilar de una solución saturada de sulfato sódico. Se ha elegido esta sal porque es una de las más dañinas a causa de la fuerte presión de cristalización que ejerce en los poros de una roca cuando, en presencia de agua, pasa de la fase anhidra (thenardita) a la hidratada (mirabilita) (Neville, 2004). Este estudio permite determinar cómo actúan las sales en los edificios y cómo se distribuye el daño entre los diferentes materiales de construcción (piedra, mortero, etc.) que constituyen estas estructuras.

Con este propósito, se han preparado en laboratorio composiciones de materiales de construcción muy comunes en los edificios de nuestro Patrimonio Arquitectónico: piezas de morteros de cal, con y sin aditivos, trabados "en sándwich" por calcarenitas y ladrillos. Los resultados preliminares sobre la intensidad de adhesión de los

morteros con las piezas de calcarenita y de ladrillo han sido ya publicados (Cultrone y Sebastián, 2007).

## METODOLOGÍA.

La mineralogía y textura de las piezas, compuestas por ladrillo y mortero y calcarenita y mortero, se ha estudiado mediante microscopía óptica de polarización (Olympus BX-60).

Para la valoración del comportamiento hídrico del material en examen, se han realizado ensayos de absorción libre (UNI-EN 13755, 2002), desorción (NORMAL 29/88, 1988) y capilaridad (UNI-EN 1925, 2000).

La solución saturada de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> se ha preparado en laboratorio añadiendo 172,4 g de sal en 1 litro de agua desionizada. Los valores de temperatura y humedad relativa en el laboratorio eran de 20 °C y 50%, respectivamente. La solución fue vertida en cristalizadores y, en ellos, se colocaron los materiales compuestos. Para favorecer la evaporación de la solución únicamente a través del material, se cubrió la superficie del cristalizador con parafina. Finalmente, los cambios en la porosidad de los materiales, antes y después del

ensayo de eflorescencia salina, fueron evaluados mediante porosimetría de inyección de mercurio (Micromeritics Autopore III 9410).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los componentes de estas piezas compuestas son, mineralógicamente y texturalmente, diferentes: los ladrillos (L) están parcialmente vitrificados y muestran una notable anisotropía; las calcarenitas (C) tienen superficies rugosas y poros grande; los morteros (M), que representan el 14% del volumen total de las piezas compuestas preparadas en laboratorio, están caracterizados por fisuras de retracción o poros redondeados dependiendo en parte del aditivo usado (puzolana o aireante). Además, los ladrillos son materiales ricos en sílice, mientras que las calcarenitas son calcáreas y los morteros de cal están formados por cuarzo más carbonatos.

Las muestras compuestas por ladrillo+mortero (L+M) presentan siempre valores más altos de absorción de agua por inmersión total (A, Tabla 1) que las de calcarenita+mortero (C+M). Es evidente que es el ladrillo y la calcarenita y no los morteros (como

	Tipo de mortero	A	D <sub>i</sub>	S	P	ρ <sub>A</sub>	ρ <sub>R</sub>	C
L+M	sin aditivo	19,8	0,23	85,5	33,1	1,67	2,50	2,65
	aireante	20,6	0,23	84,9	33,8	1,65	2,49	1,77
	puzolana	19,6	0,24	84,8	33,0	1,68	2,51	2,49
	aireante y puzolana	20,3	0,23	84,1	33,2	1,65	2,47	2,41
C+M	sin aditivo	13,0	0,22	80,1	23,3	1,85	2,41	1,51
	aireante	13,9	0,23	80,9	24,5	1,80	2,39	1,12
	puzolana	14,1	0,25	79,6	25,0	1,81	2,42	1,49
	aireante y puzolana	13,0	0,22	79,0	22,9	1,84	2,38	1,35

Tabla 1. Parámetros hídricos de ladrillos (L) y calcarenitas (C) con morteros (M) sin y con aditivos. Leyenda: A = absorción libre de agua (%); D<sub>i</sub> = coeficiente de desorción; S = coeficiente de saturación (%); P = porosidad abierta (%); ρ<sub>A</sub> = densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>); ρ<sub>R</sub> = densidad real (g/cm<sup>3</sup>); C = capilaridad (g/cm<sup>2</sup>).

**palabras clave:** Eflorescencia, Deterioro, Muros **key words:** Florescence, Decay, Masonries

antes se ha comentado, éstos representan apenas el 14 % del volumen total de las piezas compuestas) quienes influyen en la capacidad de los muros de absorber el agua. Todas las muestras L+M presentan valores más altos de densidad real ( $\rho_R$ ) que las C+M, mientras estas últimas muestran valores más altos de densidad aparente ( $\rho_A$ ). Los valores de porosidad abierta (P) y saturación (S) son más altos en L+M, lo que sugiere que debe haber más interconexiones entre poros y/o fisuras. Cuando se añade al mortero de cal un aditivo (aireante y/o puzolana) las piezas tardan más en secarse (D, Tabla 1). El uso de aireante genera burbujas de aire en los morteros, lo que reduce la densidad de las muestras. Finalmente, la absorción de agua por capilaridad es más alta en L+M (C, Tabla 1), aunque se puede observar como en ambos grupos la presencia del aireante reduce la capacidad de absorción por capilaridad.

Es interesante señalar como varía la evaporación de la solución salina dependiendo del tipo de mortero utilizado. En efecto, mientras la presencia del aireante obstaculiza el movimiento de la solución salina en el interior del mortero ya que reduce la interconexión entre los poros, la puzolana (en este trabajo se ha utilizado una ceniza volcánica), incluso combinada con el aireante, permite el movimiento de la solución a través del mortero. Este resultado es confirmado por los datos de capilaridad (C, Tabla 1). Las diferencias entre las muestras compuestas son más acentuadas cuando se han utilizado ladrillos.

En cuanto al deterioro, los morteros no actúan como materiales "de sacrificio" en estas piezas compuestas preparadas en laboratorio. Después de tan sólo 24 horas, la solución salina había pasado a través de los morteros y cristalizado en ladrillos y calcarenitas como eflorescencia y subeflorescencia, dependiendo de la velocidad de evaporación de la solución en la superficie del material. Al final de la prueba, solamente la parte superior del ladrillo y calcarenita combinados con un mortero con aireante (y sin puzolana) estaban libres de sales, lo que demostraba que en estas piezas era difícil para la solución salina ascender (Fig. 1). En general, las muestras sufrían la pérdida de pequeños fragmentos en las etapas tempranas de esta prueba,

un fenómeno que ocurrió especialmente en muestras en las que había sido añadido puzolana a los morteros. Después de 11 días se habían desarrollado grandes cristales de mirabilita sobre la superficie de los ladrillos que, además, habían ocasionado fisuraciones en el interior. Por otra parte, en las calcarenitas se habían desprendido escamas muy sutiles de piedra presionadas por cristales aciculares de sal (Fig. 2). Este diferente comportamiento se debe a una tasa de evaporación más alta en la superficie de las calcarenitas comparada con la de los ladrillos.



fig 1. Aspecto de una pieza compuesta por ladrillo más mortero con aireante tras el ensayo de eflorescencia salina.



fig 2. Aspecto de una pieza compuesta por calcarenita más mortero tras el ensayo de eflorescencia salina. Los cristales aciculares de sal originan y desplazan escamas de calcarenita.

Se ha comprobado, además, que la prueba de eflorescencia salina ha modificado el sistema poroso de estas piezas mixtas de dos materiales. En concreto, en los ladrillos y calcarenitas, un pequeño volumen de poros está ocupado por las sales. La tendencia general es el desplazamiento de las curvas porométricas hacia poros más pequeños. Esto significa que una nueva familia de microporos (o microfisuras) se ha desarrollado por la presión de cristalización del sulfato sódico. La presión de cristalización es más alta en los microporos y es la responsable del deterioro de las piezas.

## CONCLUSIONES.

El reducido volumen de mortero (14%) influencia la absorción del agua y de la solución salina por capilaridad en función del aditivo incorporado a la mezcla. Los morteros no actúan como materiales "de sacrificio" en muestras de mampostería porque permiten la migración y cristalización de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  en ladrillos y calcarenitas como eflorescencia o subeflorescencia.

El daño observado en nuestras muestras es similar al de muchos edificios: pérdida de fragmentos y fisuraciones. Las sales rellenan un pequeño volumen de poros y causan el desarrollo de microfisuras, que son las responsables del deterioro de los muros.

## AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo ha sido financiado por el contrato Marie Curie EVK4-CT-2002-50006, el Proyecto de Investigación de Excelencia de la Junta de Andalucía FQM 1633 y el Grupo de Investigación RNM-179 de la Junta de Andalucía.

## REFERENCIAS.

- Benavente, D., García del Cura, M.A., Ordóñez, S. (2003): Salt influence on evaporation from porous building rocks. *Cnstr. Build. Mat.*, **17**, 113 - 122.
- Benavente, D., Martínez Martínez, J., Cueto, N., García del Cura, M.A. (2007): Salt weathering in dual-porosity building dolostones. *Eng. Geol.*, **94**, 215-226.
- Charola, A.E. (2004): Deterioration in historic buildings and monuments. *10<sup>th</sup> International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Stockholm (Sweden)*, Vol. **1**, 3-14.
- Cultrone, G., Sebastián E. (2007): Durabilidad de juntas de materiales mixtos de construcción. *Macla*, **7**, 22.
- Neville, A. (2004): The confuse World of sulfate attach on concrete. *Cem. Concr. Res.*, **34**, 1275-1296.
- NORMAL 19/88 (1988): Misura dell'indice di asciugamento (drying index). CNR-ICR, Roma.
- UNI-EN 1925 (2000): Metodi di prova per pietre naturali. Determinazione del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità. CNR-ICR, Roma.
- UNI-EN 13755 (2002): Metodi di prova per pietre naturali. Determinazione del coefficiente di assorbimento d'acqua a pressione atmosferica. CNR-ICR, Roma.