
Absorción por capilaridad y consolidación de materiales pétreos del patrimonio histórico construido impermeabilizados y reforzados con productos hidrofugantes y consolidantes comerciales.

C. Thomas¹, I. Lombillo², J. Setién¹, J. A. Polanco¹, L. Villegas²

¹ Dpto. Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales. Universidad de Cantabria (UC). Avda. Los Castros s/n, Santander 39005, España. E-mail: carlos.thomas@unican.es

² Dpto. Ingeniería Estructural y Mecánica. Universidad de Cantabria (UC). Avda. Los Castros s/n, Santander 39005, España. E-mail: ignacio.lombillo@unican.es

Abstract: This research, conducted by a multidisciplinary team of the Technical School of Civil Engineers of the University of Cantabria, has defined the guidelines proposed in the "Technical Specification of the preliminary study for execute the Project of the Rehabilitation of the Riva de Herrera palace" s. XVI, unique building, erected in Santander, Spain. Within the distribution of tasks envisaged, the group has been responsible for studies of physical and mechanical characterization of materials used in the original construction of the building, as well as analyzes the influence of certain surface treatments that, predictably, can be applied during the stage of rehabilitation with the aim of improving the durability of buildings.

1 Introducción

La presente investigación [1], llevada a cabo por un equipo multidisciplinar de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria, ha definido las pautas propuestas en las "Prescripciones Técnicas en la realización de los Estudios Previos para la redacción del Proyecto de Rehabilitación del Palacio de Riva Herrera", edificio singular del siglo XVI, erigido en la ciudad de Santander, España.

Dentro de la distribución de tareas prevista, el grupo se ha encargado de los estudios de caracterización física y mecánica de los materiales utilizados en la construcción original del edificio, así como de analizar la influencia de determinados tratamientos superficiales que, previsiblemente, pueden ser aplicados durante la fase de restauración con el objetivo de mejorar la durabilidad de las edificaciones [2].

2 Materiales

Como resultado de la inspección visual previa llevada a cabo sobre la estructura del edificio, se han identificado tres tipos principales de piedra: la piedra dominante en cuanto a presencia, de naturaleza caliza por su color blanquecino y el aspecto de su fractura; menos abundante, pero predominante en algunas zonas concretas de los paramentos, una piedra mucho menos consolidada en cuanto a su estructura y mucho más afectada por fenómenos de meteorización, de tipo arenisca, habiéndose identificado dos calidades distintas en atención a las diferentes tonalidades bajo las que se presenta: una de ellas con tonalidad grisáceo – blanquecina, que se denominarán arenisca blanca, y la otra con predominancia de tonalidades rojizas u ocre y que será denominada arenisca roja. Finalmente, con una presencia poco significativa en el conjunto, aparece un tercer tipo de roca de naturaleza margosa, con tonalidad grisácea característica, la cual no ha sido considerada en los ensayos de impermeabilización y consolidación debido a que su presencia en la edificación es testimonial.

3 Programa experimental

Seguidamente, se describen en detalle las metodologías aplicadas en la ejecución de cada uno de los ensayos realizados [3] y [4], y se referencia la normativa consultada en cada caso.

3.1 Caracterización física

La caracterización física de las piedras objeto de estudio, ha comprendido la realización de ensayos para la determinación de las densidades aparente y relativa, la porosidad y la absorción de agua de cada una de ellas [5]. Para ello, se han seguido las directrices especificadas en la normativa española [6]. La metodología experimental utilizada ha consistido en el secado de las piedras en estufa a 105 °C hasta peso constante. Una vez alcanzado este estado, se pesan las muestras secas. A continuación, se introducen las muestras en una celda en la que se hace el vacío durante 24 horas con ayuda de una bomba, de tal forma que se extrae el aire del interior de la porosidad abierta del material. Seguidamente, se introduce lentamente agua en la celda hasta cubrir las muestras, de modo que la sobrepresión creada facilita la introducción del agua en sus poros accesibles; en este estado, se mantienen las muestras durante otras 24 horas. Finalmente, se coloca la celda de vacío a presión atmosférica y se mantienen las probetas sumergidas durante 24 horas más. Concluido el proceso, se seca rápidamente la superficie de las muestras con un paño y se pesan en condiciones de saturación.

Por otra parte, para determinar el volumen aparente de las muestras, se hace uso de una balanza hidrostática modificada; para ello se evalúa el peso de las muestras completamente sumergidas en agua, suspendidas de un hilo de nylon. Estas medidas proporcionan directamente el volumen de agua desplazado por las muestras (puesto que la densidad del agua es 1 g/cm³) y, consecuentemente, el volumen aparente (V_a) de la misma.

Con los resultados de estas medidas y la formulación que proporciona la normativa, se pueden calcular los distintos parámetros físicos de interés para las rocas analizadas, que en el caso que nos ocupa han sido: Volumen aparente, V_a (cm³); Porosidad accesible, h_a (cm³); Volumen relativo, V_r (cm³), equiparable en muestras poco porosas al volumen real; Densidad aparente, D_a (g/cm³); Densidad relativa, D_r (g/cm³), equiparable en muestras poco porosas a la densidad real; Coeficiente de absorción (% en peso); Porosidad (% en volumen).

3.2 Absorción por capilaridad

Se han llevado a cabo asimismo determinaciones de la absorción capilar, con el fin de evaluar el efecto que sobre esta propiedad pudieran ejercer los distintos tratamientos hidrofugantes a aplicar durante el proceso de rehabilitación del edificio [7], [8], [9], [10] y [11]. Para ello, se han seguido las directrices especificadas en la normativa española [7]. La metodología experimental consiste en determinar, en intervalos de tiempo bien definidos, la ganancia de masa que experimenta por absorción capilar una probeta completamente seca, parcialmente sumergida hasta unos 3 mm de profundidad, en un recipiente con agua [12]. En el caso que nos ocupa, el ensayo se ha llevado a cabo sobre testigos de piedra sin ningún tratamiento superficial y sobre el mismo material tras aplicar a la cara sumergida de los testigos tres tratamientos distintos de hidrofugación con productos comercialmente disponibles [13], [14] y [15]. La comparación, en todos los casos, se realiza a través del valor del coeficiente de absorción capilar, definido en la citada normativa [7] y [16]. Con estos ensayos, se pretenden evaluar posibles modificaciones de la escorrentía superficial y en el transporte de sales solubles a través del material [17] y [18].

3.3 Consolidación de las rocas

Asimismo, se han realizado pruebas con distintos consolidantes comerciales aplicados a las caras exteriores de los testigos. Para estudiar su efecto, se ha controlado la resistencia a compresión de los mismos tras aplicar los correspondientes tratamientos, comparando los resultados con los valores de referencia para testigos no tratados [19] y [20].

4 Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de todos los ensayos realizados.

4.1 Caracterización física de las piedras

En la Tabla 1, se presentan los resultados correspondientes a la caracterización física de las piedras seleccionadas.

Tabla 1. Propiedades físicas de los 4 tipos de roca analizadas.

PROPIEDAD	CALIZA	MARGA	ARENISCA ROJA	ARENISCA BLANCA
Densidad aparente [g/cm ³]	2,65	2,50	2,25	2,09
Densidad relativa [g/cm ³]	2,69	2,64	2,44	2,50
Coef. de absorción [% peso]	0,56	2,05	3,49	7,81
Porosidad [% en volumen]	1,48	5,14	7,83	16,36

Como era previsible a partir de la observación macro y microestructural de las rocas, la mayor porosidad corresponde a la piedra arenisca (aunque hay notables diferencias entre los dos tipos de areniscas contemplados) y la menor a la caliza, situándose la marga en un valor intermedio entre ambas.

De acuerdo con la clasificación de las calizas de construcción [21] y [22] como ligeras, medias y pesadas en función de su densidad, absorción y resistencia, la caliza analizada corresponde al tipo pesado, dado que su densidad aparente es superior a 2,56 g/cm³ y su absorción de agua es inferior al 3%, siempre y cuando se compruebe que su resistencia a compresión supera los 56 MPa.

De igual forma, en las Figuras de 1 a 4 se incluyen los resultados obtenidos en los ensayos de absorción por capilaridad realizados sobre los distintos tipos de rocas considerados. En todos los casos, se ha mantenido una probeta de referencia (piedra natural), que no ha sido sometida a ningún tipo de tratamiento, mientras que otras tres probetas de cada tipo de roca fueron impermeabilizadas con diferentes hidrofugantes comercialmente disponibles y suministrados por diversas casas especializadas y que se denotarán: HC1; HC2 y HC3.

Los resultados presentados comprenden, para cada tipo de roca, los valores de agua absorbida en los intervalos de tiempo considerados y la representación gráfica comparativa de la masa de agua absorbida por unidad de superficie frente a la raíz cuadrada del tiempo transcurrido desde el inicio del ensayo, tal como prescribe la correspondiente normativa [7]. Estas curvas presentan dos tramos bien diferenciados: un tramo inicial de crecimiento cuasilíneo seguido de un plateau horizontal cuando se alcanza la saturación.

A partir de estos resultados, se han determinado los coeficientes de absorción por capilaridad como las pendientes de los tramos rectos iniciales en cada caso, si la correlación de los puntos experimentales con la recta de ajuste es superior a 0,90, o bien mediante ajuste exponencial linealizado cuando el gráfico que muestra la masa de agua absorbida en relación al área de la base sumergida de la probeta, en función de la raíz cuadrada del tiempo, no puede ser satisfactoriamente aproximado por dos líneas rectas.

Figura 1. Arenisca blanca. Absorción por capilaridad de 3 testigos de arenisca blanca de $1,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ de base, impermeabilizados con productos comerciales, y de un cuarto testigo de piedra natural sin tratamiento: Piedra natural, HC1, HC2 y HC3.

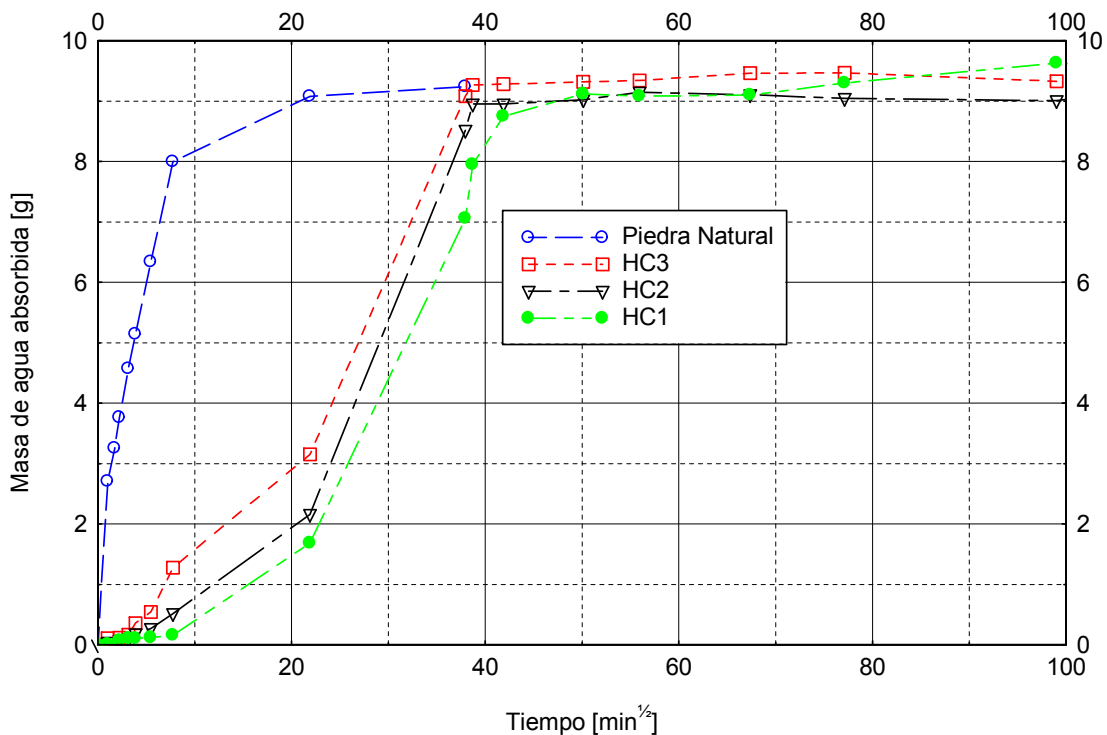


Figura 2. Arenisca roja. Absorción por capilaridad de 3 testigos de arenisca roja de $1,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ de base, impermeabilizados con productos comerciales, y de un cuarto testigo de piedra natural sin tratamiento: Piedra natural (—●—), HC1 (—■—), HC2 (—▲—) y HC3 (—◆—).

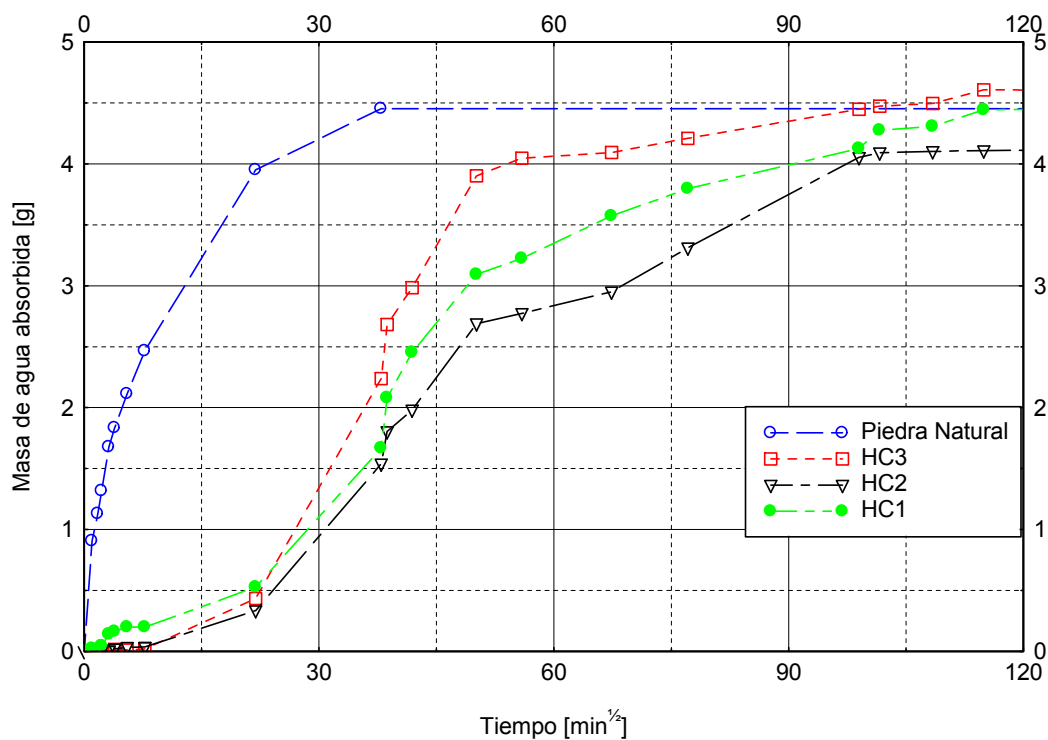
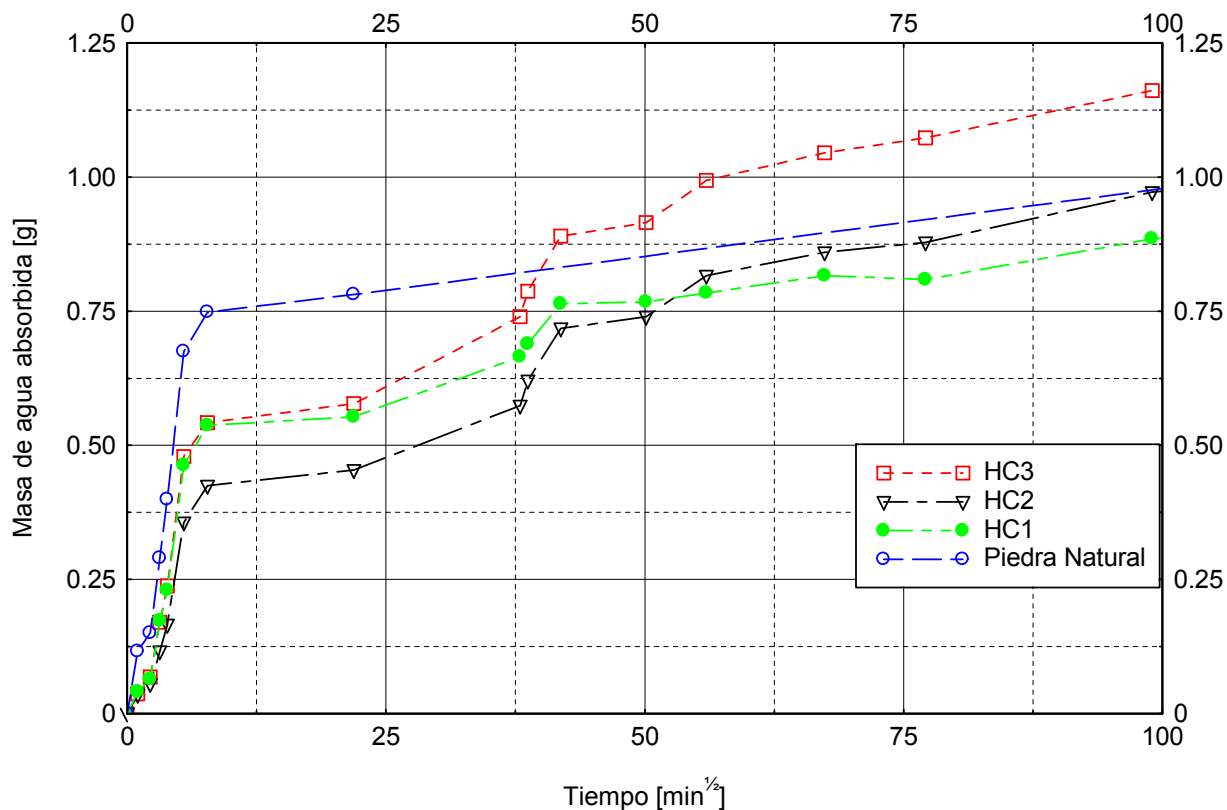


Figura 3. Roca caliza. Absorción por capilaridad de 3 testigos de piedra caliza de $1,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ de base, impermeabilizados con productos comerciales, y de un cuarto testigo de piedra natural sin tratamiento: Piedra natural, HC1, HC2 y HC3.



En la Figura 4, se muestran los ajustes realizados sobre las curvas de absorción capilar correspondientes a la roca de arenisca blanca, junto con los coeficientes de correlación asociados a cada uno de los tratamientos de impermeabilización aplicados. En los testigos sometidos a tales tratamientos de hidrofugación, se observa que existe un cierto tiempo inicial durante el cual la succión capilar es despreciable. Este tiempo muerto, está recogido en la Tabla 2 junto con los valores de los coeficientes de absorción calculados a partir de las pendientes dadas por los ajustes lineales. Asimismo, en dicha tabla se incluye también el valor del coeficiente de absorción capilar expresado como porcentaje, para lo cual se ha normalizado al 100% el valor del correspondiente a la piedra natural, sin tratamiento alguno de impermeabilización.

De igual forma, en la Figura 5 y en la Tabla 3 se presentan estos mismos resultados pero para los testigos de arenisca roja, mientras que la Figura 6 y la Tabla 4 muestran los resultados correspondientes a los ensayos de succión realizados sobre testigos de roca caliza.

Como era de esperar, existe una excelente correlación entre estos resultados y los datos de porosidad de los distintos tipos de roca considerados, correspondiendo los valores más altos del coeficiente de absorción capilar a los mayores valores de porosidad, y viceversa. Con respecto a la impermeabilización, todos los tratamientos aplicados son efectivos, en tanto en cuanto reducen sensiblemente los valores del coeficiente de absorción con relación a los testigos de referencia.

Figura 4. Arenisca blanca. Representación gráfica de las líneas de regresión correspondientes a la absorción por capilaridad de 3 testigos de arenisca blanca de $1,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ de base, impermeabilizados con productos comerciales: Piedra natural (—◆—), HC1 (—■—), HC2 (—▲—) y HC3 (—×—).

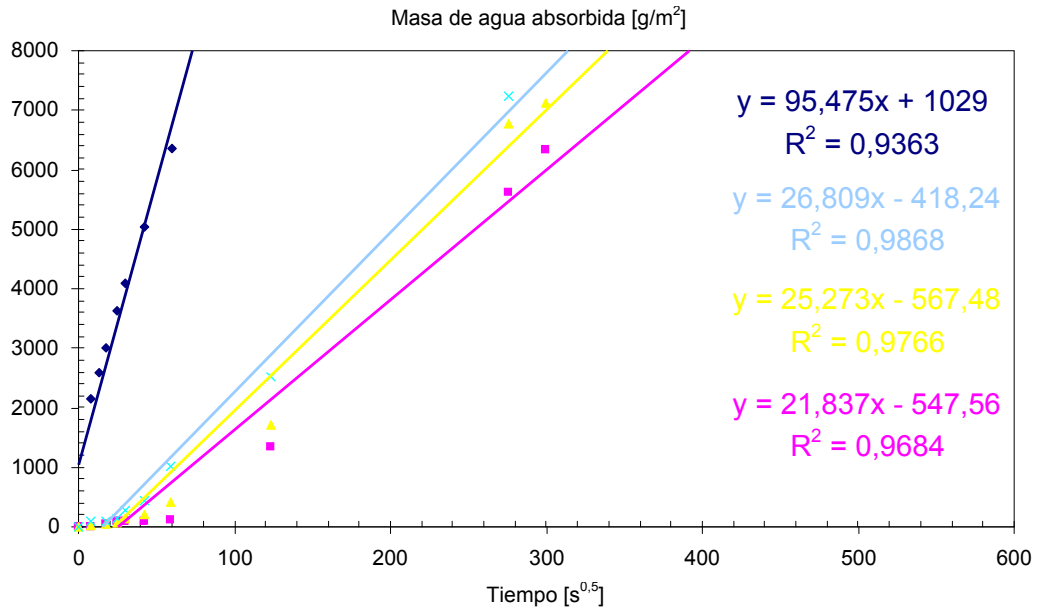


Tabla 2. Arenisca blanca. Datos de la absorción por capilaridad de 3 testigos de arenisca blanca de $1,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ de base, impermeabilizados con productos comerciales: Piedra natural, HC1, HC2 y HC3.

PROPIEDAD	PIEDRA NATURAL	HC3	HC2	HC1
Coefficiente de absorción [g/(m ² s ^{0,5})]	95,475	26,809	25,273	21,837
Coefficiente de absorción [%]	100	28,08	26,47	22,87
Coefficiente de correlación [R ²]	0,936	0,987	0,976	0,968
Tiempo muerto [min]	0	11,6	18,4	21,39

Figura 5. Arenisca roja. Representación gráfica de las líneas de regresión correspondientes a la absorción por capilaridad de 3 testigos de arenisca roja de $1,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ de base, impermeabilizados con productos comerciales: Piedra natural (\blacklozenge), HC1 (\blacksquare), HC2 (\blacktriangle) y HC3 (\blackcross).

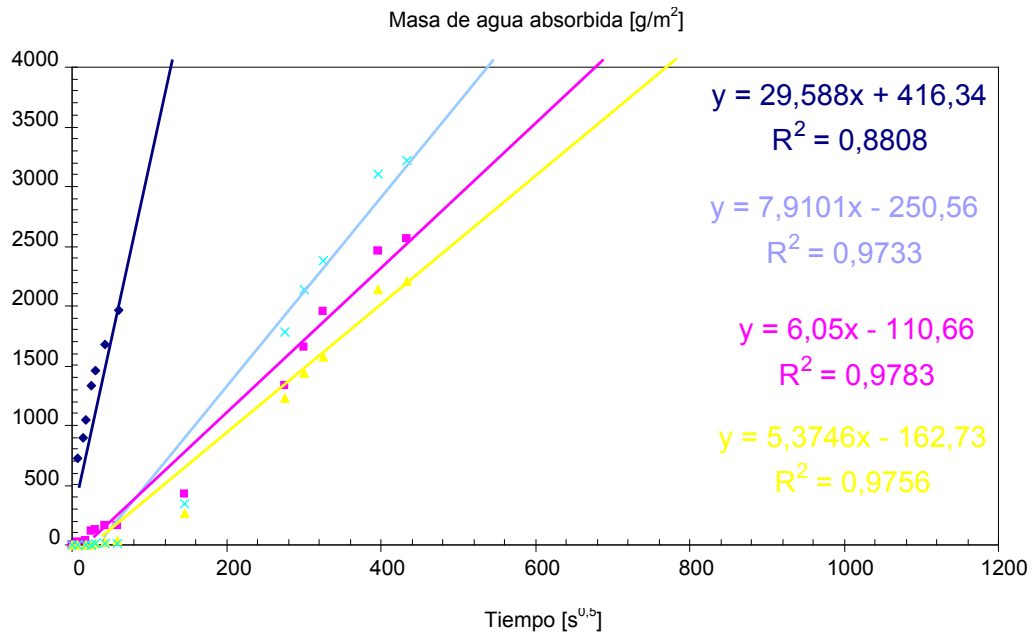


Tabla 3. Arenisca roja. Datos de la absorción por capilaridad de 3 testigos de arenisca roja de $1,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ de base, impermeabilizados con productos comerciales: Piedra natural, HC1, HC2 y HC3.

PROPIEDAD	PIEDRA NATURAL	HC3	HC2	HC1
Coefficiente de absorción [$\text{g}/(\text{m}^2 \text{ s}^{0,5})$]	29,59	7,91	6,05	5,37
Coefficiente de absorción [%]	100	26,73	20,45	18,16
Coefficiente de correlación [R^2]	0,88	0,973	0,978	0,975
Tiempo muerto [min]	0	34,87	17,45	32,78

Figura 6. Roca Caliza. Representación gráfica de las líneas de regresión correspondientes a la absorción por capilaridad de 3 testigos de caliza de $1,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ de base, impermeabilizados con productos comerciales: Piedra natural (—◆—), HC1 (—■—), HC2 (—▲—) y HC3 (—×—).

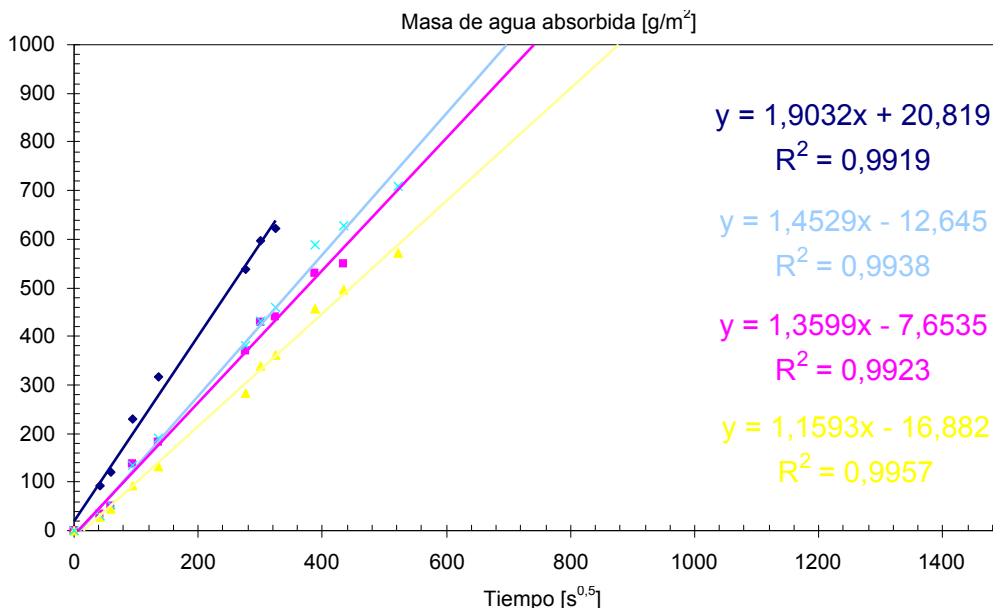


Tabla 4. Roca Caliza. Datos de la absorción por capilaridad de 3 testigos de caliza de $1,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ de base, impermeabilizados con productos comerciales: Piedra natural, HC1, HC2 y HC3.

PROPIEDAD	PIEDRA NATURAL	HC3	HC2	HC1
Coefficiente de absorción [g/(m ² s ^{0.5})]	1,9	1,45	1,36	1,16
Coefficiente de absorción [%]	100	76,34	71,45	60,91
Coefficiente de correlación [R ²]	0,991	0,993	0,992	0,996
Tiempo muerto [min]	0	6,43	4,57	10,84

Por su parte, en la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión sobre probetas que han estado sometidas a la acción de diferentes consolidantes comerciales, en comparación con los valores de resistencia a compresión considerados como de referencia.

Dado que la piedra caliza presenta un grado de integridad y cohesión suficientemente elevado, no se ha considerado necesaria la aplicación de consolidantes para este material. Sí se han aplicado, por el contrario, a las piedras de arenisca, tanto roja como blanca, cuya cohesividad es mucho más deficiente [23].

Los consolidantes empleados han sido de tres marcas comerciales distintas, todas ellas disponibles en el mercado bajo las siguientes denominaciones: consolidante C3, consolidante de piedra de la casa C2, y consolidante C1. Siguiendo las instrucciones de los fabricantes, tras la adecuada limpieza de la superficie de los testigos, se procede a la aplicación del consolidante mediante brocha. Teniendo en cuenta que, según las estimaciones de los catálogos de producto, las condiciones óptimas de la consolidación se alcanzan a partir del decimoquinto día posterior a la fecha de aplicación, los ensayos de resistencia a compresión [19] y [24] se han realizado garantizando el cumplimiento de este plazo de tiempo.

Tabla 5. Datos de las resistencias a compresión de testigos de piedra natural (Arenisca roja y Arenisca blanca) tras tratamiento con consolidantes comerciales y comparación con los valores de referencia sin tratamiento.

	Arenisca roja				Arenisca blanca			
	Patrón	C3	C1	C2	Patrón	C3	C1	C2
Φ [mm]	40	40	40	40	40	40	40	40
H [mm]	80	49	48	49	80	50	49	50
P [tons]	4,45	4,71	5,06	4,68	3,31	3,10	3,12	2,90
H / Φ	1,96	1,23	1,2	1,23	1,96	1,25	1,23	1,25
R	1,00	0,94	0,93	0,94	1,00	0,94	0,94	0,94
R_m [MPa]	34,7	34,58	36,75	34,35	25,8	22,76	22,95	21,29

Φ : diámetro de la probeta
H: altura de la probeta
P: carga de rotura

H/ Φ : relación altura/diámetro de la probeta
R: factor de corrección por esbeltez
 R_m : resistencia a compresión

Como puede comprobarse, no existe una mejora significativa en los valores de resistencia a compresión tras la acción del consolidante superficialmente aplicado. Posiblemente la razón de esta inactividad sea que el estado inicial de consolidación de las piedras de arenisca era suficientemente bueno, por lo que la acción supuestamente potenciadora del consolidante no se pone de manifiesto. No obstante, cabe suponer que su efectividad será mucho más relevante en el tratamiento de rocas que, inicialmente, presenten débil cohesión e integridad.

5 Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos, se pueden extraer las siguientes conclusiones de carácter general:

Se han identificado tres tipos principales de rocas en la mampostería del edificio: una roca caliza con presencia mayoritaria, alternada con algunos sillares poco numerosos de marga, y en algunas zonas concretas de los paramentos roca arenisca de dos calidades (blanca y roja, esta última con mayores contenidos de hierro y de feldespatos), mucho más alterada por la acción de los agentes atmosféricos circundantes.

La absorción de agua es muy acusada en los testigos extraídos a partir de la roca arenisca blanca, con porosidades que rondan el 16%, mientras que en la arenisca roja la porosidad desciende hasta el 8%. La absorción de agua es despreciable en la roca caliza, con porosidad que se mantiene por debajo del 1,5%. En el caso de la marga, la porosidad se mantiene en un valor intermedio, ligeramente superior al 5%.

En cuanto a la absorción capilar, los valores de los coeficientes de absorción revelan, como era de esperar, una perfecta correlación con los valores de la porosidad de los distintos tipos de roca considerados. Todos los tratamientos de impermeabilización son efectivos, al reducir notablemente los valores de la succión capilar con respecto a los testigos de referencia no sometidos a tratamientos de hidrofugación. Además, estos tratamientos inducen un cierto retardo en el inicio del fenómeno de capilaridad, lo cual es muy beneficioso sobre todo en aquellas situaciones en que el mojado de la roca en los paramentos no va ser continuado.

En lo referente a las resistencias mecánicas a compresión, las areniscas blanca y roja arrojan valores aceptables comprendidos entre los 30 y los 40 MPa, ligeramente superiores en promedio para la arenisca roja que para la blanca. En cuanto a la piedra caliza, su resistencia es excelente, con valores que superan los 100 MPa.

No se observan mejoras en la resistencia a compresión de testigos de areniscas blanca y roja sometidos a la acción de distintos consolidantes, aunque es previsible que se obtengan resultados más positivos sobre piedras cuyo estado inicial presente grados de cohesión mucho más deficientes.

Referencias

- [1] C. Thomas, J. Setién, J. A. Polanco; "Caracterización de materiales pétreos naturales procedentes del Palacio de Riba Herrera"; Informe Técnico, Laboratorio de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Universidad de Cantabria. 2006.
- [2] L. Villegas, I. Lombillo; «Los estudios previos en la rehabilitación de construcciones del patrimonio construido»; 1ª Jornada Nacional sobre Metodologías no Destructivas aplicadas a la Rehabilitación del Patrimonio Construido (2006); 7-26.
- [3] L. A. Alonso Ortiz et al.; «La rehabilitación del antiguo Seminario de la Universidad de Comillas»; Tecnología de la Rehabilitación y Gestión del Patrimonio Construido REHABEND (2007); 209-223.
- [4] M.R. Valluzzi, L. Binda and C. Modena, Experimental and analytical studies for the choice of repair techniques applied to historic buildings, Mater Struct 35 (249) (2002), pp. 285–292.
- [5] C. Thomas, J. Setién, J. A. Polanco; «Conservación del patrimonio construido: caracterización de los materiales pétreos originales del edificio de la Universidad Pontificia de Comillas»; Tecnología de la Rehabilitación y Gestión del Patrimonio Construido REHABEND (2007); 151-163.
- [6] Norma europea UNE – EN 1936: "Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total".
- [7] Norma europea UNE – EN 1925: "Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad"
- [8] Tsakalof, A., Manoudis, P., Karapanagiotis, I., Chryssoulakis, I., Panayiotou, C.; "Assessment of synthetic polymeric coatings for the protection and preservation of stone monuments"; 2007; Journal of Cultural Heritage 8 (1), pp. 69-72.
- [9] P. Rizzarelli, C. La Rosa and A. Torrisi, Testing a fluorinated compound as a protective material for calcarenite, J. Cult. Herit. 2 (2001), pp. 55–62.
- [10] F.E. Hénon, M. Camaiti, A.L.C. Burke, R.G. Carbonell, J.M. DeSimone and F. Piacenti, Supercritical CO₂ as a solvent for polymeric stone protective materials, J. Supercrit. Fluids 15 (1999), pp. 173–179.
- [11] F. Ciardelli, M. Aglietto, V. Castelvetro, O. Chiantore and L. Toniolo, Fluorinated polymeric materials for the protection of monumental buildings, Macromol. Symp. 152 (2000), pp. 211–222.
- [12] Vacchiano, C.D., Incarnato, L., Scarfato, P., Acierno, D., Conservation of tuff-stone with polymeric resins, 2008 Construction and Building Materials 22 (5), pp. 855-865.
- [13] S. Vicini, S. Margutti, E. Princi, G. Moggi and E. Pedemonte, In situ copolymerization for the consolidation of stone artefacts, Macromol. Chem. Phys. 203 (2002), pp. 1413–1419.
- [14] C.M. Hansen, Water transport and condensation in fluoropolymer films, Prog. Org. Coat. 42 (2001), pp. 167–178.
- [15] Ling, H., Maiqian, N., Guozheng, L., Preparation and feasibility analysis of fluoropolymer to the sandstone protection, 2008 Progress in Organic Coatings 62 (2), pp. 206-213.
- [16] Germany DIN 52615, Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen, Teil 1, Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung, 1975.
- [17] G.C. Borgia, M. Camaiti, F. Cerri, P. Fantazzini and F. Piacenti, Study of water penetration in rock materials by NMR: hydrophobic treatment effects, J Cult Herit 1 (2000), pp. 127–132.
- [18] G.W. Scherer, R. Flatt and G. Wheeler, Materials science research for the conservation of sculpture and monuments, MRS Bull 26 (1) (2001), pp. 44–50.
- [19] Norma europea UNE-EN 1936. "Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a compresión."
- [20] J. Díez de Güemes; «Refuerzo de estructuras de fábrica»; Tecnología de la Rehabilitación y Gestión del Patrimonio Construido REHABEND (2007); 311-318.
- [21] ASTM C568-99 Standard Specification for Limestone Dimension Stone.
- [22] ASTM C503-05 Standard Specification for Marble Dimension Stone.
- [23] I. Lombillo, L. Villegas; «Metodología para el análisis de las estructuras de fábrica del patrimonio construido»; Tecnología de la Rehabilitación y Gestión del Patrimonio Construido REHABEND (2007); 69-90.
- [24] S. Sánchez Beitía, P. Roca, J. Barrallo; «Análisis de cargas en la Basílica de Santa María del Mar de Barcelona»; Tecnología de la Rehabilitación y Gestión del Patrimonio Construido REHABEND (2007); 33-44.