

## **Análisis de la variación de la composición de los morteros utilizados en los muros de fábrica tradicionales: la compatibilidad de los morteros tradicionales de cal y la incompatibilidad de los morteros de cemento en el funcionamiento constructivo y estructural de los muros de fábrica tradicionales**

M.<sup>a</sup> Cruz Iglesias Martínez

El desarrollo industrial y la fabricación del cemento Portland desde el s. XIX, ha provocado desde entonces la utilización indiscriminada y sistemática de los morteros de cemento en obras e intervenciones de Conservación y Restauración del Patrimonio Arquitectónico, rompiéndose con la técnica milenaria de la cal, capaz de preservar y transmitir nuestro Patrimonio Arquitectónico durante cientos de años, y se sustituyen los tradicionales morteros de cal por morteros de cemento.

Las propiedades y cualidades del cemento prometían un magnífico comportamiento y gran durabilidad, su uso suponía incluso acabar con las tareas periódicas de mantenimiento de los morteros tradicionales de cal. Todo el mundo pensó que la utilización de los morteros de cemento iba a ser un gran adelanto, que sus óptimas cualidades resistentes e impermeables supondrían una mayor protección de los muros de fábrica tradicionales. Sin embargo, el uso del cemento Portland, ha sido uno de los materiales modernos cuyo uso ha causado mayor cantidad de problemas en edificios de estructuras de muros de fábrica tradicionales.

Su utilización a lo largo de este siglo ha demostrado que sus únicas y óptimas características para su empleo en la construcción moderna, lo hacen totalmente desaconsejable cuando se trata de intervenir en el Patrimonio Arquitectónico. La utilización de morteros con contenidos de cemento y la aparición y desarrollo de graves patologías, evidencia la interferencia de los mismos en el comportamiento de los muros de fábrica tradicionales.

Por ello, para la Conservación del Patrimonio Arquitectónico construido con muros de fábrica es importante el estudiar su funcionamiento constructivo y estructural, las propiedades y características de los materiales tradicionalmente utilizados y como éstas colaboran en el funcionamiento del mismo, las propiedades de los morteros de cemento y su influencia sobre el comportamiento de los muros tradicionales.

### **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE MUROS DE FÁBRICA.**

A sido la elección de los materiales, composición y estructura interna de los morteros utilizados, ya sea en las juntas como en los revestimientos, lo que ha permitido a las estructuras de muros de fábrica el desarrollo de unos principios estructurales y constructivos particulares, además de posibilitar el mantenimiento periódico de las mismas, lo que garantiza su duración eterna.

La construcción de muros de fábrica está basado desde el punto de vista de la capacidad resistente de sus materiales, en la utilización de unos morteros muy débiles y elásticos, de capacidad resistente menor que la fábrica del muro, formando un importante sistema de pequeñas juntas de dilatación, capaz de absorber las tensiones internas del mismo, deformándose y actuando en último caso como un elemento de sacrificio, deteriorándose, y gracias a la posibilidad

de su mantenimiento periódico se asegura la conservación de las fábricas durante cientos de años.

Desde el punto de vista del comportamiento frente a la humedad, las estructuras de fábrica tradicionales se basan en la utilización de materiales más o menos porosos y absorbentes, pero también en una extraordinaria tecnología constructiva que por una parte evita la entrada de cantidades excesivas de agua, a través de la utilización de piezas especiales de drenaje en la base de los muros, zócalos, aceras, aleros, canalones, y por otra permite y facilita la evaporación del agua que pueda entrar en los muros, debido a la permeabilidad y capilaridad de los morteros que unen la fábrica o que recubren la superficie exterior de la misma, asegurando valores aceptables del contenido de humedad, en el interior de los mismos.

#### **ANÁLISIS DE LA COLABORACIÓN DE LOS MORTEROS TRADICIONALES**

En nuestra cultura la cal ha sido uno de los materiales tradicionales más importantes en la composición de morteros, para la construcción de muros de fábrica tradicionales. Se ha utilizado en la construcción de la propia fábrica, como consolidante y como capa protectora del mismo, a través de un sistema de capas, formando un sistema constructivo extremadamente homogéneo, tanto desde el punto de vista químico como en cuanto a su comportamiento físico.

Muchos edificios de nuestro patrimonio se construyeron con piedras de mala calidad y sus muros se deteriorarían si fuesen expuestos a los agentes atmosféricos. Tradicionalmente, esta piedra se trababa y se unía con un espeso y homogéneo mortero de cal y los muros que formaban se protegían con un sistema de capas de mortero cuya estructura era capaz de absorber la agresividad atmosférica: el estrés físico y la corrosión química. Adecuadamente preparados y aplicados, mantenidos periódicamente con la aplicación de una sutil capa de lechada de cal, estos morteros podrían durar indefinidamente. Se pueden encontrar ejemplos de más de mil años.

#### **Los revestimientos superficiales tradicionales de cal**

La utilización de revestimientos exteriores han favorecido la protección de los muros de mampostería de

baja calidad, excesivamente porosas e irregulares, de la degradación natural de los agentes atmosféricos y del agua que por varias razones pudiera entrar en el interior de las estructuras.

Las propiedades protectoras de los revestimientos superficiales tradicionales se garantizan y desarrollan a través de una cuidada selección de sus materias primas: de las características y propiedades del conglomerante, de las características granulométricas y propiedades del árido utilizado y en algún caso, la utilización de aditivos particulares, que han ido variando a lo largo de la historia en las diversas culturas de nuestro planeta.

Los revestimientos superficiales de cal están formados por un sistema de capas con diferentes características, con tamaño de poros, resistencias mecánicas y granulometrías decreciendo hacia el exterior. De forma que las primeras capas de mortero de características muy similares al mortero que constituye la estructura interior del muro, actúa como una extensión del mismo hasta la superficie exterior, favoreciendo y aumentando la superficie de evaporación.

El desarrollo de las propiedades protectoras de los revestimientos se garantizan a través de las características de la estructura de capas que lo forman. La utilización sucesiva de granulometrías más finas y uniformes hacia el exterior y el aumento de la cantidad de cal en la relación cal/árido, se crea una red de poros cuyo tamaño disminuye también hacia el exterior, lo cual permite aumentar la evaporación por capilaridad, y por lo tanto la permeabilidad del revestimiento hacia el exterior, y se obtiene una sucesión de capas cada vez más flexibles y débiles (módulo de elasticidad decreciente), que permiten su fácil y eficaz mantenimiento (figura 1).

Este estructura forma un sistema constructivo extremadamente homogéneo, tanto desde el punto de vista químico como en cuanto a su comportamiento físico, dotando al revestimiento de una gran flexibilidad y larga duración, gracias a su capacidad de mantenimiento a través de la restitución periódica de la capa más externa del sistema.

Se crea, así, un sistema tremendamente eficaz, capaz de absorber la agresión de los agentes atmosféricos: el estrés físico producido por dilataciones térmicas o por variaciones del contenido de humedad, la corrosión química ocasionada por la formación de sales en ambientes altamente contaminados, debido a su estructura porosa (tamaño), la cristalización de sa-

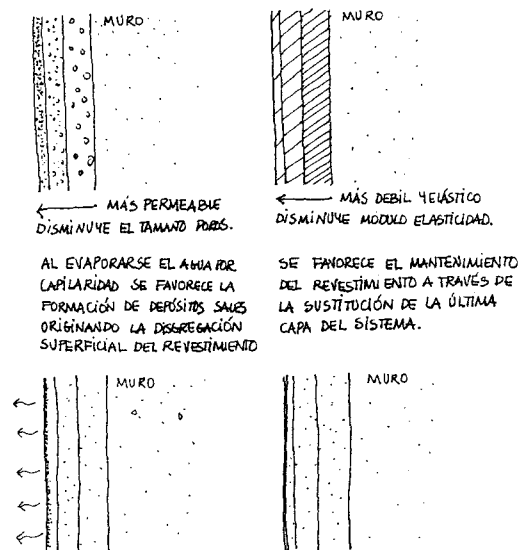


Figura 1  
Propiedades de un revestimiento tradicional poroso.

les debido a la evaporación del agua, a través de su estructura porosa, aunque acaba con el tiempo creando tensiones en el interior de los poros, disgregando finalmente el material.

Los morteros colaboran, en virtud de su composición y propiedades en la conservación de la estructura del muro, absorbiendo ellos mismos la agresividad del medio. Por eso se les llama superficie de sacrificio. Evidentemente es más fácil el mantenimiento y sustitución de los morteros de cal, que la sustitución de piezas de la estructura del muro.

### Las juntas en los muros tradicionales

Ha sido la elección de los materiales, morteros débiles y elásticos, lo que ha permitido a las estructuras de muros de fábrica el desarrollo de unos principios constructivos y estructurales peculiares. La importancia de la utilización de morteros de cal en las juntas de los muros de fábrica, es realmente triple:

Colaboran a una transmisión uniforme de la carga, y evitan la concentración de tensiones que se pueden originar en puntos de contacto, en juntas secas, originando fisuras y el deterioro paulatino y progresivo de la piedra y del muro.

Forman un importante sistema de juntas de dilatación, suficientemente débil y elástico, capaces de absorber las tensiones que se pueden generar en el interior de la fábrica, así como las contracciones y expansiones producidas por variaciones térmicas y húmedicas, sin fisurarse, gracias a su comportamiento elástico y a su resistencia mecánica, de valor inferior al de la fábrica.

A través de las juntas, gracias a sus características granulométricas y porosidad, mayor que la de los sillares que forman el muro, se produce la evaporación por capilaridad, del contenido de humedad del interior, ocasionando la acumulación de grandes depósitos de sales que con el tiempo ocasionarán la disgregación superficial de los morteros de las juntas, en lugar del deterioro progresivo e irreversible de las piedras que forman el muro (figura 2).

El comportamiento activo de los morteros de cal, absorbiendo la agresividad de los agentes atmosféricos y el estrés interno de la fábrica, originan su paulatino deterioro, y éste la necesidad de su mantenimiento. El mantenimiento del rejuntable es una labor de primera importancia para la conservación integral de las fabricas.

El deterioro de las juntas de mortero en un muro de fábrica y la falta de mantenimiento pueden originar el deterioro y la rotura del borde de piedra, debido a las tracciones originadas en el borde desprotegido de la misma, o por saturación de los poros, al aumentar la superficie expuesta, y la acción expansiva del agua al congelarse.

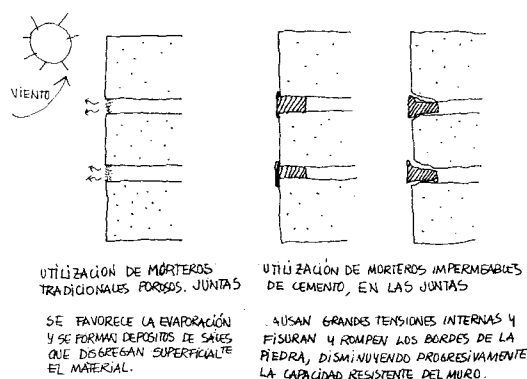


Figura 2  
Influencia de la composición de los morteros utilizados en los muros de fábrica tradicionales.

La absorción de las tensiones y desperfectos por el material más débil de la estructura ha provocado, frecuentemente, en tareas de conservación, la sustitución de los materiales más débiles y degradados, por otros «mejores», más resistentes. La aparición y el uso del cemento en las reparaciones de muros tradicionales suponía un gran éxito. Suponía acabar con la necesidad de las continuas tareas de mantenimiento, sin embargo el uso del cemento Portland, ha sido uno de los materiales modernos que ha causado mayor cantidad de problemas en edificios de estructuras de muros tradicionales.

#### **CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MORTEROS DE CEMENTO**

Sus únicas y óptimas características para su empleo en la construcción moderna, lo hacen totalmente desaconsejable cuando se trata de intervenir en el Patrimonio Arquitectónico:

- Su excesiva resistencia, Módulo de Elasticidad muy alto. Cuando se producen movimientos diferenciales en el interior de los muros, el cemento es incapaz de absorber las tensiones internas, que se transmiten a la parte más débil de la estructura, a la piedra.

- Su impermeabilidad al agua y al vapor de agua. La escasa porosidad de las capas de cemento obstaculizan e impiden el movimiento de la humedad al exterior, aumentando consistencialmente el contenido de agua de los muros y dando lugar a grandes tensiones internas, por la acción expansiva del hielo, que acaban rompiendo la piedra.

- Su alto coeficiente de dilatación térmica, doble del de la piedra (calizas, mármoles, ladrillos 0.15mm/M morteros de cemento 0.30-0.40mm/M ), produce grandes expansiones que son absorbidas por las partes más débiles y originan la aparición de fisuras en las piedras.

- Su enorme adherencia. El grano de cemento en contacto con el agua se disuelve parcialmente, empezando por su superficie y se va hidratando formando agujas entrelazadas, que van creciendo hacia el exterior y el interior, formando un entramado laminar, con una superficie específica muy alta, a través de la cual los fenómenos de adherencia adquieren valores muy altos, los cuales pueden aumentar todavía más,

cuando se introduce por absorción en la red capilar de algún material poroso.

- Su alta densidad y su alto coeficiente de conductividad térmica, que favorece la condensación.

- Su contenido de sales. El cemento Portland no sólo contiene silicatos y aluminatos de calcio, sino también sulfatos de calcio y otras sales alcalinas, sales solubles que durante el proceso de fraguado del cemento, originaran problemas cuando la accesibilidad del agua las puede transportar a la estructura porosa de los materiales, que constituyen el muro.

#### **ANÁLISIS DE LA INCOMPATIBILIDAD DEL USO DE MORTEROS DE CEMENTO**

Después de la utilización durante este siglo del cemento en los morteros a utilizar en las tareas de mantenimiento y restauración del Patrimonio Arquitectónico construido con muros de fábrica, se han empezado a encontrar cada vez mas desventajas y una serie de grandes fallos. A través del análisis de las propiedades físicas y químicas de los dos tipos de morteros, se encontró que las nuevas propiedades de los nuevos morteros de cemento introducían una serie de efectos no deseados, y que el mejoramiento de alguna de las propiedades de los materiales tradicionalmente utilizados y sancionados por la práctica, producía efectos no deseados en otras propiedades y materiales de la estructura y en el funcionamiento constructivo y estructural de las partes involucradas además de en el modo de envejecimiento de la misma.

Las estructuras mas afectadas son las expuestas en unas condiciones climáticas, de humedad y lluvia, más severas y estructuras con contenidos de humedad muy altos en su interior, originados por cambios en el nivel freático del agua o por fallos en las cubiertas. Muchas veces la presencia y la falta de mantenimiento de canalones y bajantes produce la saturación del muro debajo de la capa impermeable, acelerando el proceso de deterioro.

#### **En las juntas**

Los morteros de cemento cuando se utilizan en el exterior, en las juntas de los muros de fábrica, se agrietan durante el fraguado y con el tiempo, debido a las

grandes dilataciones térmicas originadas por su alto coeficiente de dilatación, y dejan pasar el agua. Debido a la impermeabilidad de los mismos, el agua se acumula en el interior, originando una serie de daños irreversibles en la parte más débil de la estructura, en este caso, en la piedra o ladrillo, debido a la acción expansiva de las sales, que transporta el agua, y del hielo, así como por la incapacidad del cemento de absorber el estrés interno de la fábrica. Los morteros de cemento no sólo no absorben los movimientos y expansiones de la fábrica originados por dilataciones térmicas, debido a su alta resistencia, sino que debido a su alto coeficiente de dilatación térmica (La dilatación térmica es mayor en la superficie que el interior), crean en el borde de ésta un estado tensional tal, que da lugar a la formación de fisuras, las cuales son solo el origen de un proceso progresivo de deterioro, por la penetración del agua (figura 2).

### En los revestimientos superficiales

Los revestimientos superficiales, formado por los enfoscados y revocos, a base de morteros de cemento están diseñados para evitar la entrada de agua, y utilizados en muros tradicionales impiden la evaporación de agua del interior de las estructuras. Además cuando fraguan, tienden a formar una red de microfisuras, no visibles para el ojo humano, pero que permiten la entrada de agua por capilaridad. Con el paso del tiempo es también inevitable la formación de pequeñas fisuras que permiten la entrada de agua. Una vez dentro, el agua no puede salir debido a la impermeabilidad del mortero. Cuando los morteros son aplicados sobre muros de ladrillo o piedra porosa y poco resistente, estos ineludiblemente se rompen, debido a la expansión del agua absorbida por los poros de la piedra, al congelarse o a la cristalización de las sales que transporta el agua y a los altos valores de la adherencia del cemento y el resultado es realmente dramático (figura 3).

### Revestimientos interiores

Cuando en el exterior se sustituyen los morteros de cal por otros de cemento, produciendo una barrera impermeable, y en el interior del muro se conserva el revestimiento original de cal, el alto contenido de



Figura 3

Se puede apreciar una doble patología debido a la utilización de cemento en las juntas y luego en el revestimiento, que finalmente se cae.

agua en el interior del muro intenta su evaporación a través de la superficie interior, produciendo daños en la misma, en el acabado interior, que muchas veces esta formado por valiosas pinturas al fresco (figura 4). Cuando en el interior también se sustituye la superficie original por otra de cemento, con la intención de evitar las humedades de los muros, el nivel de humedad y la concentración de sales aumentarán todavía más, produciendo abombamientos y roturas. Cuando se intentan cubrir humedades de origen capilar, el revestimiento de cemento solo producirá aumentar la altura alcanzada por la humedad, originando daños en zonas sanas del muro y la pudrición de las vigas o armadura de madera.

### CONCLUSIONES

La alteración de las propiedades fundamentales de una construcción, por ejemplo a través de la utilización de otro nuevo, debería decisivamente evitarse. Lo mejor sería la utilización de los mismos materiales en las reparaciones e intervenciones de mantenimiento. Con ellos no produciremos ningún cambio en la manera de funcionar una estructura, y el proceso y modo de envejecimiento seguiría siendo el mismo, y las posibles causas de daños serán probablemente las mismas, pudiendo éstas ser reparadas con los mismos principios.

La elección de un material diferente tendría que tener en cuenta, en cualquier caso, el funcionamiento

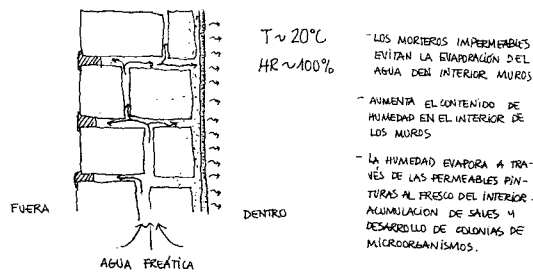


Figura 4  
Efecto de un encintado impermeable de mortero de cemento.

estructural y constructivo de las partes involucradas, y el modo de envejecimiento del mismo.

Sin embargo, nos encontramos con muchos problemas debido a la desaparición de muchos materiales tradicionales, o a la alteración de muchas de sus propiedades. La recuperación de estos materiales y de su tecnología forma parte de los problemas derivados de la voluntad de Conservación del Patrimonio Cultural.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caneva G., Nugari M. P., Salvadori O., *Biology in the conservation of works of art*. ICCROM. Rome 1991.
- Holmstrom Y., «Suitable materials for use in repair of historic structures», Conference on structural conservation of historic buildings. Unpublished report. ICCROM. Rome, 13-19 september 1977.
- Hughes P., *The need for old buildings to breathe*, Society for the Protection of Ancient Buildings.
- Information sheet 4, 1986.
- Jedrzejewska, H. «Ancient mortars as criterion in analysis of old architecture». *Mortars, Cements and Grouts used in the Conservation of Historic Buildings*. Symposium 3-6. 11. 1981. Rome.
- Massari G.&I., *Damp buildings old and new*. ICCROM. Rome 1993.
- Peroni S., Tersigni C., Torraca G., Cerea S., Forti M., Guidobaldi F., Rossi-Doria P. et al. «Lime based mortars for the repair of ancient masonry and possible substitutes». *Mortars, Cements and Grouts used in the Conservation of Historic Buildings*. Symposium 3-6. 11. 1981. Rome.
- Stewart, J. Moore., «Chemical techniques of historic mortar analysis». *Mortars, Cements and Grouts used in the Conservation of Historic Buildings*. Symposium 3-6. 11. 1981. Rome.
- Teutonico J. M., *A laboratory manual for architectural conservators*. ICCROM. Rome, 1988.
- Teutonico J.M., McCaig I., Burns C., Ashurst J., «The Smeaton Project: Factors affecting the properties of lime-based mortars». *Bulletin of the Association for Preservation Technology (APT)*. Vol. 25, N° 3-4, Albany, N.Y., September 1994.
- Torraca G., *Porous building materials: Materials science for Architectural Conservation*. ICCROM. Rome 1988.
- Boynton, R.S., Gutschick, K.A. *Strength considerations in mortar and masonry*. National Lime Association. 1995.
- Townsend, A. «Rough-cast for historic buildings». *Society for the Protection of Ancient Buildings. Information sheet 11*.
- CNRS. *Enduits et mortiers*. Archéologie médiévale et moderne. Edición del Centre National de la Recherche Scientifique. 1991.
- Perander, T., Raman, T., *Ancient and modern mortars in the restoration of historical buildings*. Technical Research Centre of Finland. Espoo 1985.