

DETERIORO DE LOS MATERIALES PÉTREOS POR SALES: CINÉTICA DEL PROCESO, CARTOGRAFÍA Y MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

Belén Franco*, Josep Gisbert* , Pilar Navarro*, Ignacio Mateos*

*Equipo Arbotante. Dpto de Geología. Universidad de Zaragoza. Zaragoza 50009 gisbert@posta.unizar.es

Resumen

Para investigar la dinámica existente entre un sustrato pétreo poroso y una papeta de celulosa, hemos realizado una serie de experimentos con piedra arenisca, tanto libre de sales, como con una cantidad conocida de ellas. Las pruebas nos han permitido determinar el momento de máxima extracción de sal y establecer un modelo de comportamiento del movimiento de la humedad y de la sal durante la extracción. Estas conclusiones nos han llevado a proponer un método que permite, por un lado, documentar la distribución de las sales sobre los paramentos y, por otro, desarrollar una metodología para la desalación. Esta última incluye —además de una estimación de los tiempos idóneos para la retirada de la papeta—, un sistema industrial para desalar grandes superficies. También exponemos un procedimiento para conocer la distribución de las sales en el paramento, documentado mediante un ejemplo en la valla del Paraninfo en la Universidad de Zaragoza y otro en las pinturas de Francisco de Goya en la cúpula *Regina Martirum* del Pilar.

Introducción

Hemos utilizado Arbocell de fibra larga moldeando obleas discoidales de 0,4 g con humedades iniciales de 300% y soportes de vidrio (15x10x0,2cm) o de arenisca de Uncastillo (probetas de 12x11x3cm limpias o con cantidades conocidas de sal). La arenisca pertenece al Terciario del valle del Ebro y sus características petrofísicas están descritas en (1) y (2).

Los experimentos se realizaron en una atmósfera a 40% de HR y 21°C. Los contenidos en humedad se controlaron mediante diferentes pesadas o por conductividad superficial. Para las medidas de conductividad se usó un equipo CRISON P524 al que se le fabricó un sensor especial que permite calcular conductividad sobre superficies húmedas (en este caso la superficie del arbocell). Este sensor permite calcular la humedad superficial y, conociendo la humedad total, calcular el reparto de humedad entre la superficie y el sustrato.

Comportamiento de la papeta sobre un sustrato impermeable (experimento con 4 obleas)

Los experimentos de secado de papetas sobre sustratos impermeables evaluados por pesada dieron como resultado una recta de secado (fig. 1a). Las medidas de conductividad sobre la

superficie de la papeta se presenta en la fig. 1b. La evolución es exponencial con pequeños abombamientos que se desvían de la curva.

Esos abombamientos en la curva de conductividad (fig. 1b) pueden interpretarse como resultado de una pérdida de humedad de la superficie de la papeta que, al sobrepasar cierto límite, induce un bombeo de humedad desde el fondo de la misma. La periodicidad del fenómeno es de 25-30 minutos durante los primeros 200 minutos. Todas las obleas están en fase, es decir, experimentan la succión de humedad hacia la superficie al mismo tiempo, siempre que el minuto cero sea el mismo. El orden de magnitud del incremento de humedad en las oscilaciones es del 6-10% (5-6 μ s).

Comportamiento de la papeta sobre sustrato permeable sin humectación previa del sustrato (experimento con 8 obleas)

Es semejante al anterior pero con las siguientes novedades (fig. 2a):

1º) La oscilación de conductividad superficial es mayor (15 μ s).

2º) Las oscilaciones de humedad no están en fase, es decir, los incrementos y descensos de humedad superficial se producen en momentos diferentes para cada oblea. Este efecto es probable que se deba a que el período temporal del bombeo oscilante desde la superficie de la oblea al interior de la roca está muy condicionado por la adhesión de la papeta al sustrato, variable de difícil control y estandarización.

3º) El intervalo temporal de oscilación es aproximadamente de 30-40 minutos.

Sustrato permeable con humectación previa (experimento con 36 obleas)

Se humedeció la roca (en el punto de aplicación) con la misma cantidad de agua que se había introducido en la papeta (1,2 g).

Los resultados de conductividad superficial indican un comportamiento semejante al anterior pero con una estabilización en los valores medios a los 40 minutos del comienzo. No obstante, continua la oscilación de humedad superficial (entre 35 y 55 μ s) en períodos de 20 minutos (fig. 2b).

El análisis de los datos de pesada (retirando la obleas a distintos tiempos) arroja una curva de secado exponencial con numerosas oscilaciones. Con los datos obtenidos (fig. 3a) se deduce que la roca obtiene máximos de humedad (que roba a la oblea) a los 40 minutos y a las 3 horas. La oblea tiene sus máximos de humedad (por robo a la roca) en los primeros 15 minutos, a los 50 minutos y a las 7 horas.

Cantidad de sal extraída en cada oblea en función del tiempo transcurrido desde su aplicación (con humectación previa del sustrato; experimento con 36 obleas)

Las seis probetas se desalaron y, luego, cuatro de ellas se sumergieron en una disolución salina de 40 g/l (20g de ClNa y 20g de SO₄Mg). Tras su saturación en la solución, se secaron a temperatura ambiente en desecador de gel de sílice.

Las obleas se retiraron a intervalos de 10 minutos. La máxima salinidad se obtuvo (fig. 3b) en los primeros 10 minutos. Posteriormente, hay otro máximo de extracción en tiempos del orden de 50, 180-200 y 420 minutos desde el comienzo. Estos resultados son coincidentes con el momento de reflujos de agua hacia la oblea detectado en el apartado anterior.

La existencia de este máximo de flujo salino hacia la oblea en los primeros minutos de colocación la hemos comprobado también mediante registro continuo de conductividad sobre papetas de arbocell y de hidroxipropilcelulosa, con el sensor de superficie en tres paramentos pétreos diferentes y, aunque su valor temporal era algo variable, se produjo siempre entre los 5 y 12 minutos con valores de conductividad tres veces superiores, aproximadamente, a los que se obtenían tras varias horas de secado.

Cantidad de sal extraída en cada oblea en función la existencia de humectación previa

Sobre probetas semejantes a las del experimento anterior (sustrato desalado y sustrato salino), se colocaron obleas, sobre sustrato seco y sobre sustrato previamente humedecido. Todas las obleas se mantuvieron hasta su secado completo. Los resultados promedio se muestran en la Tabla I y de ellos puede deducirse que colocar la oblea sobre sustrato seco es el procedimiento que garantiza una mayor extracción de sal. No obstante, la alta variabilidad de los resultados individuales aconseja repetir el experimento, habiendo controlado previamente la homogeneidad de la distribución de sal sobre el sustrato.

Cartografía de sales

Usando obleas semejantes a las de los experimentos, se han realizado varias cartografías de sales en paramentos. Se colocaban tandas de obleas en filas y columnas separadas 50 cm; la oblea se humedecía con agua destilada y, tras dejarla secar al completo, se analizaba su contenido en sales por conductividad, diluyéndola en 10 ml de agua destilada. Los contenidos en sal de cada punto se sintetizaban mediante isoclinas de concentración salina (fig. 5). Partíamos de la metodología propuesta por Boreli (2) pero la modificamos —esencialmente reduciendo el tamaño de las obleas— para aumentar la operatividad a pie de obra.

En los primeros mapas de sales (iglesia de S. Miguel de Uncastillo) procedimos a analizar la totalidad de los aniones y cationes en todas las obleas —tal como recomienda Boreli—. Del análisis estadístico de esos datos —ver (4)— se puede deducir que siempre que la fuente de agua sea la misma y el tipo de paramento pétreo atravesado semejante, los resultados son dependientes y pueden calcularse realizando tan sólo un análisis de todos los aniones y cationes y una única medida (que puede ser la conductividad) en el resto de las obleas.

Esta conclusión es especialmente interesante pues la cartografía de las sales sobre el paramento permite hacer hipótesis muy fiables sobre su origen (fig. 4). Así, en estos momentos, la metodología que seguimos comienza por una cartografía de sales con obleas pequeñas pero muy numerosas. De acuerdo a esa cartografía se determinan los puntos donde la humedad tiene un origen distinto (o donde, a pesar del mismo origen, atraviesa materiales de muy distinta composición) y se procede a tomar las muestras (con papetas de 10x10cm) y analizar la totalidad de aniones y cationes en un número limitado de muestras (3 a 7 p. ej.) como información adicional para confirmar las interpretaciones que se han hecho según la cartografía.

En el último trabajo realizado (cartografía de las sales que afectan a las pinturas de Francisco de Goya en la cúpula *Regina Martirum*) hemos aplicado las conclusiones expuestas en la primera parte de este trabajo y se ha medido directamente la conductividad sobre la oblea en los primeros 10 minutos. Además, hemos usado obleas de gel separadas por una capa de papel japonés de las pinturas murales. Este cambio en el tipo de oblea nos ha parecido apropiado por dos motivos:

- a) La medida de conductividad es mucho más estable sobre gel. En los primeros minutos el gel mantiene más constante su humedad que el arbocell (porque evapora más lentamente al principio y porque el efecto bombeo de agua no existe o es poco importante), mientras que el primer pico de flujo salino se presenta en ambos con la misma intensidad. En el caso de *Regina Martirum* el tiempo óptimo para la medida (determinado *in situ*) fue de 6 minutos.
- b) La aplicación de hidroxipropilcelulosa, separada del sustrato por papel japonés, era menos agresiva que el uso de arbocell directamente sobre la pintura mural.

Aplicación de papetas sobre grandes superficies

Los problemas de sales suelen afectar a grandes superficies de paramento en las que la colocación manual de papetas resulta económicamente inviable. Para hacer viable la colocación de papetas sobre grandes superficies hemos fabricado un equipo industrial que funciona con aire comprimido. Un tubo aporta el arbocell seco y otro el agua destilada, que se pulveriza en la boquilla de salida, mezclándose con el arbocell en el aire y adhiriéndose al paramento pétreo en el momento del impacto. Este sistema permite cubrir en tiempos muy cortos grandes superficies (5 m² por minuto) con una papeta con la consiguiente viabilidad económica del método.

En el caso de desalaciones, la papeta se retira también con aire comprimido en los primeros 5-15 minutos (el valor exacto se determina experimentalmente) para garantizar la máxima extracción de sal.

Este método tiene más aplicaciones. El agua destilada puede sustituirse por cualquier mezcla apropiada para limpieza o la consolidación, permitiendo una actuación controlada sobre grandes superficies a un precio notablemente económico.

Discusión

Comparando nuestros datos con los de Redman(5) y, a pesar de que el sustrato que emplea ella es mortero de cal y el nuestro arenisca, podemos afirmar que coinciden nuestros datos en que para fibra larga existe un máximo de desorción entre las tres y cuatro horas. No obstante, nuestro método de medida ha sido más refinado y podemos afirmar que existen también desorciones previas (más pequeñas) pero que probablemente coinciden con los máximos de desorción que esta autora documenta para fibra corta (30 minutos a 2 h). También coincidimos con ella en la importancia de la adhesión de las fibras al sustrato en la evolución de los fenómenos hídricos, aunque este parámetro parece tener una componente aleatoria incluso dentro de un mismo tipo de material y longitud de fibra (Redman insiste en la evolución de la adhesión según el tipo de material y longitud de la fibra).

Presentamos aquí un modelo de movimiento de sal en paramentos y papetas (fig. 5) que es válido siempre que el sustrato esté relativamente seco.

Conclusiones

a) En arbocell de fibra larga sobre sustrato permeable existen flujos-reflujos de humedad hacia la superficie cada 30-40 minutos.

b) Para la extracción de sal esto implica que la sal presente en la papeta oscila durante el proceso de secado. El momento de máxima concertación de sal en el apósito se produce en torno a los 10 primeros minutos. El tiempo exacto puede calcularse experimentalmente en cada caso.

c) La máxima extracción de sal se consigue colocando la papeta sobre el sustrato seco y retirándola en los 10 primeros minutos. El proceso puede repetirse varias veces siempre que en los intervalos se deje secar perfectamente la pieza a desalar.

d) Proponemos una metodología de cartografía de sales de fácil ejecución y muy útil para interpretar el origen de las patologías.

Agradecimientos: A Jose Vicente Navarro por sus indicaciones sobre la desalación. A la empresa COTA SL por su puesta a punto del equipo industrial de proyección de arbocell.

Bibliografía

- (1) ANDALUZ MORILLO N., MARÍN CHAVES C., GISBERT AGUILAR J. y RECUENCO CARBALLO J. L. (2000): *Petrophysic of Tertiary sandstone in Eastern Aragon (Ebro Basin, Spain)*, Quarry-Laboratory-Monument International Congress "Pavía 2000" Abstracts, Vol. I, pp. 75-80.
- (2) BORELLI E. (1994): *Standarization of removal salts method from porous support and its use as diagnostic tool*, III International Sympoium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin. Ed. FASSINA V. OTT H., ZEZZA F., Venice, pp.163-167, P-2 n° 4.
- (3) GISBERT J., KNÁSTER C. y NAVARRO P. (2002): *OLNASA SL taller de cantería. Libro técnico de calidad de la piedra: La arenisca de Uncastillo*, Monografía, 40 pp.
- (4) GISBERT J. y NAVARRO P. (en preparación): *Análisis estadístico de los análisis químicos de iones salinos sobre paramentos pétreos: Consecuencias para el levantamientos de cartografías de sales.*
- (5) REDMAN Ch. (1999): *Cellulose sorbents: an evaluation of their working properties for use in wall painting conservation*, *The Conservator* n° 23, pp. 68-76, P-2.