

TRATAMIENTOS DE CONSERVACION Y RESTAURACIÓN DE GEOMATERIALES: TRATAMIENTOS DE CONSOLIDACIÓN E HIDROFUGACION

Dr. Rafael Fort

Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Dpto. de Geomateriales. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid
rafael.fort@csic.es

1. Introducción

Ya desde antiguo existen referencias que indican que a la piedra utilizada en construcción se le aplicaba, en su superficie, tratamientos para hacerla más duradera. Se han utilizado ceras o productos inorgánicos como la cal o el yeso, con aditivos orgánicos ricos en proteínas y grasas. Estos tratamientos han generado en la superficie de los monumentos una pátina característica, que ha favorecido la conservación de la piedra durante siglos. Esto muestra la preocupación desde antiguo para la conservación de los materiales que se utilizaban en la construcción, que no se basaban únicamente en la sustitución de los elementos dañados por otros nuevos, sino también en la aplicación de tratamientos en la superficie de la piedra para aumentar su resistencia al deterioro.

Hasta finales del siglo XIX se utilizaban productos naturales de origen animal y vegetal que, con una elaboración sencilla, permitían obtener resinas naturales, ampliamente muy usadas en el campo de la restauración. En las últimas décadas de dicho siglo y primeras del siglo XX es cuando se empiezan a fabricar resinas sintéticas. Sin embargo, no es hasta la década de 1930-1940 cuando se produce el mayor desarrollo de nuevos materiales fabricados desde la síntesis y refino de hidrocarburos.

Las resinas termoplásticas, como son las vinílicas y acrílicas, o las termoestables, como son las epoxídicas o las de poliéster, han sido ampliamente utilizadas desde mediados del siglo XX, aunque su uso ha variado con el tiempo. Los productos órgano silícicos, como los ésteres de ácido silícico y los siloxanos, son también tratamientos que se empezaron a utilizar a mediados del siglo XX, si bien desde hace unos 30 años su utilización es muy amplia.

En el campo de la restauración del patrimonio arquitectónico se han introducido los polímeros sintéticos en muchos aspectos, para el sellado de fisuras y grietas, realización de moldes para piezas de sustitución, como aditivos en los morteros de restauración, para réplicas, como adhesivos, etc.

Una de las aplicaciones más importantes, ya que suelen afectar a una gran superficie del monumento, es la utilización de consolidantes e hidrofugantes para la conservación y protección de la superficie de la piedra natural, así como de ladrillos y morteros, para conseguir una mayor resistencia a los procesos de deterioro.

Los consolidantes son productos que tienen como finalidad devolver la consistencia original de la piedra perdida durante el proceso de deterioro. Para ello, se aplica en la superficie de la piedra productos que penetran hacia el interior de la misma a través de su sistema poroso. En algunos casos, el producto rellena la porosidad de la piedra, "solidificando" en su interior o bien recubriendo las paredes del poro, dando una mayor consistencia a la piedra.

Los productos hidrofugantes tienen como finalidad proteger a la piedra de la entrada de agua hacia su interior y de la acción agresiva de la contaminación atmosférica. Al igual que en el caso de los consolidantes, estos tratamientos pueden actuar rellenando los poros capilares de la roca y, por lo tanto, disminuyendo su capacidad de succión de agua capilar. Sobre todo, actúan recubriendo la superficie de los poros y aislando a la piedra del medio ambiente agresivo.

Estos tratamientos a base de polímeros sintéticos en ocasiones han funcionado adecuadamente para la conservación de los geomateriales, aunque en la piedra natural y otros materiales pétreos su comportamiento ha sido muy desigual, debido a las diferentes propiedades petrofísicas de los materiales. Esto ha generado que en los últimos años la tendencia en la conservación se limite el uso de estos tratamientos en los casos estrictamente necesarios, y siempre que esté constatada su idoneidad con ensayos de laboratorio previamente efectuados.

También se están incorporando en el mercado nuevos productos que utilizan técnicas de consolidación más naturales, como es la consolidación por medio de la utilización de bacterias del tipo *bacillus cereus*, que durante su actividad biótica generan carbonato y facilitan la cementación de los componentes carbonáticos de la roca. Igualmente, se están realizando importantes avances con la utilización de nanopartículas de diferente composición y características, para la consolidación y protección de la superficie de los materiales.

2. Selección de los tratamientos de conservación

Siempre que se tiene que intervenir en el patrimonio construido para su conservación, es aconsejable utilizar técnicas preventivas que eliminen los agentes de alteración de su entorno o que disminuyan su intensidad en el proceso de deterioro progresivo de sus materiales.

Pero esto no siempre es posible, ya que una de las características de los edificios y monumentos es que se encuentran a la intemperie y por lo tanto, sometidos a la acción de la lluvia, variaciones de temperatura, heladicidad, vientos, contaminación atmosférica, etc. Esto hace que las medidas preventivas no sean siempre posibles, ya sea por la situación del bien patrimonial dentro de su entorno agresivo, o por encontrarse en un estado de deterioro tan elevado que obliga a actuar directamente sobre los materiales.

La selección de un tratamiento de conservación tiene que definirse atendiendo a su eficacia, su idoneidad y compatibilidad con los materiales existentes, así como a su durabilidad o resistencia a los procesos de deterioro. Todos estos tratamientos pueden generar el efecto contrario al deseado, es decir, daños importantes sobre el bien que se quiere proteger, acelerando incluso los procesos de deterioro. Hay que tener en cuenta que estos tratamientos van a modificar las propiedades petrofísicas del soporte (sistema poroso y propiedades de superficie). Además, pueden generar subproductos que suelen formarse en zonas determinadas del soporte con efectos no deseados. Las modificaciones de color, brillo, textura, etc., son frecuentes con la aplicación de tratamientos, siendo necesario evitar o reducir al máximo estos cambios, para no perder la estética original del conjunto arquitectónico.

El primer paso para tratar la superficie deteriorada de una obra realizada en piedra tiene que dirigirse hacia el conocimiento de sus propiedades petrológicas, tanto petrográficas y petrofísicas, como de su composición química, así como el grado de deterioro que presenta. El conocimiento de la historia del edificio, de las intervenciones que ha sufrido en el pasado, sobre todo si ya han sido aplicados otros tratamientos de conservación, y de las condiciones microclimáticas a las que están sometidas sus diferentes fachadas, así como la temperatura y humedad que presenta el material en el momento de la aplicación y si existen productos de alteración en el interior o en la superficie de la piedra, son aspectos a tener en cuenta para poder definir el tratamiento más adecuado.

Otra cuestión muy importante en la selección de los tratamientos son las formas de aplicación, ya que en muchos casos pueden dar lugar a que la eficacia, idoneidad y durabilidad sean diferentes.

También es necesario valorar, y así lo indican las distintas Cartas Internacionales de Restauración del Patrimonio, la reversibilidad del tratamiento. Es decir, que puedan ser eliminados si se observa que están produciendo daños en la piedra. Todo tratamiento tiene que ser reversible sin alterar la estructura y superficie original de la piedra, de modo que sea compatible con otros tratamientos que pudieran aplicarse en un futuro.

El no cumplir este requisito hace que cuando se procede a la intervención en un edificio que ha sido consolidado y/o hidrofugado, los resultados obtenidos al aplicar nuevos tratamientos no puedan garantizar su idoneidad sin realizar otra serie de ensayos previos. Entender las causas del deterioro y los daños que presentan las piedras en las diferentes partes del edificio es también muy importante, ya que permitirá establecer las pautas de actuación y valorar la importancia de las intervenciones a realizar.

La enorme variedad de productos que se comercializan actualmente para la conservación (consolidación e hidrofugación) de materiales pétreos utilizados en el patrimonio arquitectónico y monumental, hace necesario y prácticamente imprescindible la valoración de los productos y tratamientos antes de su aplicación sobre la superficie de los materiales. Esta valoración se tiene que efectuar no sólo por los resultados que han dado estos materiales en otros edificios o materiales, sino que siempre es necesario realizar una serie de ensayos en el laboratorio, siendo también muy recomendable, siempre que se pueda, proceder también con su comprobación sobre el propio paramento del edificio.

3. Eficacia de los tratamientos

La eficacia de los consolidantes se mide según el grado de consolidación que se consigue al aplicarlo sobre una piedra deteriorada con respecto a la piedra original, sin alterar. Esto puede comprobarse mediante la determinación del índice de compacidad de la piedra y, sobre todo, del valor de la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas. También es adecuado el empleo de técnicas de esclerometría, con las que se mide la dureza superficial de la piedra tratada. La aplicación del hidrofugante a la piedra, aunque mejora su comportamiento en cuanto a un incremento en la velocidad ultrasónica se refiere, no suelen alcanzarse los valores obtenidos con la aplicación de los consolidantes.

Hay que tener en cuenta que la eficacia de los hidrofugantes debe medirse con respecto a su capacidad de hidrorrepelencia al agua, y no tanto en lo que se refiere a las propiedades mecánicas o de dureza superficial, como en el caso de los consolidantes. En este sentido, para medir la eficacia de los tratamientos de hidrofugación, existen diferentes ensayos que permiten determinar el grado de hidrorrepelencia alcanzado por la superficie de la piedra tratada. El más adecuado y rápido es la determinación del ángulo de contacto entre el agua y la superficie de la piedra, ya sea por métodos estáticos o dinámicos. La rapidez y exactitud del método supera al de otras técnicas que también dan información sobre la eficacia del tratamiento de protección, como son el ensayo de la pipeta Karsten, ensayos de absorción libre de agua, de agua capilar y ensayo de la gota.

Otra cuestión importante a valorar es la capacidad de penetración de los productos en el interior de la piedra. Este aspecto es importante en los polímeros utilizados para la consolidación de la piedra, ya que tienen que penetrar hasta la zona sana del elemento a consolidar, variando esta profundidad de penetración desde micrómetros hasta centímetros. Por el contrario, en los tratamientos de hidrofugación, la penetración es más superficial siendo por lo general un recubrimiento de varios micrómetros, ya que lo que interesa es evitar la entrada de agua al interior de la piedra, por lo que con una superficie hidrorrepelente se alcanza la eficacia necesaria.

Existen distintos métodos para determinar la profundidad de penetración de los productos, siendo la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido la más adecuada pues permiten caracterizar diferentes tratamientos, conocer la profundidad a la que penetran, el contacto entre los granos minerales y el producto y, sobre todo, establecer si su grado de adherencia al soporte es bueno. También el uso de la técnica Drilling Resistance Measuring System (DRMS) o resistencia a la microperforación es muy adecuada para analizar el cambio de resistencia que experimenta el material en profundidad y, con ello, hasta dónde ha penetrado el producto.

4. Idoneidad del tratamiento

La idoneidad del tratamiento tiene que prevalecer sobre su eficacia, ya que aquélla consiste en que el tratamiento aplicado no debe modificar negativamente las propiedades petrofísicas de la piedra sobre la que se aplique, ni disminuir su valor estético ni favorecer la formación de patologías antes no existentes. Así, modificaciones de brillo o de color pueden ser motivos que desaconsejen la aplicación de estos tratamientos en la superficie de los materiales pétreos.

Es necesario conocer estos cambios por medio de técnicas espectrofotométricas, con medida de las coordenadas cromáticas antes y después de la aplicación de los tratamientos. Dentro de esta idoneidad se encuentra la compatibilidad del producto orgánico sintético con respecto al soporte inorgánico sobre el que se le aplica.

Los tratamientos generan importantes cambios en la porosidad y en la distribución de tamaños de poros, lo que origina importantes cambios en el modo de circulación del agua a través del sistema poroso de la piedra. Además, puede provocar reducciones en su permeabilidad al vapor de agua, que es una de las causas principales generadoras de importantes daños en la piedra, o la aparición de poros capilares, incrementándose el coeficiente de permeabilidad en los materiales por este proceso.

Igualmente, la aplicación de estos tratamientos puede dar lugar al aumento de la microporosidad, favoreciendo que la piedra disminuya su resistencia a los procesos de deterioro por heladicidad y de cristalización de sales.

5. Durabilidad de los tratamientos

En muchas ocasiones la eficacia de los tratamientos queda mermada por la escasa durabilidad que tienen con el paso del tiempo, ya que éstos pueden envejecer rápidamente. Todo tratamiento tiene una vida limitada, cuya duración está muy directamente relacionada con las condiciones agresivas del medio ambiente en que se encuentra el monumento o edificio. El mejor producto para la conservación de la piedra de construcción de un edificio será aquel que mejore su calidad mecánica y aumente su resistencia a los procesos de alteración, y que mantenga estas características durante el mayor período de tiempo posible.

La determinación de la durabilidad de un material pétreo y de los tratamientos de conservación se realiza sometiendo a los mismos a experiencias de alteración, reproduciendo las condiciones medio ambientales en que se encuentra el edificio. Los ensayos más representativos son los que se realizan *in situ*, en donde se produce el envejecimiento natural de los tratamientos efectuados. Pero estos ensayos duran varios años, por lo que es necesario recurrir al envejecimiento acelerado por medio de cámaras climáticas. En estos ensayos se controla periódicamente el deterioro visual que se puede apreciar en la superficie de la piedra, la pérdida de peso, la variación de la porosidad accesible al agua, de la capacidad de absorción de agua, de la velocidad de propagación de ultrasonidos, de las coordenadas cromáticas, etc. En los ensayos de radiación ultravioleta se analizan los cambios de color de la piedra tratada.

6. Conclusiones

Establecer los criterios de intervención y los métodos de actuación, con la selección de los productos de conservación más adecuados para las características del material a conservar y del propio edificio, son aspectos muy importantes para poder tener éxito en la intervención. La selección, teniendo en cuenta la eficacia del tratamiento, su idoneidad y compatibilidad con la piedra y su entorno, así como que el producto mantenga sus cualidades de efectividad durante el mayor período de tiempo posible, son aspectos esenciales para poder avalar una correcta intervención. Las técnicas de aplicación de los productos pueden variar la eficacia e idoneidad de los productos por lo que es otro parámetro que es necesario controlar tanto en los ensayos previos como luego su control en la propia obra.

Agradecimientos

A los Programas Geomateriales (S2009/MAT-1629) y CONSOLIDER-TCP (CSD2007-0058), y a la financiación de Grupo de Investigación de la UCM (ref.921349). También se quiere agradecer al Campus de Excelencia Internacional (CEI-Moncloa), en el que se participa como grupo de investigación *Petrología Aplicada a la Conservación del Patrimonio*.

Bibliografía recomendada

- Alvarez de Buergo, M., Fort, R. (2001): Basic methodology for the assessment and selection of water-repellent treatments applied on carbonatic materials. *Progress in Organic Coatings* 43, 258-266.
- Alvarez de Buergo, M., Fort, R. (2003): Protective Patinas applied on stony façades of Historical Building in the past. *Construction and Building Materials* 17(2), 83-89.
- Alvarez de Buergo, M., Fort, R., Gómez-Heras, M. (2004): Contributions of SEM to the assessment of the effectiveness of stone conservation treatments. *Scanning* 26(1), 41-47.
- Esbert, R., Ordaz, J., Alonso, F.J., Montoto, M., González Limón, T., Álvarez de Buergo, M. (1997): Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos. Colegio de aparejadores y arquitectos técnicos de Barcelona, 139 p.
- Fort, R. (1996a): La conservación de la piedra monumental. En: *Degradación y Conservación del Patrimonio Arquitectónico*, F. Mingarro (ed.), Madrid, Cursos de verano de El Escorial, Ed. Complutense, pp. 481-492.
- Fort, R. (1996b): Modificación de propiedades petrofísicas de las rocas con la utilización de consolidantes e hidrofugantes. En: *Degradación y Conservación del Patrimonio Arquitectónico*, F. Mingarro (ed.), Madrid, Cursos de verano de El Escorial, Ed. Complutense, pp. 493-505.

- Fort, R., Alvarez de Buergo, M., Varas, M.J., Vázquez, M.C. (2005): Valoración de tratamientos con polímeros sintéticos para la conservación de materiales pétreos del patrimonio. *Revista de Plásticos Modernos* 89(583), 83-89.
- García de Miguel, J.M. (2009): Tratamiento y conservación de la piedra, el ladrillo y los morteros en monumentos y construcciones. Ed. Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, 686 p.
- Gómez de Terreros, M.G., Alcalde, M. (2000): Metodología de estudio de la alteración y conservación de la piedra monumental. Universidad de Sevilla, 193 p.
- Gómez-Heras, M., Alvarez de Buergo, M., Fort, R., Rebollar, E., Oujia, M., Castillejo, M. (2003): Laser removal of water repellent treatments on limestone. *Applied Surface Science* 219(3-4), 290-299.
- Honwyborne, D., Ashurst, J., Price, C., Ross, K. (1990): Surface treatments. Conservation of Building and Decorative Stone. J. Ashurst y F.G. Dimes (eds.). Butterworth-Heinemann, Londres, Vol. 2, pp. 155-207.
- Knopman, D.S. (1975): Conservation of stone Artwork: Barely a role for science. *Science* 190, 1187-1188.
- Laurenzi Tabasso, M. (2004): Products and methods for the conservation of stone: Problems and trends. En: *10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*. Estocolmo, Suecia, Vol. 1, pp. 269-282.
- Price, C.A. (1996): Stone Conservation. An Overview of Current Research. Research in Conservation reference series, The Getty Conservation Institute.
- Rossi-Manaresi, R. (1972): On the treatment of stone sculptures in the past. En: *Proceedings of the Meeting: The Treatment of Stone*. R. Rossi-Manaresi (ed.). Bologna, pp. 81-104.
- Selwitz, C. (1992): Epoxy Resins in Stone Conservation. Research in Conservation 7, The Getty Conservation Institute.
- Torraca, G. (1975): The treatment of stone in monuments. A review of principles and processes. En: *I Int. Symp. The Conservation of Stone*, Bologna, pp. 192-315.
- Villegas, R. (2007): Consolidantes e hidrófugos. Productos para el tratamiento de materiales pétreos En: *Jornada técnica sobre tratamientos de conservación aplicados a materiales pétreos en construcciones históricas*, Ed. Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción (INTROMAC), pp. 35-48.
- Villegas (2007): Ensayos y técnicas para evaluar la eficacia de los tratamientos En: *Jornada técnica sobre tratamientos de conservación aplicados a materiales pétreos en construcciones históricas*, Ed. Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción (INTROMAC), pp. 49.
- Vázquez-Calvo, M.C., Álvarez de Buergo, M., Fort, R. (2006): Overview of recent knowledge of patinas on stone monuments: the Spanish experience. En: *Building Stone Decay: Diagnosis to Conservation*, R. Prikryl y B. Smith (eds.). Geological Society Special Publications 271, London, pp. 295-307.