

Estudio de la eficacia y durabilidad de los tratamientos de conservación aplicados a los materiales pétreos del Claustro de San Juan de Duero en Soria

MÓNICA ÁLVAREZ DE BUERGO BALLESTER (*)

MIGUEL ANGEL GARCÍA CALLEJA (**)

TERESA GONZÁLEZ LIMÓN (***)

JESÚS SORIANO CARRILLO (****)

RESUMEN Se ha realizado la caracterización, en sus diferentes aspectos, de la arenisca utilizada como material de construcción en el Claustro de San Juan de Duero, en Soria: mineralogía, petrografía y propiedades físicas (color, densidad, porosidad, absorción-desorción de agua, capilaridad). Asimismo, se han sometido las probetas a tres tratamientos diferentes de consolidación e hidrofugación, para, posteriormente, realizar ensayos de envejecimiento artificial acelerado y comprobar la eficacia y durabilidad de los mismos. Igualmente, se han definido las formas de alteración, y sus mecanismos, observadas en el monumento.

STUDY OF THE EFFECTIVENESS AND DURABILITY OF THE CONSERVATION TREATMENTS APPLIED TO THE PETROUS MATERIALS OF THE CLOISTER SAN JUAN DE DUERO, SORIA

ABSTRACT Characterization of the sandstone, in its different aspects, used as building material in the Cloister of San Juan de Duero, in Soria, has been carried out: mineralogy, petrography and physical properties (color, density, porosity, water absorption-desorption, capillarity). The test samples have also been subjected to three consolidation-hydrofugation treatments and after, aging tests have been done in order to verify their effectiveness. Alteration forms, and their mechanisms, observed in the monument have been also defined.

Palabras clave: Arenisca; Formas de alteración; Mineralogía; Petrografía; Propiedades físicas; Ensayos de envejecimiento artificial acelerado; Consolidación; Hidrofugación; Monumento.

1. INTRODUCCIÓN

Durante los dos siglos del Románico en España, el centro de gravedad estuvo en la Meseta Norte. Las tierras situadas al sur del Duero constituyeron los extremos o fronteras; la palabra Extremadura se aplicó a las comarcas de Soria y Segovia antes de concretarse a las zonas occidentales. En estos extremos estaban los terrenos concedidos a las Ordenes Militares. La primera orden militar fue la de Calatrava,

fundada en 1158 para defender esta plaza, vital para la defensa del valle del Guadiana contra los ataques procedentes de Andalucía. Le siguió la de Santiago, cuyos centros principales fueron San Marcos de León y Uclés. La tercera fue la de Alcántara. Hubo también dos órdenes extranjeras, la de los Templarios y la de los Hospitalarios.

En Soria, a finales del siglo XII y principios del XIII, las órdenes militares se establecieron en tres puntos. Los templarios tenían su convento en San Polo, junto a la playa del Duero. En lo alto de la ciudad, y fuera de sus murallas, El Salvador pertenecía a la orden de Calatrava y, por último San Juan de Duero dependía de los Hospitalarios. No era una gran iglesia pero su emplazamiento pareció muy adecuado a los fines de la orden de ubicar allí un hospital. Desde el centro de la ciudad de Soria y bajando por la concatedral de San Pedro, una vez cruzado el puente de piedra sobre el Duero, a mano izquierda, junto a sus márgenes, y a unos doscientos metros, se llega a San Juan de Duero. La construcción ocupada por el hospital ha desaparecido íntegramente, conservándose sólo la iglesia y el claustro.

Es una iglesia modesta, casi elemental, con una nave, y una cabecera más estrecha que la nave, modelo típico de la región, construida al parecer en 1134. El hastial de la iglesia llega hasta el jardín que bordea el río.

NOTA: Este trabajo forma parte del convenio realizado para la empresa CORESAL, S.L., con el título de "Estudio de la degradación de los materiales pétreos utilizados en la fachada principal de la iglesia de Santo Domingo y el claustro de San Juan de Duero en Soria", y que fue entregado en diciembre de 1990.

(*) Doctora en Ciencias Geológicas. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX (MOPTMA).

(**) Doctor en Ciencias Geológicas. Centro de Estudios y Técnicas Aplicadas del CEDEX (MOPTMA).

(***) Arquitecta. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX (MOPTMA).

(****) Doctor en Ciencias Geológicas. Centro de Estudios y Técnicas Aplicadas del CEDEX (MOPTMA).



FOTO 1. Aspecto general del Claustro de San Juan de Duero.

La iglesia fue adaptada por los caballeros de la citada orden a las necesidades de su culto oriental, construyendo dos templetes con cúpulas de morabito. La fábrica de la iglesia es modesta y se distingue por los dos baldaguines de su iglesia, ejemplos a tener en cuenta al haber desaparecido los más importantes, sin duda, de los que tenemos restos o menciones (Cuixá, Compostela, Ripoll, ...).

En el siglo XIII el claustro fue adosado al costado sur de la iglesia. Corresponde a un estilo que podemos denominar de *transición o protogótico*, consecuencia de los cambios producidos en el mundo románico durante la segunda mitad del siglo XII.

Este claustro presenta los cuatro lados irregulares, en cada uno de los cuales se aprecian, por mitad, dos tipos de arquerías separados por un macizo contrafuerte.

El claustro ha perdido su techumbre y los arcos lucen al aire como si se tratase de una muestra de diversos modelos a elegir, todos ejecutados por el mismo tiempo, sin grandes retrasos entre el principio y el final de las obras, lo que hace pensar que hay un intento deliberado en esta sucesión de diversas formas: arcadas entrecruzadas, de herradura, etc., moduladas al modo musulmán, prueba de la intervención de elementos mudéjares muy próximos (Tarazona, Zaragoza, etc.).

El ángulo noroeste está ocupado por arcos perfectos de medio punto, las columnas por parejas van montadas sobre un murete bajo. Por el conjunto del arco, por su estructura general, por los fustes de sus columnas dobles y hasta por el modelo de sus capiteles, ese ángulo recuerda intensamente al claustro alto de Santo Domingo de Silos.

El ángulo sureste, en sus dos lados, está integrado por arcos de ojiva, con una ligera tendencia a la herradura. La separación de los arcos del ángulo anterior se hace mediante machón. Las columnas que en el trozo anterior eran dobles, se han hecho ahora cuádruples. En el vértice, en chaflán, y

entre dos machones se abre una puerta con arco de herradura ojival, sobre jambas de piedra cuadrada lisa. El arco lleva una arquivolta de talla ancha en forma de sierra. Los machones que centran esta puerta; y en general todas las del claustro, tienen columnas adosadas.

En el ángulo noroeste se prolongó el ángulo inicial de arcos románicos. Pero aquí los arcos, también góticos y con ligera tendencia a la herradura, se convierten en arcos cruzados. Como no hay otra construcción, cruzan las cintas de los arcos formando un calado. En estos cruces pasan los arcos sucesivamente los unos por delante y por detrás de los otros. Tienen un arranque o clave común para cada pareja de arcos, que se asientan sobre columnas dobles, correctamente románicas, y sobre capiteles de transición. La puerta del vértice en chaflán es también de herradura ojival, con la arquivolta en serreta, pero difiere de las otras dos en que no se asienta sobre pilastras lisas sino sobre columnas dobles con capiteles, del mismo tipo que las otras de este ángulo.

En el vértice suroeste es donde, sin duda, se cerró el perímetro del claustro. En este ángulo, manteniendo su cruce en vuelo, los arcos se cruzan de nuevo en su arranque. Su estructura es a modo de una lazada continua que no se interrumpe en los apoyos. Estas lazadas inferiores de los arcos descansan sobre pilastras rectas, rectangulares por los lados y de sección cuadrada, que van decorados con acanalados y estrías y asientan sobre basas del mismo tipo con varias molduras.

La escultura de los capiteles puede, en términos generales, reducirse a tres tipos: alguno de monstruos emparejados, otros de entrelazado o encestado de cordón doble que se desarrolla con curiosos dibujos, y los que constituyen la mayoría que son de transición ojival, con temas de hojas estilizadas que en ocasiones alcanzan una simplicidad cisterciense (foto 2).



FOTO 2. Capital de una pilastra con tema de hojas estilizadas.

II. CONDICIONES CLIMÁTICAS

Los datos climáticos se han obtenido de la Guía resumida del clima de España, publicada por el Instituto Nacional de Meteorología. El periodo de toma de datos ha sido desde 1931 a 1960. En dicha publicación se ha elegido para todas las estaciones este periodo con el fin de obtener datos homogéneos y comparables. En la Tabla I se exponen los principales datos climáticos.

De estos datos podemos señalar que el clima de la comarca de Soria es de tipo continental, con veranos calurosos e inviernos fríos, con fuertes oscilaciones térmicas; aunque la humedad relativa no es muy elevada, 68%, el monumento, además de presentar zonas ajardinadas en su entorno, se encuentra muy próximo al río Duero, lo que representa valores microclimáticos de humedad más elevados a lo antes citado.

Según la publicación "Estudio de heladas en España" del Instituto Nacional de Meteorología, en un estudio comprendido entre 1931 y 1970, Soria estuvo sometida, durante todos los años de estudio, a heladas en invierno, primavera u otoño, así como a temperaturas mínimas absolutas iguales o inferiores a -2°C en primavera, otoño o invierno. Igualmente, en un 95% de los años, la temperatura fue inferior a -5°C en primavera o invierno, y en un 82% de los años, las temperaturas fueron iguales o inferiores a -5°C en otoño o invierno. De todo esto se deduce la

importancia que el fenómeno de las heladas tiene en San Juan de Duero, por lo que fue fundamental la realización del ensayo de heladicidad sobre la arenisca del monumento para comprobar en qué manera y grado afectan al deterioro y alteración de la piedra.

III. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Los materiales rucosos empleados en la construcción del Claustro de San Juan de Duero proceden de explotaciones de canteras a cielo abierto (foto 3), en las cercanías de la localidad de Valonsadero (Soria). El aspecto macroscópico de la piedra corresponde a una arenisca poco consolidada con estructuras masivas y estratificaciones cruzadas, indicando medios deposicionales de tipo playero. Las muestras de cantera ofrecen una estructura muy similar a la de los monumentos, encontrándose variaciones en la cantidad de feldespato potásico, por lo que los tipos petrológicos oscilan entre cuarzoarenitas y subarcosas.

El color de los sillares del monumento es variable dentro de la gama de colores claros, siendo el amarillo, siena, ocre e incluso rojizo (debido a óxidos de hierro), algunos de los colores que se observan.

TEMPERATURAS	
• MEDIA ANUAL	10,5° C
• MEDIA DE MÁXIMAS ABS. ANUALES	16,4° C
• MEDIA DE MÍNIMAS ABS. ANUALES	4,5° C
• MÁXIMA ABSOLUTA	38,0° C
• MÍNIMA ABSOLUTA	-16,0° C
PRECIPITACIONES	
• MEDIA ANUAL	574 mm
• MÁXIMA ANUAL	842 mm
VIENTOS	
• DIRECCIÓN VIENTOS DOMINANTES	NW, N, W
HUMEDAD	
• HUMEDAD RELATIVA MEDIA	68%
OTROS DATOS	
• Nº MEDIO DÍAS DE LLUVIA AL AÑO	112,1
• Nº MEDIO DÍAS DE NIEVE AL AÑO	17,4
• Nº MEDIO DÍAS DE GRANIZO AL AÑO	3,5
• Nº MEDIO DÍAS DE TORMENTA AL AÑO	18,0
• Nº MEDIO DÍAS DE NIEBLA AL AÑO	13,9
• Nº MEDIO DÍAS DE HELADA AL AÑO	92,1
• Nº MEDIO DÍAS CUBIERTOS AL AÑO	10,5
• Nº MEDIO DÍAS DESPEJADOS AL AÑO	82,5
• Nº MEDIO HORAS INSOLACIÓN AL AÑO	2.538

TABLA I. Características climáticas (1931-1960).



FOTO 3. Canteras de areniscas cercanas a Valenzuela (Soria).

III. 1. MICROSCOPIA ÓPTICA DE POLARIZACIÓN

El aspecto de la lámina delgada del material es el de una roca relativamente homogénea y masiva con cantidad variable de feldespatos y una matriz argilomicaea rellenoando parcialmente zonas intersticiales entre los granos de cuarzo y de feldespato potásico.

Con respecto a la mineralogía de las muestras de monumento y de las de cantera se observa gran semejanza entre ambas y poca variación en la proporción de los minerales constituyentes, como puede observarse en la Tabla II.

MINERALES	MONUMENTO	CANERA
CUARZO	75-85%	77%
FELDESPATO POTÁSICO	15-20%	20%
BIOTITA	1-3%	2%
ACCESORIOS: caolinita, clorita, humaita, clorón, opacos	0-1%	1%

TABLA II. Mineralogía de las muestras.

El cuarzo observado está constituido fundamentalmente por granos monocristalinos bien seleccionados, de centil (tamaño máximo) 1 mm y tamaño medio 0,3 mm, encontrándose algunos granos de sílex y de metacuarcita. Estos granos presentan cemento silíceo de tipo sintaxial (en continuidad óptica con el cristal), que ejerce una acción cementante o consolidante en la roca, cohesión que queda notablemente disminuida en el conjunto de la roca debido a la alteración de los feldespatos con la subsiguiente neoformación de caolinitas tipo "face-to-face".

Las pocas micas existentes (biotitas) se encuentran algo alteradas, fundamentalmente por procesos de cloritización (foto 4).

La matriz de las muestras de monumento es argilomicaea y arcillosa, en masas irregularmente distribuidas, con un 2-4% sobre el total de la muestra observada, localizándose en posiciones intersticiales entre los granos minerales.

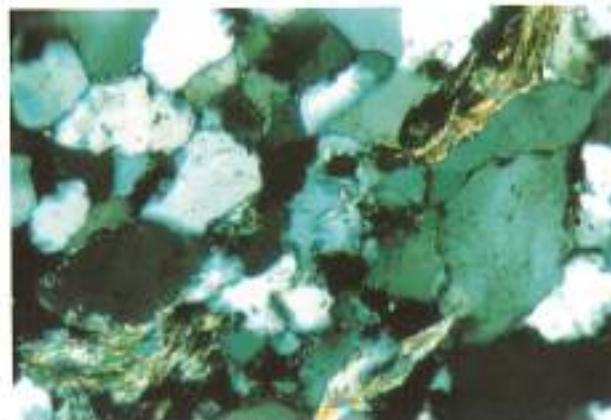


FOTO 4. Aspecto general de la roca de cantera.

Otro rasgo importante en las muestras observadas es la presencia de óxidos de hierro constituyendo una patina de recubrimiento alrededor de los granos minerales (contingentes ferruginosos) (foto 5). Estos óxidos de hierro singenéticos, suelen disponerse siguiendo planos de estratificación y de laminación cruzada.



FOTO 5. Óxidos de hierro recubriendo los granos minerales.

III. 2. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

La observación de las muestras al microscopio electrónico de barrido (M.E.B.) y los análisis de espectrometría de dispersión de energía de rayos X (E.D.A.X.), corroboran las observaciones realizadas mediante microscopía óptica.

En las muestras de cantera, se han observado cristales de cuarzo y de feldespato potásico (constituyentes mayoritarios de estas areniscas), recubiertos de una matriz-cemento de filosilicatos. También es de resaltar la observación de cristales de feldespato potásico alterados.

En las muestras extraídas del monumento, es frecuente la aparición de dos minerales de neoformación: la caolinita (con una disposición "face-to-face") (foto 6), y el yeso (foto 7), este último cristalizado entre granos de cuarzo y de feldespato.

En algunos casos también se han visto procesos de disolución tanto del cemento filosilicatado, como de los feldespatos potásicos.



FOTO 6. Coqueolitas de neoformación en arenisca de monumento.



FOTO 7. Cristal de yeso neoformado en arenisca de monumento.

Existen, además, procesos de crioturbación (procesos de hielo-deshielo), observados en cristales de cuarzo de las areniscas de monumento, así como superficies carbonatadas sobre las mismas.

Para finalizar, se han detectado sales como sulfatos (cristalizados sobre feldespatos), y cloruros.

En resumen, estas dos técnicas instrumentales, además de la caracterización petrológica nos ha permitido definir las patologías presentes en el material de monumento: formación de sales, microfisuras debidas a los procesos de hielo-deshielo, pérdida de aglomerante.

IV. FORMAS DE ALTERACIÓN

En el deterioro de la piedra del Claustro se observa la presencia del agua en todos los procesos de alteración. En la foto 8 se aprecia un enmugrecimiento general en la parte superior de los arcos y en las basas, excepto en la parte izquierda que corresponde a la entrada a la Iglesia. Son notables las diferencias entre sillares, tanto en color como en textura. La causa principal es la falta de elementos de cubrición, acumulándose el agua de

lluvia y propiciando el asentamiento y crecimiento de microorganismos de diversos tipos, como se observa en la foto 9.

En la foto 10 se observa con mayor detalle esta alteración cromática en las basas. También existe arenización de las columnas debido a humedad capilar unido a las bajas temperaturas, que origina la formación de hielo en los poros, provocando fuertes tensiones y la pérdida de unión entre los granos de la capa superficial del material que termina desprendiéndose de la superficie.

En la foto 11, se muestra el desplazado que presentan muchos de los sillares en los que queda patente el fenómeno citado anteriormente, debido a la presencia de agua y a las bajas temperaturas. El color más rojizo que se observa en algunas zonas se debe a la presencia de una pátina de óxidos de hierro, óxidos que han sido observados tanto en microscopía óptica como en electrónica. Asimismo se observa la marca realizada por el constructor en uno de los sillares para dejar su firma o sello impreso.

En la foto 12 se aprecia con más detalle la alteración cromática antes señalada en la zona más superficial del arco. En este caso la alteración presenta dos colores bien diferen-



FOTO 8. Alteración cromática en las basas y parte superior de los arcos.



FOTO 9. Biotalteración cromática. Detalle de la parte superior de los arcos entrelazados.



FOTO 10. Arenización en una de las columnas del Claustro.

ciados: tonos negruzcos y anaranjados, debido posiblemente a la actividad de distintos microorganismos. En la zona más

interior del arco se observa un desplazado con desprendimiento de material.



FOTO 11. Desplacado en los sillares de uno de los pórticos ciegos entre dos arcos.



FOTO 12. Detalle de alteración cromática y desplazado de uno de los arcos.

V. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y ENSAYOS DE ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL ACCELERADO

Para la determinación de las propiedades físicas se realizaron probetas de forma cúbica de 5 cm de lado (foto 13). Las propiedades determinadas fueron las siguientes: color, densidad aparente, porosidad abierta (accesible al agua) (Tabla III), absorción y desorción libre de agua (Gráfico 1), y absorción bajo lámina de agua (capilaridad). Estas propiedades se midieron en tres ocasiones:

- 1) en probetas de roca de cantera,
- 2) en probetas de roca de cantera después de la aplicación de productos consolidantes e hidrofugantes,
- 3) en probetas de roca de cantera tratada y sometidas a ensayos de envejecimiento artificial acelerado (e.e.a.a.).

Asimismo se efectuaron análisis de sales solubles sobre muestras rocosas (Tabla IV). Estos análisis se realizaron sobre muestras de cantera C-1 y de monumento S-1 y S-2. Los cationes determinados fueron: Ca^{++} , Na^+ , K^+ y Mg^{++} ; los



FOTO 13. Probetas realizadas para la determinación de las propiedades físicas y los ensayos de envejecimiento acelerado.

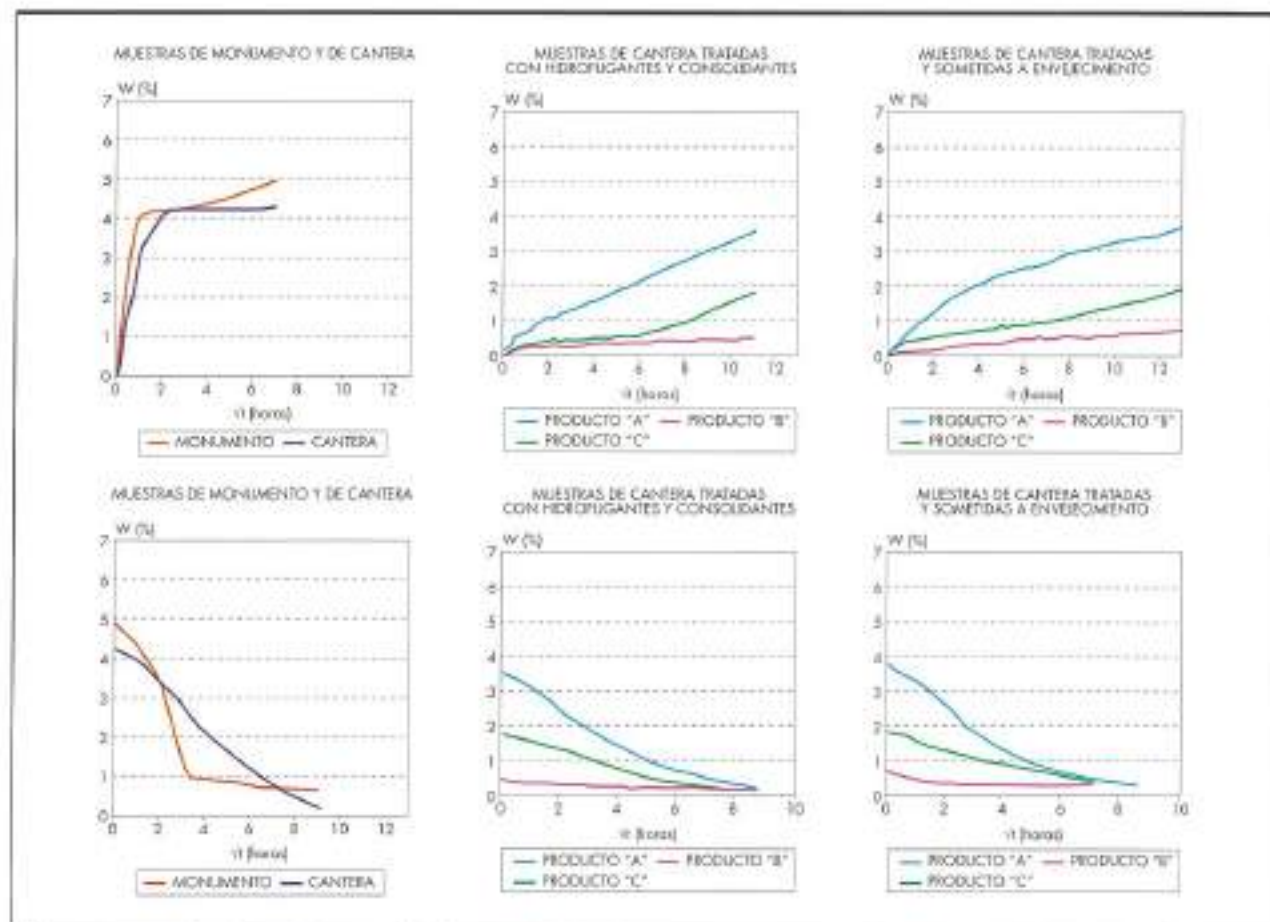


GRÁFICO 1. Ensayos de absorción y desorción libre de agua.

TABLA III. Valores de porosidad abierta y densidad aparente.

MUESTRA	POROSIDAD ABIERTA (%)	DENSIDAD APARENTE (g/cc)
MONUMENTO M-1	10,11	2,20
CANTERA C-1	5,71	2,23
MUESTRAS IMPREGNADAS		
PRODUCTO A	3,67	2,47
PRODUCTO B	3,01	2,38
PRODUCTO C	3,58	2,39
MUESTRAS IMPREGNADAS Y ENVEJECIDAS		
PRODUCTO A	4,60	2,50
PRODUCTO B	3,50	2,26
PRODUCTO C	3,69	2,38

muestra	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
C-1	9,3	30,6	248,8	10,4	—	138,6	—	311,6	—
S-1	690	880	2.260	210	1.941	1.338	—	732	—
S-2	67	232	1.240	220	—	2.634	—	1.952	—

TABLA IV. Análisis de sales solubles (mg/l).

aniones determinados fueron: CO₃²⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ y NO₃⁻. Asimismo se hicieron determinaciones sobre extractos acuosos.

Respecto a los productos químicos se aplicaron tres tratamientos diferentes:

Tratamiento "A":

Consolidante: ESTER DE SÍLICE/METILSILOXANO
Hidrofugante: SILOXANO MODIFICADO

Tratamiento "B":

Consolidante: ESTER ETÍLICO DE ÁCIDO SILÍCICO
Hidrofugante: ALQUIL-ALCOXY-SILOXANO

Tratamiento "C":

Consolidante: RESINA ARTIFICIAL MODIFICADA
Hidrofugante: ORGANOSILOXANO OLIGOMÉRICO

Las probetas se sometieron a tres tipos de ensayos de envejecimiento artificial acelerado:

- Ciclos de cristalización de sales.
- Ciclos de heladicidad (hielo-deshielo).
- Ciclos de exposición a la radiación ultravioleta.

VI. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

VI.1. COLOR:

El color de la piedra, medido mediante colorímetro, no ha sufrido variaciones importantes como consecuencia de la aplicación de los distintos tratamientos de protección, por lo que se considera que la aplicación de cualquiera de los tres tratamientos, o incluso la sustitución de piedras del monumento por piedras de cantera, no produciría un excesivo impacto visual.

VI.2. DENSIDAD Y POROSIDAD:

El valor de la porosidad abierta de la arenisca de San Juan de Duero es prácticamente el doble del de la arenisca de cantera; al aplicar sobre la piedra de cantera los distintos tratamientos, la porosidad disminuye (entre 35,72 y 47,28%), aumentando ligeramente al realizar los ensayos de envejecimiento acelerado, y siendo las probetas impregnadas con el tratamiento C las que experimentaron un menor aumento. Los valores de densidad permanecen bastante constantes con ligeras variaciones (2,2-2,5 g/cm³).

VI.3. ABSORCIÓN LIBRE DE AGUA:

Las probetas de monumento absorben mayor cantidad de agua y más rápidamente que las de cantera. Al aplicar sobre estas últimas los tratamientos de protección (hidrofugación y consolidación), se reduce el contenido de agua absorbida, que vuelve a aumentar tras la realización de los ciclos de envejecimiento acelerado. El tratamiento que más reduce el contenido de agua absorbida es el B, aunque asimismo la pierde con gran dificultad.

VI.4. DESORCIÓN LIBRE DE AGUA:

Tanto las probetas de monumento como las de cantera pierden la casi totalidad del agua absorbida, quedando mayor cantidad de agua residual en las probetas impregnadas y sometidas a envejecimiento. Es de resaltar el comportamiento de las probetas sobre las que se aplicó el tratamiento A, que a pesar de haber absorbido la mayor cantidad de agua respecto a las probetas impregnadas con los otros dos tratamientos, son las que más rápidamente la pierden.

VI.5. ABSORCIÓN BAJO LÁMINA DE AGUA (CAPILARIDAD):

El ensayo se realizó únicamente sobre probetas impregnadas con los tratamientos A y B; el tratamiento más efectivo fue el B, ya que al final del ensayo sólo absorbió un 0,15% de agua.

VI.6. CICLOS DE CRISTALIZACIÓN DE SALES:

Las probetas que al finalizar los ciclos experimentaron la mayor pérdida de peso debido a la acción de las sales ($\text{SO}_4\text{Na}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ al 14%) fueron las impregnadas con el tratamiento C (pérdidas de un 0,21% en peso), y las que menos perdieron fueron las impregnadas con tratamiento B (0,13% en peso). No obstante, no se observaron cambios visuales importantes en ninguna de las probetas.

VI.7. CICLOS DE HIELO-DESHIELO:

La pérdida de peso experimentada por las probetas al finalizar el ensayo es ligeramente superior que en los ciclos de cristalización de sales, aunque siguiendo la misma tendencia: las probetas que más peso perdieron fueron las impregnadas con tratamiento C (0,30% en peso), y las que menos las impregnadas con producto B (0,19%).

VI.8. CICLOS DE EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA:

Se ha probado que el efecto de la radiación solar sobre las probetas impregnadas no produce un cambio de color significativo en las mismas.

A la vista de los resultados del comportamiento de las probetas durante los e.e.a.a., se puede concluir que ninguno de los tres tipos de ciclos a los que se les ha sometido han producido un deterioro significativo, sin llegar a observarse cambios visuales de importancia.

VI.9. ANÁLISIS DE SALES SOLUBLES:

Los análisis determinaron que el catión más abundante en las muestras de monumento es el calcio, con valores de hasta 2.260 mg/l respecto a 248,8 mg/l en muestras de cantera; el anión cuantitativamente más importante es el sulfato, con valores de hasta 2.634 mg/l, respecto a 138,6 mg/l para las muestras de cantera.

VI.10. ANÁLISIS DEL EXTRACTO ACUOSO:

El catión más abundante es el sodio (105 mg/l), y el único anión detectado es el bicarbonato (hasta 868,9 mg/l).

BIBLIOGRAFÍA

CURSO DE METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE ESTUDIO APLICADAS A LA CONSERVACIÓN DE LAS ROCAS MONUMENTALES (Oviedo 26-30 Marzo 1990). Departamento de Geología, Grupos de Petrofísica y Alteración, Universidad de Oviedo.

DOMÍNGUEZ ORTÍZ, A., PITA ANDARDE, J. M., FRADEJAS LEBRERO, J. (1978). El Románico. Ministerio de Cultura. Misiones Culturales. 69 pp.

FARMER, I. W. (1968). "Engineering properties of rocks". E.F.N. Spon Ltd., London, 180 pp.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA. 1982. "Guía resumida del clima de España". Publicación D-25, 52 pp.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA. 1985. "Estudio de heladas en España". Publicación A-76, 52 pp.

I.S.R.M. (INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCKS MECHANICS) (1979). "Suggested methods for determining: Water content, porosity, density, absorption and related properties. Swelling and slake-durability index properties". Int. J. Rock Mech. and Min. Sci., 16 (2), pp. 143-156.

LOJENDIO, L.M. DE; RODRÍGUEZ, A. (1979). Castilla/2. Soria, Segovia, Ávila y Valladolid. Vol. 3 La España Románica. Ed. Encuentro, Madrid 407 pp.

LÓPEZ DEL AMO, J. L. (1983). "Toda Soria y su provincia". Ed. Escudo de Oro, Barcelona, 96 pp.

ORDAZ, J. y ESBERT, R. M. (1988). "Glosario de términos relacionados con el deterioro de las piedras de construcción". Materiales de Construcción, vol. 38, nº 209, 39-45 pp.

RILEM, COMMISSION 25-PEM PROTECTION ET EROSION DES MONUMENTS (RECOMMANDATIONS PROVISOIRES) (1980). Materiaux et Constructions, 13 (75), 175-253 pp.

YARZA, J. Arte y Arquitectura en España 500/1250. Ed. Manuales Arte Cátedra. 385 pp.



ACSA
 AUXILIAR DE CANALIZACIONES, S.A.

Joan Torruella, 1-5 - 08758 Cervelló
 Mas Casanovas, s/n - 08026 Barcelona

Tel. (93) 660 10 00 - Fax (93) 660 03 16
 Tel. (93) 436 87 00 - Fax (93) 347 10 85

- CANALIZACIONES DE AGUA POTABLE
- SANEAMIENTOS
- ESTACIONES DEPURADORAS
- DEPÓSITOS
- EMISARIOS SUBMARINOS

- REMODELACION DE ESPACIOS URBANOS
- CANALIZACIONES DE GAS
- PERFORACIONES HORIZONTALES
- CONTRATAS Y SERVICIOS
- JARDINERIA

- EDIFICACIONES
- REHABILITACION DE TUBERIAS
Licencia
- PROTECCION DE TALUDES
Licencia

PHOENIX
ARMORFLEX

MAQUINARIA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA



Desbaste y tamizado:

- Rejas automáticas y manuales.
- Filtros y tamices.

Organos de cierre:

- Compuertas canal (3 estanquidades).
- Compuertas mural (4 estanquidades).
- Compuertas de grandes dimensiones para centrales hidroeléctricas.
- Vertederas regulables manuales y motorizados.

Calderería Industrial

Decantación:

- Decantadores.
- Desarenadores.
- Desengrasadores.
- Espesadores de lodos.

Bombeo:

- Tornillos de Arquimedes.

Aeración:

- Aeratoros superficiales.
- Rotores horizontales.
- Difusores de aire.

COUTEX®

Maquinaria especial:

- Diseño y construcción según necesidades específicas de cada aplicación.