

# Alteración de Morteros como Análogo Natural de la Longevidad de Matrices Inmovilizantes para Residuos Peligrosos

/ JAIME CUEVAS RODRÍGUEZ, RAQUEL VIGIL DE LA VILLA MENCÍA, ROSARIO GARCÍA GIMÉNEZ

Departamento de Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. C/ Francisco Tomás y Valiente, s/n, 28049 Madrid (España)

## INTRODUCCIÓN.

La hipótesis planteada en este trabajo es la de considerar el estado de degradación de morteros históricos según su edad como análogo al comportamiento predecible en almacenamiento de residuos peligrosos consolidados en matrices cementíceas.

Los objetivos planteados son: caracterizar morteros procedentes de diversas ubicaciones en la ciudad de Ávila (España) en un lapso temporal de dos milenios, estimar la composición y microestructura iniciales de los mencionados morteros y establecer el grado de validez de la analogía.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha dispuesto de cuatro morteros. El mortero 1 corresponde al asiento de un mosaico, con cronología entre los siglos III y IV, situado extramuros en las proximidades de la Iglesia de San Pedro. Se trata de un mortero en el que se asientan las teselas del mosaico, situado a una profundidad de entre 40/50 centímetros respecto al nivel del suelo actual. El mencionado mosaico se encontraba situado en un jardín, de tal manera que sobre él reposaba un sustrato vegetal sometido a riego constante.

El mortero 2 fue recogido en un centro de culto, datado en el siglo V y procedente del mismo entorno que el asiento del mosaico anterior (extramuros, en las proximidades de la Iglesia de San Pedro, en la plaza del

Ejército), aunque a una profundidad superior, 80/90 centímetros. Se corresponde con el mortero usado para la trabazón de la mampostería de granito con la que se ejecuta la cimentación del edificio. La humedad de ubicación se debe a la circulación de aguas por el subsuelo. El mortero 3 procede del cubo 76 de la muralla, situado en las dependencias del Colegio Diocesano y coincide con el mortero empleado en el relleno del cubo (mortero de cal y bloques de granito) de cronología del siglo XV-XVI. Por último el mortero 4 procede de un contrafuerte en el frente meridional del hemicírculo del ábside en la Iglesia de San Andrés. Ha sido obtenido en una zona de alto grado de hidromorfía debido a inundación de los cimientos del mencionado templo. Esta muestra está datada en el siglo XVIII.

Sobre las muestras anteriores se ha procedido al análisis mineralógico semicuantitativo por difracción de rayos-X en un equipo SIEMENS D-5000. La caracterización de gradientes de composición mineralógica se efectuó por raspado de la matriz o pasta (evitando los agregados de cuarzo y feldespatos), según transectos marcados desde la parte interior de los morteros (núcleo) hacia la zona exterior (contacto con suelo o roca). Las muestras obtenidas (<10 mg) fueron molidas y

caracterizadas por DRX, extendiendo el polvo sobre un portaobjetos de silicio de fondo cero. También se realizó un estudio textural del material utilizando microscopía electrónica de barrido (MEB) en un equipo PHILIPS modelo XL 30 con fuente de wolframio. Las muestras se consolidaron endurecidas con resina LR-White. Tras cortar las muestras y pulir la superficie se observaron las relaciones texturales entre granos minerales y se realizaron un análisis químicos puntuales, a lo largo de varios transectos, mediante energías dispersivas de rayos X (EDX) con detector de silicio/litio y analizador DX4i de EDAX.

Para completar el análisis se han efectuado medidas de porosimetría de mercurio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición mineralógica de los morteros es variada y se corresponde con el uso a que se ha destinado el aglomerante o al grado de lixiviación que ha sufrido el mortero (Tabla 1). Las relaciones más bajas en la proporción cal/arena se corresponden con las ubicaciones de mayor humedad. Este hecho impide que se pueda estimar de forma fiable la relación cal/arena inicial. Es importante destacar que, a escala global, toda la cal se ha convertido en carbonato.

Los morteros 1 y 2, siglos III y V, no

Mortero	filosilicatos	cuarzo	microclina	plagioclasa	calcita	dolomita	cal/arena
1	< 5	5	15	68	7	-	1:20
2	< 5	62	< 5	< 5	31	-	1:4
3	< 5	11	< 5	< 5	87	-	1:1
4	20	6	37	25	11	< 5	1:9

Tabla.1. Composición mineralógica semicuantitativa global de los morteros en porcentaje de peso, determinada por difracción de Rayos-X. Estimación de la relación inicial cal/arena.

**palabras clave:** Residuo peligroso, Carbonatación, Matrices de cemento, Mortero antiguo

**keywords:** Hazardous waste, Cement matrices, Ancient mortar. Carbonation

presentan gradientes mineralógicos, mientras que en los de los siglos XV a XVIII se observan rellenos centimétricos blanquecinos en zonas más porosas. Los rellenos del S. XV son de calcita, mientras que los del XVIII presentan calcita, aragonito, cuarzo criptocristalino e hidrotalcita. Aunque no se han detectado silicatos de calcio hidratados, la presencia de hidrotalcita indica una carbonatación parcial de la pasta más moderna.

Se debe prestar atención a la coloración de los ejemplares estudiados según su antigüedad; así, las muestras más antiguas exhiben tonos ocres en el conjunto de la matriz aglomerante. Por su parte, en las modernas, las zonas ocres oscuras se sitúan en los rellenos, lo que se evidencia más claramente en la muestra del S. XV que en la del S. XVIII.

La porosidad de los morteros se sitúa en torno al 30 % en todas las muestras. Su distribución difiere con la edad de las mismas, ya que sólomente la más moderna, en asociación con rellenos de materiales poco cristalinos, presenta poros a la escala de mesoporos (<50 nm).

Finalmente, al objeto de validar la analogía planteada entre los morteros y las matrices cementíceas que se usan para estabilizar residuos peligrosos frente a la lixiviación de metales pesados, se puede aludir a los análisis químicos de detalle (Fig. 1) realizados mediante MEB-EDX, con una media de 100 análisis por cada uno de los morteros estudiados.

Los perfiles de Fe confirman su relación con la existencia de gradientes de tinción en la muestra más antigua. La presencia de Fe se asocia a Mn y Ti, lo que evidencia el carácter residual de estas fases de óxidos. En los análisis asociados a rellenos fisurales en depósitos de óxidos se han encontrado además, concentraciones puntuales de elementos de tierras raras (Ce, La, Pr, Nd, Th) en relación con la presencia de fósforo, lo que podría deberse a la presencia de monacita-Ce (Ce, La, Pr, Nd, Th, Y) PO<sub>4</sub>.

Sólo en los morteros más modernos se aprecian zonas con concentraciones significativas de Pb y Zn. Este hecho es consistente con los argumentos de Van Gerven et al. (2005), que constatan la sustitución total de la pasta por carbonatos. Éstos, pueden ser disueltos al entrar en contacto con agua superficial o subterránea, lo que produciría la liberación, a largo plazo, de estos metales.

Con los datos aportados en este trabajo consideramos que no se puede modelizar la degradación del hormigón en función del tiempo. Yokozeki et al., (2004) han utilizado el espesor afectado por el empobrecimiento superficial de calcio para modelizar con éxito la velocidad de degradación de hormigones con 100-200 años de antigüedad. En nuestro caso, la alteración de la pasta es uniforme, y no se observan gradientes de concentración.

## CONCLUSIONES.

Para validar la hipótesis de partida es necesario demostrar que la concentración de metales pesados en las muestras de mortero es proporcional al tiempo de lixiviado y que su evolución depende de la lixiviación sufrida después de la carbonatación.

La carbonatación se considera, a corto plazo, una reacción positiva para la inmovilización de contaminantes en matrices de hormigón, ya que contribuye a disminuir la porosidad, y por tanto, el transporte de solutos (Garrabants et al., 2004). Sin embargo, a largo plazo, puede facilitar la liberación de los metales en condiciones que promuevan la lixiviación de la matriz.

## AGRADECIMIENTOS.

Damos las gracias a la Comunidad Autónoma de Madrid y a la Universidad Autónoma de Madrid, que han cofinanciado el proyecto, y al Ayuntamiento de Ávila por haber facilitado los morteros.

## REFERENCIAS.

- Garrabants, A.C., Sánchez, F., Kosson, D.S. (2004): *Changes in constituent equilibrium leaching and pore water characteristics of a Portland cement mortar as a result of carbonation*. *Waste Management* **24**, 19-36.
- Van Gerven, T., Cornelis, G., Vandoren, E., Vandecasteele, C., Garrabants, A.C., Sánchez, F. y Kosson, D.S. (2005): *Effects on progressive carbonation on heavy metal leaching from cement-bound waste*. *American Institute of Chemical Engineers J.*, **52**, 826-837.
- Yokozeki, K., Watanabe, K, Sakata, N. y Otsuki, N. (2004): *Modeling of leaching from cementitious materials used in underground environment*. *App. Clay Science* **26**, 293-308.

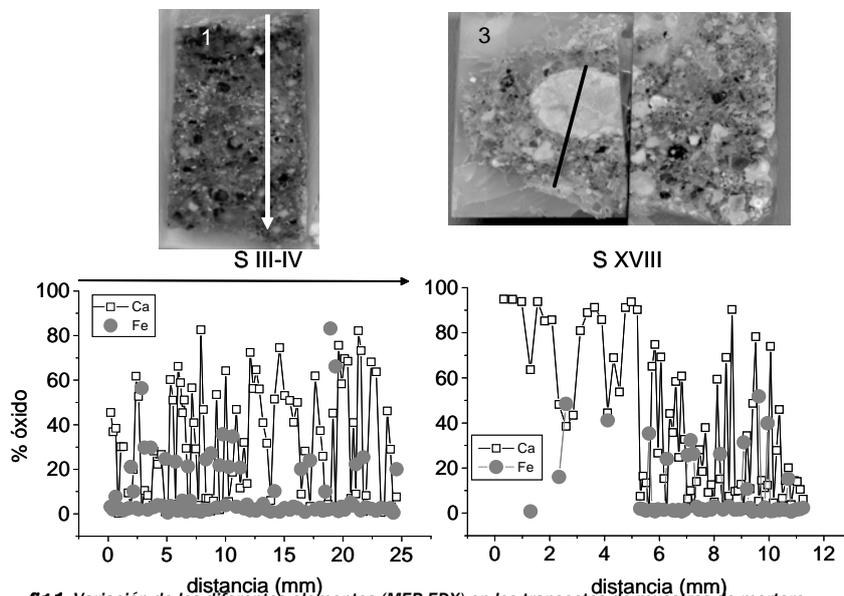


fig.1. Variación de los diferentes elementos (MEB-EDX) en los transectos de muestras de mortero.