



SEM 2009  
XXIX Reunión Científica de la  
Sociedad Española de Mineralogía  
Salamanca, del 9 al 12 de Septiembre

Placa pulida (10 cm x 15 cm) de la Pegmatita de la mina Feli, la Fregeneda (Salamanca)



  
**macla**

# Eficacia de Tratamientos de Conservación Aplicados sobre la Piedra de Zamora

/ JACINTA GARCÍA TALEGÓN (1,4,\*), REBECA HINOJAL HERNÁNDEZ (2,4), ADOLFO C. IÑIGO IÑIGO (2,4), SANTIAGO VICENTE TAVERA (3)

(1) Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca (España)

(2) Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca (IRNASA-CSIC)

(3) Departamento de Estadística Aplicada Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca (España)

(4) Unidad Asociada Grupo Química del Estado Sólido, Universidad de Salamanca e IRNASA-CSIC.

## INTRODUCCIÓN.

Los materiales pétreos utilizados para la construcción y posteriores intervenciones en los monumentos de Zamora corresponden a areniscas y conglomerados silicificados (Añorbe, 1997; García-Talegón et al., 2006a).

Las aplicaciones de tratamientos de conservación sobre rocas de monumentos van encaminadas a la oclusión de los poros a la entrada de agua en estado líquido, no de vapor, debido a que deben respetar la transpiración de la piedra y evitar el transporte de fluidos y sales disueltas a través de la estructura poral (Iñigo et al., 2006).

En este estudio, se va a analizar la eficacia de tres tratamientos de conservación mediante la determinación de propiedades hídricas antes y después de su aplicación en cuatro variedades de Piedra de Zamora seleccionadas.

## MATERIALES Y MÉTODOS.

Los tratamientos de conservación utilizados para este estudio fueron: H224 (oligómero alquilpolisiloxánico, hidrofugante); RC70 (silicato de etilo, consolidante); RC80 (silicato de etilo, resina metilica y polisiloxano resinoso, consolidante e hidrofugante). Suministrados por el grupo RHÔNE-POULENC.

Las muestras objeto del presente estudio se recogieron en dos canteras, localizadas al SO de Zamora. (García-Talegón et al., 2006b) correspondientes al Miembro Superior de la Fm. Areniscas de Salamanca (Cretácico terminal-Paleoceno). Se interpretan como depósitos formados por un sistema fluvial trenzado de gravas.

Las muestras de la cantera de Tardobispo son areniscas silicificadas:

gruesas (TG), blancas (TB), ocreas (TO) y rojas (TR). La cantera que se encuentra entre Los Eriales y arroyo de Llorga (Zamora) forma parte de un conjunto de canteras históricas de la Catedral de Zamora, para el presente trabajo se ha seleccionado el conglomerado blanco (Z1).

Se han determinado las propiedades químicas y mineralógicas de las cinco variedades seleccionadas por ICP-Masas, Microscopía petrográfica y Electrónica de Barrido, así como DRX.

Las propiedades hídricas medidas en las probetas tratadas respecto a sus correspondientes variedades de cantera sin tratar, son: porosidad total, porosidad libre, coeficiente de absorción, capacidad de imbibición, coeficiente de absorción capilar y permeabilidad al vapor de agua. Para ello, se han diseñado y realizado diferentes ANOVAS (Análisis de la Varianza), a los que se ha aplicado test tras el ANOVA, tipo Tukey. Los factores que intervienen en los diseños son: MUESTRA y TRATAMIENTO. El primero se ha realizado con los siguientes niveles: Z1, TG, TB, TO y TR, correspondientes a las variedades pétreas seleccionadas en el presente estudio. El segundo, TRATAMIENTO, en el que intervienen los siguientes niveles: cantera (no tratada), tratada con H224, RC70 y RC80. Los diseños que hemos llevado a cabo son de dos factores con interacción.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La composición mineralógica se determinó mediante difracción de rayos-X (Tabla 1). En todas las variedades se observa un esqueleto formado por el cuarzo; el tamaño de los granos es heterogéneo y subangulosos, con extinciones rectas, y en menor cantidad feldespatos y micas. Estos

granos del esqueleto son engastados por el alteroplasma opalino.

Var.	Q	Fd	Op	K	I/M	Oxi
Z1	xxx	T	xxx	x	x	t
TG	xxx	T	xx	xx	x	xxx
TB	xxx	T	xx	xx	x	t
TO	xxx	T	xx	xx	x	xx
TR	xxx	T	xx	xx	xxx	xx

Tabla 1. Composición mineralógica de los conglomerados y areniscas estudiados de Zamora. Q: cuarzo; Fd: feldespato potásico; Op: Opalo CT; K: caolinita; Oxi: oxihidróxidos de hierro; I/M: illita/mica.

Los poros con morfología irregular, rellenos total o parcialmente por ópalo CT y limitados por óxidos de hierro. Muchos de ellos presentan morfologías características de bioturbaciones rellenas por ópalo CT y caolinita y bordes tapizados por óxidos de hierro (Fig. 1).

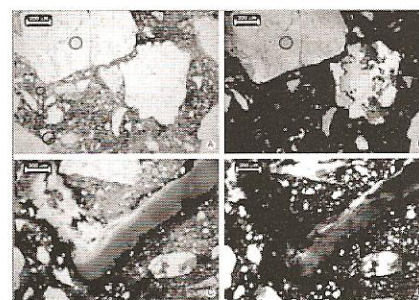


Fig 1. Microfotografías de las variedades TO (A, C: luz paralela, B, D: nicoles cruzados). En las microfotografías C y D se muestra en detalle el aspecto de la bioturbación.

Por otra parte, la composición química de las variedades seleccionadas aparece en la Tabla 2. El estudio mediante Microscopía Electrónica de Barrido se ha realizado en todas las variedades estudiadas. A modo de ejemplo, se muestra los resultados del análisis realizado sobre el conglomerado blanco Z1, que es la piedra mas utilizada en los monumentos de Zamora.

palabras clave: Areniscas y conglomerados silíceos, Tratamientos de conservación, Propiedades hídricas.

key words: Siliceous sandstones and conglomerates, Conservation treatments, Water properties.

resumen SEM 2009

\* corresponding author: talegon@usal.es

En él, los cristales de cuarzo y cuarcita son muy grandes; sobre la superficie de los cuarzos aparecen huecos o cavidades parcialmente tapizados por lepiesferas de ópalo CT, que presentan morfologías bien formadas y gran tamaño (Fig. 2). Los resultados de las variaciones significativas en las propiedades hídricas, tras llevar a cabo los contrastes tras el ANOVA ( $P < 0,01$ , según Tukey), son los siguientes:

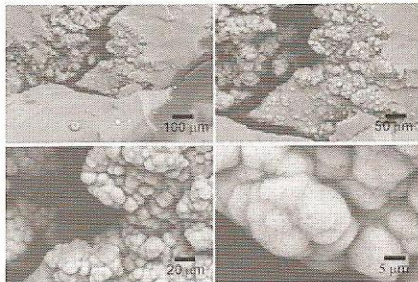


fig 2. Microfotografías al MEB de la variedad Z1. Lepiesferas de ópalo CT en un poro de un grano de cuarzo del esqueleto; las lepiesferas son de gran tamaño.

Porosidad total. Existen variaciones entre cantera-tratadas con RC80, cantera-tratadas con RC70, tratadas con H224-tratadas con RC80, tratadas con H224- tratadas con RC70 y tratadas con RC70-tratadas con RC80. Porosidad libre. Se aprecian diferencias entre cantera-tratadas con H224, cantera-tratadas con RC70, cantera-tratadas con RC80, tratadas con H224-tratadas con RC70, tratadas con H224-tratadas con RC80 y tratadas con RC70-tratadas con RC80 (Fig. 3).

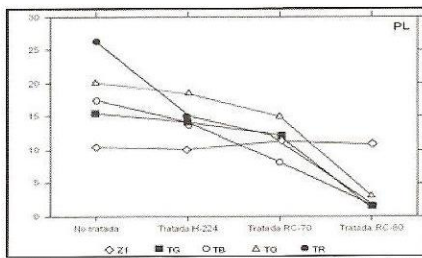


fig 3. Gráfico de la interacción muestra/tratamiento para la variable porosidad libre.

Coefficiente de absorción. Se observan diferencias entre cantera-tratadas con

H224, cantera-tratadas con RC70, tratadas con H224-tratadas con RC70 y cantera-tratadas con RC80, tratadas con H224-tratadas con RC80 y tratadas con RC70-tratadas con RC80 (Fig. 4).

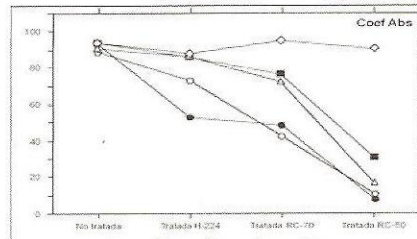


fig 4. Gráfico de la interacción tipo de muestra/tratamiento para la variable coeficiente de absorción.

Coefficiente imbibición. Se aprecian diferencias entre cantera-tratadas con RC80 y tratadas con RC70-tratadas con RC80.

Permeabilidad vapor de agua. La interacción doble (muestra\*tratamiento) no es significativa. Las diferencias existentes se deben fundamentalmente al tipo de muestra y a los tratamientos.

Capacidad absorción capilar. Se observan diferencias entre cantera-tratadas con H224, cantera-tratadas con RC70, cantera-tratadas con RC80, tratadas con H224-tratadas con RC80 y tratadas con RC70-tratadas con RC80.

Así mismo, estos contrastes dan diferencias moderadamente significativas ( $P < 0,05$ ) en la comparación de las muestras tratadas con RC70-tratadas con RC80 (Fig. 5).

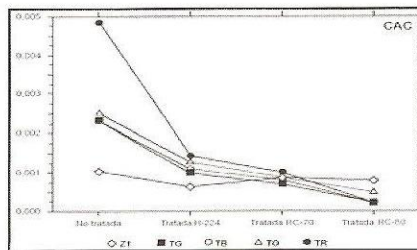


fig 5. Gráfico de la interacción tipo de muestra/tratamiento para la variable capacidad de absorción capilar.

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	M.V.
Z1	93.02	2.95	0.20	0.00	0.07	0.50	0.04	1.10	0.05	0.02	1.96
TG	88.97	6.38	0.73	0.00	0.07	0.04	0.14	1.15	0.11	0.03	2.28
TB	86.89	7.94	0.44	0.00	0.07	0.05	0.19	1.64	0.10	0.04	2.54
TO	87.18	6.66	0.64	0.00	0.09	0.08	0.19	1.98	0.15	0.04	2.89
TR	75.67	14.34	1.11	0.00	0.16	0.05	0.24	3.27	0.23	0.07	4.76

Tabla 2. Composición química de los conglomerados y areniscas estudiados de Zamora (%).

De los resultados obtenidos, se puede concluir que las mayores diferencias entre los distintos tratamientos realizados sobre todas las muestras se obtienen para la porosidad libre y los coeficientes de absorción y absorción capilar.

**CONCLUSIONES.**

En este tipo de rocas, la determinación de la porosidad libre y coeficientes de absorción y absorción capilar sirve para evaluar la eficacia de los tratamientos y, por tanto, la calidad de los materiales antes y después de ser tratados. Así, en las areniscas y conglomerados silicificados, el tratamiento combinado con silicatos orgánicos e hidrofugantes (polisilo-xanos), RC80, mejora sensiblemente sus propiedades como materiales de construcción.

La respuesta obtenida por diferentes materiales pétreos frente a un tratamiento va a depender de sus características intrínsecas, lo que hace muy difícil su predicción. Para ello, de antemano, se deberían hacer ensayos de cada material con cada tratamiento, bajo condiciones experimentales semejantes a las existentes en el monumento.

**AGRADECIMIENTOS.**

Al Ministerio de Educación y Ciencia y a la Junta de Castilla y León por la financiación del trabajo por los Proyectos CGL2007-62168/BTE (fondos FEDER) y SA024A07, respectivamente.

**BIBLIOGRAFÍA.**

Añorbe, M. (1997): Valoración del deterioro y conservación en la piedra monumental. Madrid, Monografías M-56, CEDEX.  
 García-Talegón, J., González-Sánchez, M., Iñigo, A.C., Vicente-Tavera S., Rives, V. (2006a): Microenvironments in the inner and outer parts of the Zamora Cathedral. in: R. Fort, M. Álvarez de Buergo, M. Gómez-Heras, C. Vázquez-Calvo, (Eds.). The Netherlands: Taylor & Francis/Balkema. pp. 457-461.  
 Hinojal, R., Iñigo, A.C., Alonso-Gavilán, G., Molina, E., Vicente-Tavera, S. (2006b): El sistema poroso de las areniscas y microconglomerados silicificados de Zamora tras la alteración experimental por hielo/deshielo, Geo-Temas, 9, 93-97.  
 Iñigo, A.C., Vicente-Tavera, S., Rives, V. (2006): Statistical design applied to hydric property behaviour for monitoring granite consolidation and/or water-repellent treatments. Mat. Construcción, 56 n° 281. 17-28.