

# ESTUDIO COMPARADO DE MORTEROS DE CAL EN PASTA Y CAL EN POLVO. CONTROL DE LA CARBONATACIÓN

A. LUQUE <sup>(1)</sup>, E. SEBASTIÁN <sup>(2)</sup>, M<sup>a</sup> J. DE LA TORRE <sup>(1)</sup>, G. CULTRONE <sup>(1)</sup>, E. RUIZ <sup>(1)</sup> Y M. UROSEVIC <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Dpto. de Geología. Universidad de Jaén.

<sup>(2)</sup> Dpto. de Mineralogía y Petrología. Universidad de Granada.

## INTRODUCCIÓN

La mayoría de las intervenciones que se han realizado en la restauración del Patrimonio Arquitectónico en los últimos años han contado con el uso de morteros exclusivamente de cal. Los morteros de cal son los que especialmente se recomiendan a la hora de realizar cualquier añadido o reconstrucción en las intervenciones de los bienes inmuebles, debido a su similitud y compatibilidad con los materiales originales puestos en obra y los materiales pétreos ornamentales. La cal es un material que había caído en desuso tras la generalización del cemento Pórtland (en especial a partir de los primeros años del pasado siglo). El hecho de que estos materiales vuelvan a tener utilidad y demanda por parte de los arquitectos responsables de intervenciones en el Patrimonio histórico ha provocado en la industria de la cal una renovación de las antiguas técnicas de fabricación, intentándose con esto que las cales que actualmente se fabrican presenten mejores propiedades de trabajabilidad y de acabado.

Como consecuencia de la constante incertidumbre que existe a la hora de decidir con que tipo de cal (en pasta o en polvo) es mejor trabajar o cuál presenta mejores cualidades técnicas, en este trabajo se han elaborado cuatro tipos de morteros (ver Tabla 1) con diferentes cales apagadas (dos en pasta y dos en polvo) procedentes de diferentes fabricantes andaluces. El objetivo primordial de este estudio es poder determinar cual de estos morteros presenta tasas más elevadas de carbonatación (o endurecimiento) en distintos periodos de tiempo.

## METODOLOGÍA

En una primera etapa se realizó un estudio exhaustivo de las características de las cales andaluzas que actualmente se encuentran en el mercado (Luque et al, 2004). De este conjunto de cales, se seleccionaron siete para la elaboración de morteros (con una dosificación ligante: árido, 1:3) con los que se está trabajando actualmente en el contexto de un proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Fomento. De este conjunto se han seleccionado los cuatro morteros que mayor periodo de tiempo ha transcurrido desde su fabricación; rebasado el

primer año se presentan los resultados que nos permiten evaluar la progresión del proceso de su carbonatación. La elaboración o amasado de estos morteros se hizo según las referencias encontradas en la bibliografía (Sebastián, 1998). Superados los 8 días, se desmoldaron (Norma UNE 83-800-94), (moldes normalizados de 4x4x16 cm) se conservaron y curaron (durante un periodo superior al año) en una habitación ventilada continuamente con renovación constante de CO<sub>2</sub>, con temperaturas de 15-20 °C ± 2 °C y humedades relativas de 50-60%, valores muy similares a las condiciones medias ambientales en exteriores. Con ello se pretende lograr que el proceso de carbonatación de estos morteros se produzca bajo unas condiciones ambientales muy parecidas a las que se encontrarían una vez puestos en obra. El proceso de carbonatación producido en los morteros se ha ido registrando periódicamente (a los 30 días, 4 meses, 8 meses y 12 meses) mediante el uso de diferentes técnicas analíticas. En este trabajo nos centramos en los resultados obtenidos mediante las técnicas de difracción de rayos X (DRX), termogravimetría (TG) y velocidad de propagación de ultrasonidos.

## TÉCNICAS DE ESTUDIO Y RESULTADOS

### Análisis de DRX

Mediante esta técnica se llega a conocer la composición mineralógica de los morteros y por lo tanto, conocer cuál de las fases minerales que comprende el «ciclo de la cal» (CaO, calcita (CaCO<sub>3</sub>) o portlandita, Ca(OH)<sub>2</sub>) predomina en cada periodo de tiempo establecido. Con el fin de poder comparar los datos de modo objetivo, se ha determinado el parámetro «R», que permite cuantificar de manera razonable la razón de calcita/portlandita (Cazalla, 2002) y, por tanto, el grado de carbonatación que presentan en el interior los morteros en cada momento. En la Figura 1 se recogen los difractogramas obtenidos en el primer mes y transcurrido un año desde su preparación. Presentan una intensificación de los picos de difracción correspondientes a los planos reticulares 104 de la calcita conforme aumenta el tiempo, mientras que simultáneamente el «pico» de mayor intensidad de la portlandita va disminuyendo, lo que confirma la

Morteros de cal apagada en pasta	MI1 y MI5
Morteros de cal pagada en polvo	MI4 y MI7

Tabla 1: Siglas correspondientes a los morteros estudiados.

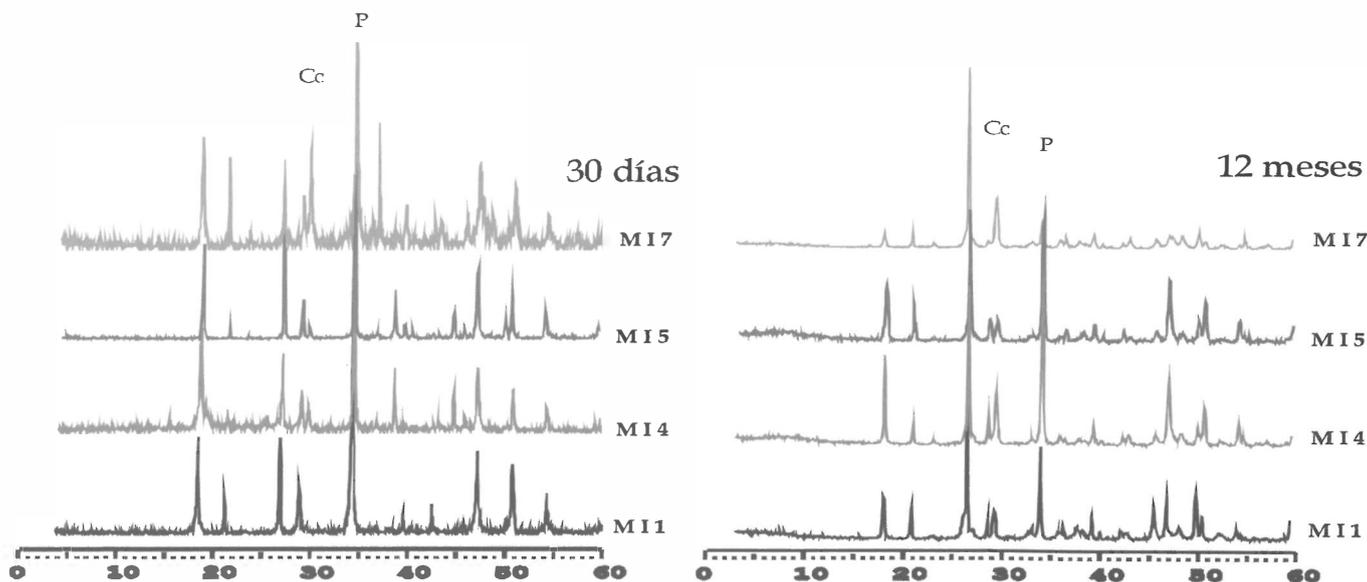


Figura 1: Representación gráfica de los difractogramas obtenidos de las zonas internas de los morteros a los 30 días y a los 12 meses.

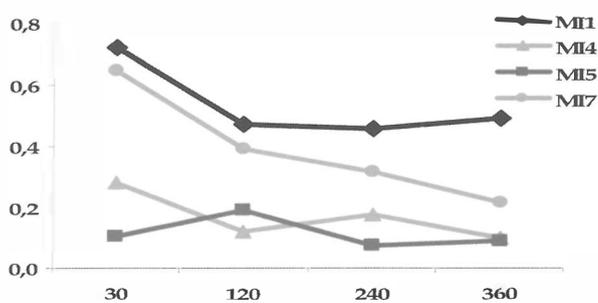
R (Cc/P)	MI1	MI4	MI5	MI7
30 días	0,22	0,17	0,05	0,57
4 meses	0,32	0,35	0,16	0,94
8 meses	0,35	0,35	0,23	0,76
12 meses	0,29	0,37	0,15	2,13

Tabla 2: Valores del parámetro R en el interior de los morteros en los distintos intervalos de carbonatación.

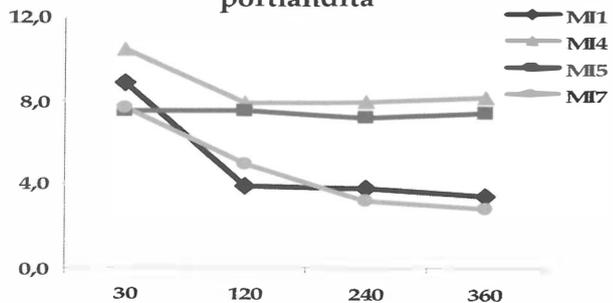
progresiva carbonatación de los morteros. No obstante, hay que añadir que la carbonatación total del interior de los morteros no se consigue después de transcurrido un año, ya que aún se aprecian nítidamente los picos de la portlandita (difractogramas de la Figura 1). Una vez representados los valores del parámetro R (Cc/P) en la tabla 2, observamos cómo efectivamente en todos los casos se percibe un aumento de éste parámetro con relación al incremento del tiempo.

De los resultados obtenidos con esta técnica se deduce que el mortero en el que más rápido y en mayor proporción se ha producido la reacción del hidróxido de calcio a carbonato de calcio (fraguado de la cal) es el de siglas MI7, elaborado con cal apagada en polvo, observándose que los 12 meses ya alcanza un 60-70 %. En el resto de los morteros, para este mismo intervalo de tiempo, apenas se supera el 25 %.

100°C - Pérdida del H2O amasado y/o humedad



400-550°C - Pérdida del H2O estructural de la portlandita



750-900°C - Pérdida del CO2 composicional de la calcita

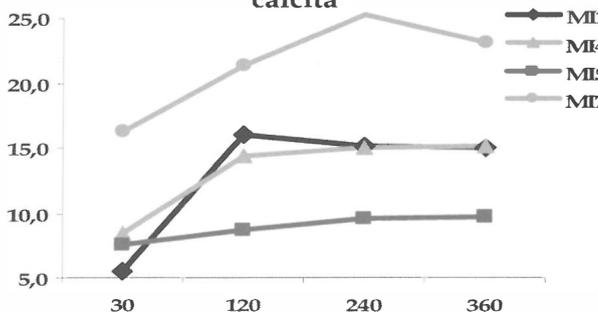


Figura 2: Representación gráfica de las curvas de TG. Pérdida de peso versus tiempo (en días) del ensayo.

**Termogravimetría (TG)**

Con esta técnica el principal dato que se ha valorado ha sido la pérdida de materia (en peso) que se produce en los morteros de cal en el intervalo de temperatura comprendido entre 25 y 1000 °C que son los que alcanza el equipo (analizador termogravimétrico SHIMADZU, modelo TGA-50H). Podemos, por tanto, recoger los valores de las temperaturas de descomposición de las fases minerales que nos interesan para determinar su grado de carbonatación. El primer dato significativo se produce en torno a los 100° C con la pérdida del agua H<sub>2</sub>O de amasado, otro valor revelador entre los 400-550° debido a la pérdida del agua estructural de la portlandita Ca(OH)<sub>2</sub> y el tercero entre los 750-900° con la pérdida del anhídrido carbónico CO<sub>2</sub> composicional de la calcita CaCO<sub>3</sub>. Por tanto, se puede conocer, lo mismo que con la técnica anterior, el estado de carbonatación de los morteros para cada periodo de tiempo programado (Figura 2). Lo mismo que se deducía a partir de los resultados obtenidos mediante DRX se observa como es el mortero MI7 el que mayor porcentaje de CO<sub>2</sub> contiene siendo, por tanto el que más tasa de carbonatación alcanza en un año.

**Ondas ultrasónicas**

Este ensayo se refiere a la medición de la velocidad de propagación de las ondas sónicas (Vp) al atravesar las probetas de mortero, permitiéndonos evaluar sus características elásticas y otros parámetros fisicomecánicos. A partir de las medidas realizadas según tres direcciones ortogonales (Vp<sub>1</sub>, Vp<sub>2</sub> y Vp<sub>3</sub>) es factible calcular (Guyader y Denis, 1986) la anisotropía total de estos materiales de construcción, pudiendo interpretarse, además, el grado de compacidad (y/o densidad) que van alcanzando los morteros y consecuentemente establecer la evolución de su carbonatación.

Los datos de las velocidades de propagación de los ultrasonidos (ver Tabla 3) reflejan un incremento nítido y generalizado conforme transcurre el tiempo desde su fabricación, confirmando el relativo endurecimiento y compactación de los morteros. A diferencia de lo que se po-

día deducir con las anteriores técnicas, el mortero que mayor velocidad presenta a los 12 meses de curado, es el MI4, curiosamente elaborado también con cal apagada en polvo.

**CONCLUSIONES**

Una vez concluidos los ensayos en el periodo de tiempo establecido podemos constatar que las técnicas empleadas son bastante resolutivas, demostrándose claramente cómo se va produciendo la carbonatación en el interior de los morteros y su forma progresiva a medida que va pasando el tiempo. Estudios anteriores (Cazalla, 2002) indican que los morteros que presentan una carbonatación más rápida son los elaborados con cales en pasta, sin embargo, en este trabajo parece demostrarse que las cales en polvo (MI7 y MI4) pueden dar tasas de carbonatación comparables e incluso más altas a las de las cales en pasta tradicionales. Esto puede explicarse por una composición óptima de la materia prima y por un proceso de fabricación de la cal en polvo muy controlado. La velocidad de carbonatación es un parámetro favorable en la evaluación de la calidad de un mortero de cal pero no el único. Estudios en curso demostrarán si éstos morteros tienen, además, propiedades físico-mecánicas y de durabilidad comparables a las de los morteros elaborados con cal en pasta. Sin embargo, con los datos obtenidos para el periodo de tiempo establecido en este trabajo (un año), observamos que los morteros realizados con cal en polvo (en concreto, el designado como MI7) presentan mejores resultados que los elaborados con cal en pasta. Finalmente, señalar que el proceso de carbonatación en ninguno de los morteros se ha completado en un año.

**AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha sido realizado gracias al Proyecto de Investigación «Calidad de los morteros de cal. Variables relacionadas con la materia prima y con el proceso de elaboración», financiado por el Ministerio de Fomento y a los grupos de Investigación RNM-179 y RNM 325 de la Junta de Andalucía.

		Vp1	Vp2	Vp3	ΔM (%)	Δm (%)
MI1	1 mes	1411	1532	1485	6,46	3,12
	4 meses	1544	1363	1505	7,67	9,90
	8 meses	1533	1458	1582	0,86	8,16
	12 meses	1451	1480	1587	5,38	6,98
MI4	1 mes	1643	1758	1695	4,84	3,65
	4 meses	1544	1818	1775	14,06	2,39
	8 meses	1969	1774	1858	8,43	4,63
	12 meses	1942	1843	1923	3,13	4,25
MI5	1 mes	1341	1559	1421	10,00	9,26
	4 meses	1475	1654	1627	10,09	1,65
	8 meses	1625	1542	1678	0,93	8,45
	12 meses	1654	1584	1597	3,99	0,82
MI7	1 mes	1259	1601	1366	15,13	15,84
	4 meses	1365	1569	1419	8,63	10,04
	8 meses	1451	1552	1460	3,65	6,11
	12 meses	1630	1653	1366	7,98	19,01

Tabla 3: Datos de las velocidades medias de propagación de las ondas ultrasónicas y de los valores de la anisotropía estructural (total -»M- y relativa -»m-, en %) que presentan los morteros.

## REFERENCIAS

Cazalla, O. (2002). Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 245 pp.

Sebastián Pardo, E., Cazalla Vázquez, O., De la Torre López, M<sup>a</sup>.J., Rodríguez Navarro, C., Valverde Espinosa, I. y Zezza, U. (1998). Actas del IV Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico

y Edificación, La Habana, Cuba, 491-493. Guyader, J. y Denis, A. (1986). *Bull Engineering Geology*, 33, 49-55.

Luque, A. Sebastián, E., De la Torre, M<sup>a</sup>.J., Cultrone, G., Cazalla, O. y Linares, L. (2004). Actas VI Congreso Int. de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación, Yaiza, Lanzarote. Norma UNE 83-800-94 «Morteros de Albañilería. Definiciones y especificaciones», AENOR, Madrid.