

*Patología de los materiales y elementos constructivos*

## **Movilidad de las eflorescencias en función del caudal de aire de secado**

*Cristina Mayo Corrochano (1), Félix Lasheras Merino (2)*

(1) Arquitecto, Doctorando en el Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, de la Universidad Politécnica de Madrid.

(2) Dr. Arquitecto, Profesor Titular de Universidad, y miembro del grupo de investigación de "Análisis e Intervención en el Patrimonio" (AIPA), de la Universidad Politécnica de Madrid.

### **RESUMEN**

La cristalización de sales en los paramentos (eflorescencias), y bajo ellos (subeflorescencias), es una de las principales causas de deterioro de los materiales de construcción de los edificios históricos. Las formas cristalinas de las sales que permanecen sometidas a flujos de humedad, cambian estacionalmente y en función de las condiciones ambientales, aunque todavía se desconocen muchos de los mecanismos implicados en estos procesos. Por ello, los autores han iniciado un proceso de investigación cuya finalidad es desarrollar una metodología específica que permita estudiar cómo las condiciones de evaporación, y más específicamente la velocidad del aire tangente a la superficie de evaporación, determinan el proceso de cristalización de las sales y su movilidad. Primero hemos desarrollado una metodología experimental para estudiar la influencia del caudal del aire en la formación de eflorescencias, y comprender mejor la evolución temporal de las formaciones salinas. Después hemos investigado la posibilidad de utilizar un caudal de aire controlado, para favorecer determinadas formas de cristalización de sales, en función del material afectado. Hemos realizado una serie de ensayos con diversos materiales, todos ellos porosos y contaminados con cantidades controladas de sal, con un dispositivo experimental específicamente diseñado para esta investigación.

El objeto de esta comunicación es presentar el dispositivo experimental, y sus resultados. Estos nos han permitido observar el movimiento de la humedad y de la sal durante el secado, lo que puede utilizarse para plantear su posible extracción, es decir la optimización de los métodos de desalación y saneamiento de paramentos basados en esta técnica.

*Palabras-clave: cristalización, desalación, secado.*



## I. INTRODUCCIÓN

Las eflorescencias son unas de las principales causas de deterioro de los materiales de construcción de los edificios históricos. Estudios de T. Ritchie (1 y 2) y Ch. de Bueger, F. de Barquin (9) han demostrado que estas se pueden formar tanto por fuentes externas (humedad del terreno o ambiente marino) como por sales disueltas contenidas en los materiales empleados en la construcción (ladrillos y morteros).

Las sales, además de perjudicar el aspecto estético de la superficie del edificio construido, también pueden afectar gravemente en algunos casos a la vida útil de la fachada, llegando incluso con el paso del tiempo a producir el desmoronamiento de esta.

En el presente trabajo se estudia la formación de eflorescencias en materiales porosos de construcción, desarrollando un método para cuantificar la influencia de un factor externo (la velocidad del aire secante de la superficie de evaporación), sobre la cristalización de las sales.

## II. OBJETIVOS

Con esta investigación se pretende desarrollar una metodología que nos permita estudiar la influencia de las condiciones de evaporación sobre el proceso de formación de las eflorescencias, con los siguientes objetivos específicos:

1. Desarrollar una metodología, con la que poder estudiar la influencia de la velocidad del aire secante en la superficie de evaporación sobre la formación de los cristales, y poder así comprender la evolución de dichas formaciones cristalinas.
2. Aplicar dicho método al estudio de la influencia de un caudal controlado de aire en la superficie de evaporación en la formación de las eflorescencias de diversos materiales porosos.

## III. PRIMERA PARTE: MODELO DE MOVILIZACIÓN DE SALES EN MATERIALES POROSOS

En el contexto de las investigaciones sobre la cristalización de sales en materiales porosos, se ha desarrollado un método experimental para estudiar la movilización de sales fijando ciertos parámetros ambientales, tales como la humedad y la temperatura, y variando gradualmente otros, concretamente el caudal de aire de ventilación. En nuestro modelo de cristalización empleamos cloruro sódico o halita (NaCl) ya que, Grossp y Esbert (3) la establecen como una de las sales más dañinas y frecuentes en las eflorescencias encontradas en edificios junto con los sulfatos de sodio y magnesio.

Este ensayo ha sido realizado con probetas de 12×12×6cm de un material altamente poroso (yeso) que nos facilite el proceso de movilización de sales.

Una cuarta parte de las probetas contienen la sal en su interior (probetas tipo I). Fueron sumergidas en una solución salina de cloruro sódico (NaCl, 3M) durante 24 horas, posteriormente fueron secadas a 110 °C durante una hora y finalmente se dejaron enfriar durante 24h, como en los estudios de J. Gisbert (10)(8)). Otra cuarta parte de las probetas quedan libres de sales añadidas (probetas tipo E) y es el agua que pasa a través de ellas la que contiene la solución salina 3M de cloruro sódico.

Para la realización del ensayo se ha construido un contenedor capaz de permitir la penetración de agua de forma direccional desde la base de las probetas y su evaporación a través de su cara superior, asegurando en todo momento la estanqueidad entre la zona húmeda y la zona seca del contenedor. De esta forma, en la cara superior de las probetas



se produce la evaporación del agua y, en consecuencia, la cristalización de la sal. En ella se concentra, en forma de costra, la sal proveniente del interior de las probetas en el caso de las probetas tipo I, y del agua que pasa a través de ellas en el caso de las probetas tipo E. Estos contenedores tienen una ventilación controlada por medio de extractores que nos aportan un caudal máximo de  $Q=57,2\text{m}^3/\text{h}$  a potencia máxima, y que pueden ser regulados en función del voltaje suministrado. Se ha observado la evolución del sistema durante 18 días durante los cuales se han fotografiado las superficies de evaporación de las probetas.

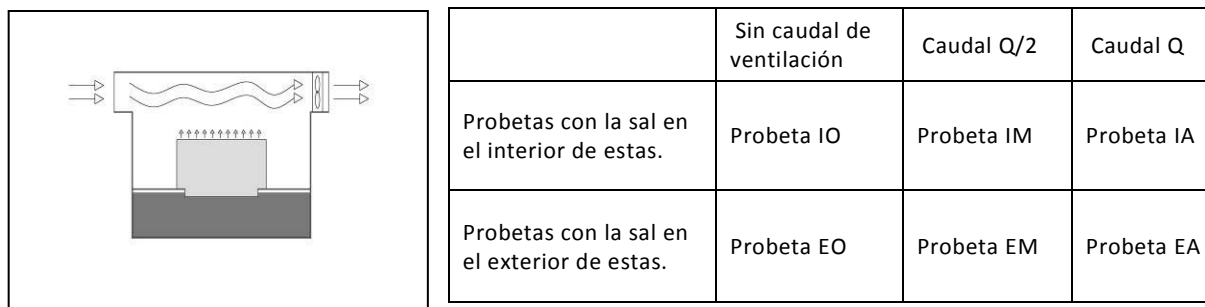


Figura 1.- Diagrama de los contenedores.

Tabla 1.- Esquema de funcionamiento del experimento.

#### IV. RESULTADOS DEL METODO DE ANALISIS

Con la experiencia obtenida en la realización de estos ensayos, podemos concluir que el método propuesto es efectivo en cuanto a que se han alcanzado los objetivos deseados: estanquidad entre la zona húmeda y la zona seca de los contenedores, se ha asegurado que todo el flujo de agua se realiza a través de las probetas, se ha conseguido un flujo de aire constante y controlado en los valores especificados durante todo el ensayo, lo que fue comprobado mediante mediciones periódicas, y por último los resultados evidencian la influencia de la ventilación en la formación de eflorescencias.

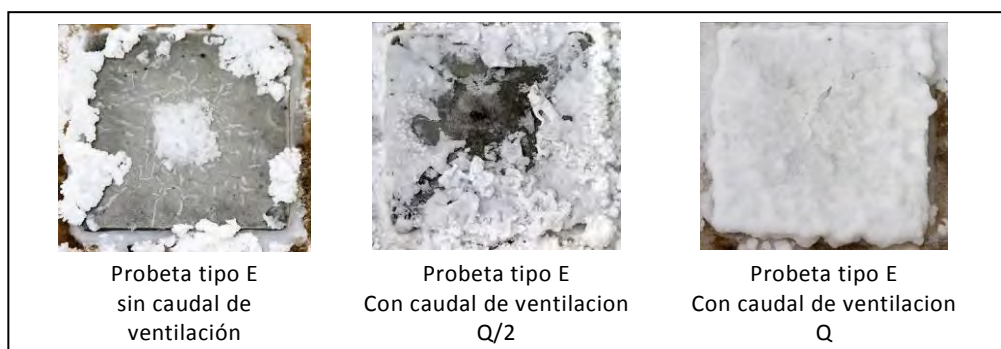


Figura 2.- Fotografías finales de las probetas tipo E al cabo de 18 días de experimento.

#### V. SEGUNDA PARTE: APLICACIÓN DEL METODO DE MOVILIZACIÓN DE SALES EN DIVERSOS MATERIALES POROSOS

Una vez desarrollado el método de análisis de la formación de eflorescencias, pasamos a su aplicación en diferentes materiales porosos de construcción.

Para ello al igual que en el caso de las probetas de yeso empleamos halita (NaCl) para estudiar la movilización de sales fijando los mismos parámetros ambientales





(humedad, temperatura) y variando gradualmente el caudal de aire de ventilación de la superficie secante.

Este nuevo ensayo ha sido realizado sobre probetas de material cerámico y de cemento Portland de 12×12×6cm.

En este caso todas las probetas contienen sal en su interior. Han estado sumergidas en una solución 3M de cloruro sódico durante 24 horas, y después han sido secadas en una estufa a 110°C durante una hora; finalmente se dejaron enfriar durante 24 horas.

Para este estudio empleamos los mismos contenedores del ensayo anterior, siguiendo el mismo patrón de ventilación ahora con las probetas de ladrillo y de cemento portland. Se ha observado la evolución del sistema mediante la realización de fotografías.

## VI. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL METODO DE MOVILIZACIÓN DE SALES EN DIVERSOS MATERIALES POROSOS

En función de la intensidad de la eflorescencia distinguiremos las siguientes clases: Velo fino , Velo grueso , Velo muy grueso , Costra 

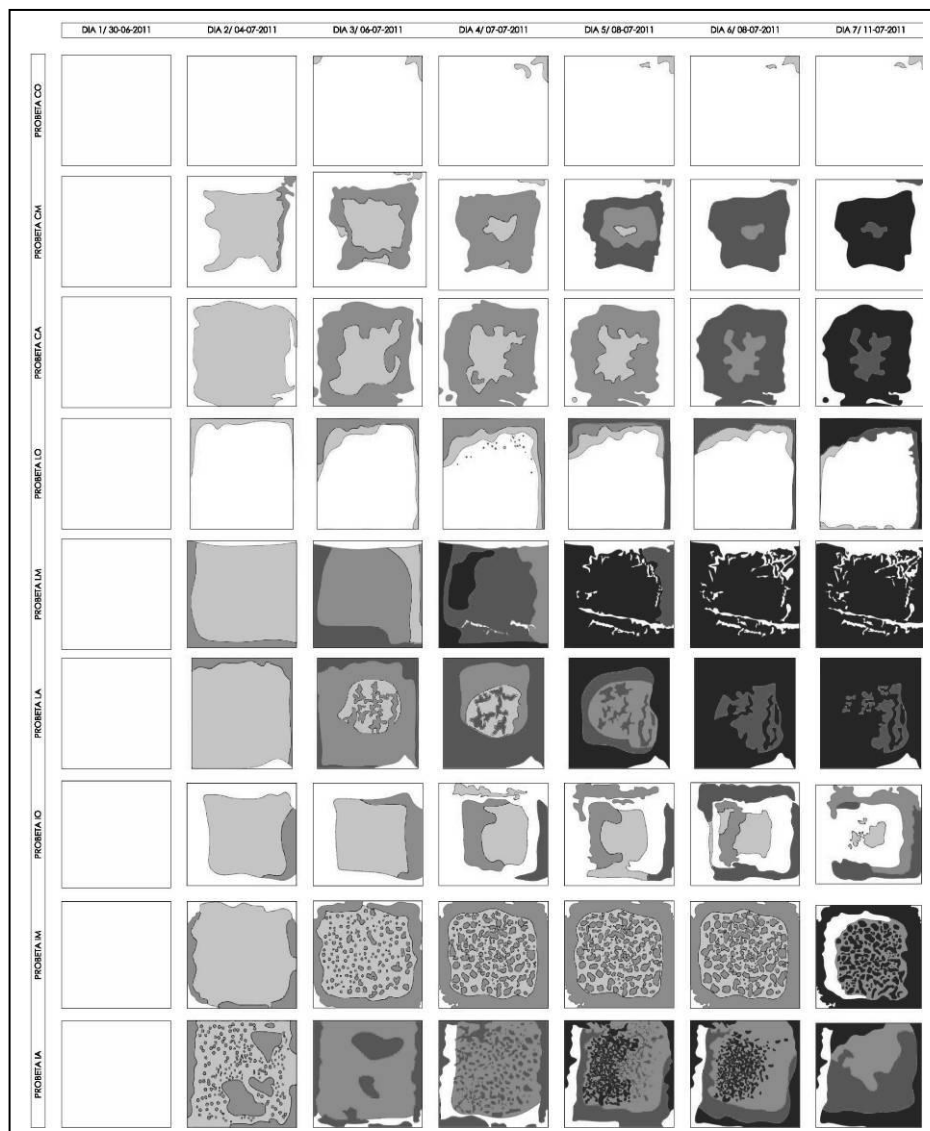
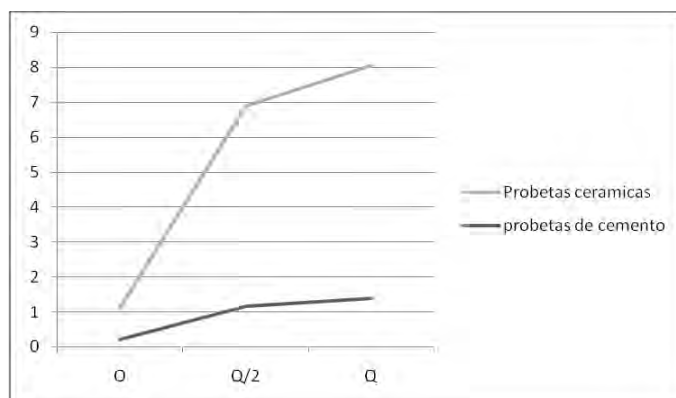


Figura 3.- Diagrama de evolución de las probetas.

La observación directa de la evolución del aspecto exterior de las muestras nos revela gran cantidad de información sobre la movilización de la sal:

- En cuanto a la evolución de las eflorescencias comprobamos que mientras que en un principio se presentan velos suaves de forma homogénea en toda la superficie de las probetas, con el tiempo estos velos aumentan notablemente. Aparecen costras más espesas pero menos extendidas superficialmente. Estas costras acaban concentrándose en el centro de las probetas y en las aristas, incluso en algunos puntos, la costra se desprende por sí misma.
- Las muestras que tienen un mayor caudal de ventilación presentan eflorescencias notablemente mayores y se forman más rápidamente que las que no están ventiladas.
- La porosidad de los materiales influye no solo en la cantidad de sales extraídas (a mayor porosidad mayor cantidad de sales extraídas) si no también en la evolución de dichas eflorescencias. Mientras que las probetas de materiales más porosos concentran las eflorescencias en las aristas de las probetas, los materiales menos porosos lo hacen en el centro de estas.

	Sin caudal de ventilación	Caudal Q/2	Caudal Q
Probetas de cemento Portland	0,20 gr	1,16 gr	1,38 gr
Probetas cerámicas	1,20 gr	6,91 gr	8,05 gr



**Tabla 2.y Figura 4-** Cantidad de sal extraída en función del material y ventilación de cada probeta.

## VII. CONCLUSIONES.

En esta prueba de desalación hemos podido averiguar cómo, produciendo una infiltración continua de agua destilada en un material poroso contaminado por sales, y controlando la dirección de evaporación y el caudal de aire de ventilación de la superficie secante, es posible provocar la migración de las sales hacia el exterior de la muestra en un plazo menor de tiempo. Esto podría permitir optimizar la posterior eliminación mecánica de las sales.



También hemos observado como las eflorescencias que se han formado más rápidamente por una ventilación forzada, son mucho más fáciles de extraer que las que lo han hecho en condiciones naturales de ventilación.



**Figura 5-** Extracción de las costras de sal de las probetas de ladrillo al final del experimento.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- (1) T. Ritchie; (1955): *Study of efflorescence produced on ceramic wicks by masonry mortars*; The Journal of the American Ceramic Society, 38 [lo] 362-366 (1955).
- (2) T. Ritchie; (1966): *The influence of efflorescence on decay and expansion of mortar*. The journal of the Canadian Ceramic Society, vol 35, 1966. P 92-95.
- (3) CM. Grossp y R.M. Esbert (1994): *Las sales solubles en el deterioro de rocas monumentales*; Dpto. de Geología. Universidad de Oviedo
- (4) García Verduch y V. Sanz Solana ( 1999): *Velos, eflorescencias y manchas en obras de ladrillo*; Faenza Editrice Ibérica, 304 págs., 70 Figs., 29 Tablas, 162 referencias y 576 citas bibliográficas. ISBN: 84-87683-10-X
- (5) J. M<sup>a</sup>. Rincón y M. Romero (2000): *“Prevención y eliminación de eflorescencias en la restauración de ladrillos de construcción”*; Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja-CSIC.
- (6) J. M<sup>a</sup>. Rincón y M. Romero (2000): *Fundamentos y clasificación de las eflorescencias en ladrillos de construcción*; Materiales de construcción, Vol. 50, n° 260, octubre/noviembre/diciembre 2000.
- (7) J. M<sup>a</sup>. Rincón y M. Romero (2002): *Prevención y eliminación de eflorescencias en la restauración de ladrillos de construcción*. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja-CSIC.
- (8) B. Franco, J. Gisbert , P.R Navarro, I. Mateos.(2002): *Deterioro de los materiales pétreos por sales: cinética del proceso, cartografía y métodos de extracción*. Equipo Arbotante. Dpto. de Geología. Universidad de Zaragoza.
- (9) Ch. de Bueger, F. de Barquin (2005): *Efflorescence on clay bricks masonry: towards a new test method*; 10DBMC International Conference On Durability of Building Materials and Components LYON [France] 17-20 April 2005.
- (10) M. Blanco, F. Colucci, y J. Gisbert, (2006): *Modelo de movilización de sales en materiales pétreos porosos: un caso de desalación*. Equipo de investigación Arbotante, Dpto. de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza.