

Caracterización térmica de un mortero románico

Thermic characterization of a Romanic mortar

R. ARTIAGA, A. VARELA, F. BARBADILLO, R. LOSADA, J. L. MIER.

Resumen

En este trabajo se ha investigado mediante análisis térmico simultáneo la composición de un mortero medieval procedente de la catedral de Mondoñedo. La mayor parte de los estudios indican que en las construcciones medievales se utilizaban predominantemente morteros basados en la cal. Sin embargo otros estudios ponen de manifiesto la utilización de morteros de yeso en dos catedrales francesas del siglo XIII. La comparación de los espectros calorimétricos indica similitudes en algunos aspectos con el mortero de la catedral de Chartres y, en otros, con la de Laon. También se han encontrado similitudes con la catedral de St. Denis. El espectro termogravimétrico permite aclarar los procesos químicos que ocurren durante el análisis.

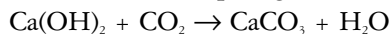
Introducción

Al margen de la influencia que tiene la proporción de áridos, la resistencia mecánica de los morteros de cal proviene de la reacción entre un componente calcáreo, el óxido de calcio CaO y el agua añadida para producir hidróxido cálcico Ca(OH)_2 . La reacción implica la precipitación del hidróxido de calcio en la forma de hidróxido coloidal. La reacción posterior con el CO_2 para formar carbonato cálcico CaCO_3 produce el endurecimiento del material. Casi todos los morteros medievales analizados en Francia corresponden a esta categoría. Las catedrales de Chartres y Bourges contiene morteros de cal y morteros de sulfato cálcico hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Se ha intentado explicar la presencia de yeso en estructuras antiguas como proce-

dente de la reacción del dióxido de azufre, contaminante atmosférico) con los morteros de cal. Otros estudios demuestran que los morteros de yeso se utilizaron en catedrales medievales francesas, conteniendo hasta un 25% de yeso [1]. Se ha descrito que los morteros de la Gran Pirámide contienen 81.5% de yeso y 9.5% de carbonato cálcico [2]. La cal se empezó a utilizar en Egipto durante el período romano, utilizándose hasta entonces el yeso casi exclusivamente. El carbonato cálcico encontrado en la Gran Pirámide podría ser simplemente una impureza del yeso [3].

La descomposición térmica de la caliza produce CaO y CO_2 . La decarbonatación ocurre a temperaturas superiores a 800°C. Una temperatura excesiva produce cal quemada dura de alta contracción, alta densidad y baja reactividad química. Con temperaturas más bajas se obtiene cal quemada blanda, de baja contracción, baja densidad, alta porosidad y alta reactividad química. Es muy posible que en la Edad Media, debido a la incapacidad para controlar adecuadamente la temperatura, obtuviesen morteros de calidad variable. La hidratación de la cal (CaO) da lugar al hidróxido de calcio, Ca(OH)_2 . Éste debe de reaccionar con el CO_2 para formar calcita por un proceso de recarbonatación en el que se intercambia CO_2 por agua:



Debido a la baja permeabilidad, dicho intercambio es lento, pudiendo requerir varios años para completarse el proceso. La contracción al final del mismo es del 0.35%. Para reducir la contracción se añaden grandes cantidades de conglomerado. Contrariamente, los morteros de yeso

endurecen rápidamente, experimentando una expansión de aproximadamente el 0.5%. Por otro lado, se ha descrito que la presencia de sulfato cálcico en los morteros medievales que contienen arcilla alterada térmicamente podría retardar la consolidación de los mismos, de forma análoga a como lo hace en el cemento Portland [1]. Entre las razones más probables para el uso del yeso en morteros medievales está el sustituir morteros de cal por morteros de yeso de consolidación más rápida y que la calcinación del yeso requiere menor energía y da mayor rendimiento [1].

La catedral de Mondoñedo, aunque construida en período gótico (1219 a 1248) es descrita como de transición del románico al gótico, lo cual concuerda con el arcaísmo de la arquitectura gallega [4]. Al igual que las de Lérida, Tarragona, Tudela y Sigüenza fue construida siguiendo en lo estructural el modelo francés de Languedoc, donde la austeridad decorativa cisterciense se conjugaba con plantas y estructuras todavía románicas [5]. Las torres se han construido en el siglo XVII [5], quedando otras torres cilíndricas más antiguas en el interior de las actuales [6]. La torre sur tuvo que ser reformada posteriormente para permitir el alojamiento del reloj.

Experimental

Se extrajeron muestras del interior de la torre norte de la catedral. Las muestras se guardaron en bolsas de polietileno herméticamente cerradas para mantener la humedad original.

Para el análisis térmico se utilizaron bloques enteros de entre 20 y 30 mg.

Dichos bloques estaban formados por conglomerado y mortero.

Se utilizaron cápsulas de platino, procurando que una cara de la muestra, perfectamente lisa, apoyara sobre la cápsula.

Los experimentos se llevaron a cabo en un analizador térmico simultáneo Rheometric STA 1500 con sistema de interface, controlado desde ordenador. Se aplicó una rampa de calentamiento de 10 K/min desde temperatura ambiente hasta 1200°C, utilizándose argón como gas de purga, con un flujo de 50 ml/min.

Resultados y discusión

La Figura 1 muestra un termograma típico en el que la curva DTG concuerda perfectamente con la DSC, lo cual demuestra que los cambios químicos ocurridos implicaron volatilización endotérmica de sustancias.

Para su estudio, se ha dividido el termograma en cinco zonas (A, B, C, D, E) en las que la forma de las curvas se parece, por trozos a las obtenidas a partir de morteros de catedrales medievales francesas. El aspecto general del gráfico TGA corresponde bastante bien con el obtenido de muestras superficiales de una escultura de Michael Lantz [7] sobre roca caliza.

Zona A: por debajo de los 100°C se produce la evaporación del agua libre, absorbida higroscópicamente.

Zona B: pico endotérmico, con pérdida de masa que corresponde a la deshidratación del sulfato de calcio.

Zona C: pérdida de masa suave y continua que se observa a lo largo de un amplio intervalo al igual que en la muestra de escultura descrita.

Zona D: el carbonato cálcico se descompone en óxido de calcio y CO_2 , con la correspondiente pérdida de peso.

Zona E: se trata de un proceso endotérmico de descomposición, similar al descri-

to para el CO_3Ca en ambiente de CO_2 [8]. Este ambiente podría haberse generado en el proceso anterior debido a un insuficiente caudal del gas de purga.

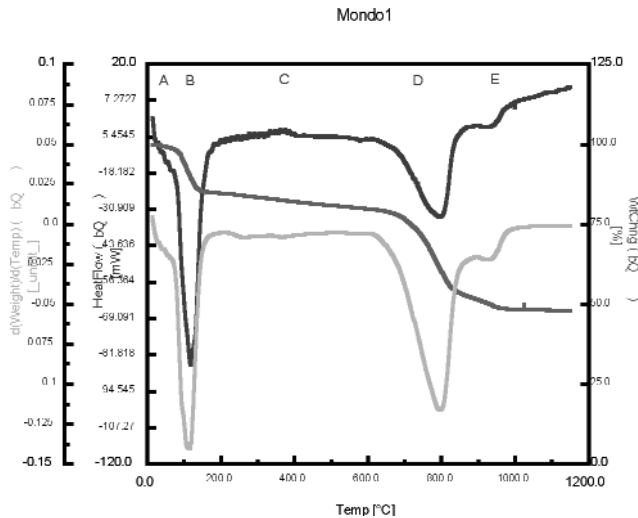


Figura 1. Termograma típico de un mortero mindoniense

BIBLIOGRAFÍA

1. J. ADAMS, W. KNELLER AND D. DOLLIMORE, *Thermochim. Acta*, 211 (1992) 93-106.
2. W. WALLACE, *Ancient Egyptian Materials and Industries*, London, 1865. Citado en F. M. Lea, *The Chemistry of Cement Concrete*, Edward Arnold Ltd., London, 1956, pp. 216-217.
3. A. CHOISY, *L'art de Batir chez les Egyptians*, Paris, 1904.
4. V. LAMPÉREZ, "La Catedral de Mondoñedo" en *La Catedral de Mondoñedo. Medievalismo y Neomedievalismo en la Arquitectura Española: Las Catedrales Gallegas*, Universidad de La Coruña, A Coruña, 1995, pp. 3-7.
5. J. R. SORALUCE, "La Pequeña Seo Mindoniense", en *La Catedral de Mondoñedo. Medievalismo y Neomedievalismo en la Arquitectura Española: Las Catedrales Gallegas*. Universidad de La Coruña, A Coruña, 1995, pp. 9-14.
6. S. SAN CRISTÓBAL, "La Catedral de Mondoñedo", Talleres Gráficos de la Diputación Provincial, Lugo, 1989.
7. J. E. ADAMS, D. DOLLIMORE, *27th N. Am. Therm. Anal. Soc. Proc.*, 1999, 163-169.
8. D. DOLLIMORE, J. D. GUPTA, S. LERDKANCHANAPORN and S. NIPPANI, *26th N. Am. Therm. Anal. Soc. Proc.*, 1998, 208-210.