

# Estudio petrográfico de la alteración en la arenisca del monasterio de Rueda (Sástago, Zaragoza). Primeros resultados

## Petrographic study of alteration in sandstone from Rueda cloister. First results

J. Gisbert Aguilar, C. Marín Chaves, N. Andaluz Morillo y S. Delgado Cabriada

Dpto de Geología (Área de Petrología y Geoquímica). Universidad de Zaragoza. Pedro Cerbuna, 12. 50.009, Zaragoza

### ABSTRACT

A petrographical study about macroporosity, profiles of deterioration and treatment, has been taken out over seventeen samples from Rueda cloister. These samples have been taken from different places from the monastery. They are all lithic sandstone with more than 50% of carbonated rock fragments, grain size between 0.4 and 0.9 mm and porosity under 14%. Five kind of deterioration processes have been found: microfissures parallels to the rock surface, cracks and microchannels perpendiculars to the surface, salt precipitation onto or under the surface, black crusts and biological crusts. Several samples have evidences of ancient treatment; this treatment can be: lime mortar, whitewash, some kind of organic compound red-brownish isotrope and gypsum. At last, four kind of profiles of deterioration have been describe according to these results and to the evolution of macroporosity.

**Key words:** petrography, sandstone, profile, deterioration, macroporosity, treatment

Geogaceta, 24 (1998), 147-150

ISSN: 0213683X

### Introducción

El monasterio de Nuestra Señora de Rueda se encuentra en el Término municipal de Sástago (Zaragoza). Está asentado en la margen izquierda del Ebro, frente a la localidad de Escatrón y a un kilómetro de la Central Térmica del mismo nombre. Enclavado en el sector central de la Depresión del Ebro, está cimentado tanto sobre los aluviales del río (parte Sur) como sobre las areniscas pertenecientes al Oligoceno superior - Mioceno inferior del valle del Ebro (parte Norte) (Fig. 1). Es precisamente con este último material -arenisca- con el que está construida la mayor parte de la fábrica del monasterio.

Las principales alteraciones que encontramos en el monasterio son pátinas naranjas, costras negras, descamaciones, desplazaciones, arenización, costras salinas y colonización vegetal. La causa de estas alteraciones está relacionada tanto con el tipo de piedra como con la falta de mantenimiento del edificio desde 1835 y la contaminación atmosférica producida por la Central Térmica de Escatrón (C.T.E.). Además el clima es un factor muy influyente en el deterioro tanto por sí mismo como por el papel que juega en la dispersión de los contaminantes emitidos por la C.T.E. Se trata de un tipo de clima semiárido, con temperaturas medias anuales de 15.3°C, oscilando

entre 6.2°C en los meses de diciembre y enero y 25.7°C de media en julio y precipitaciones medias anuales de 350 mm con máximos de precipitación en mayo y octubre y mínimo en Agosto. Los vientos predominantes son de dirección W seguidos por los de dirección NE y E. Hay 145 días al año con alto riesgo de heladas con fuertes nieblas en el invierno, rebasando el 70% de humedad relativa del aire entre noviembre y enero y variaciones térmicas que pueden llegar hasta los 15° C diarios.

### Material y método de estudio

El trabajo se ha centrado sobre 17 testigos de arenisca extraídos en diferentes zonas del monasterio (Fig. 2). Las orientaciones en las que están tomadas las muestras están muy repartidas sin que domine ninguna en concreto. Dadas las características arquitectónicas, estas orientaciones coinciden mayoritariamente con los puntos cardinales. Se ha efectuado un estudio petrográfico con contador de puntos con las muestras, teñidas con alizarina roja S y ferrocianuro potásico y consolidadas al vacío con resina con fluoresceína, lo cual aporta información sobre la macroporosidad de la roca.

Los distintos tipos de areniscas se han clasificado de acuerdo con los criterios de composición y textura de Andaluz *et al.* (1998). Composicionalmente dominan las

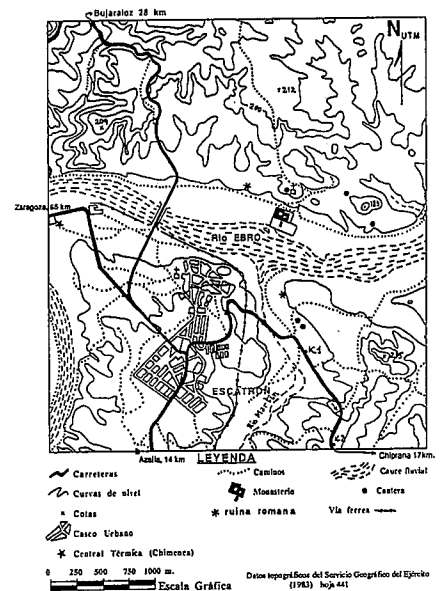


Fig. 1.- Situación geográfica del monasterio de Rueda

Fig. 1.- Geographical situation of Rueda cloister

de la familia Q<sub>2</sub>B calcítica, seguida de la Q<sub>2</sub>T, tanto calcítica como dolomítica (Tab. 1). Esto implica que dominan las areniscas con una proporción cuarzo/fragmentos de roca 1/4, siendo micríticos la tercera parte de fragmento de roca carbonáticos, incluso existiendo bioclastos; además se observa en

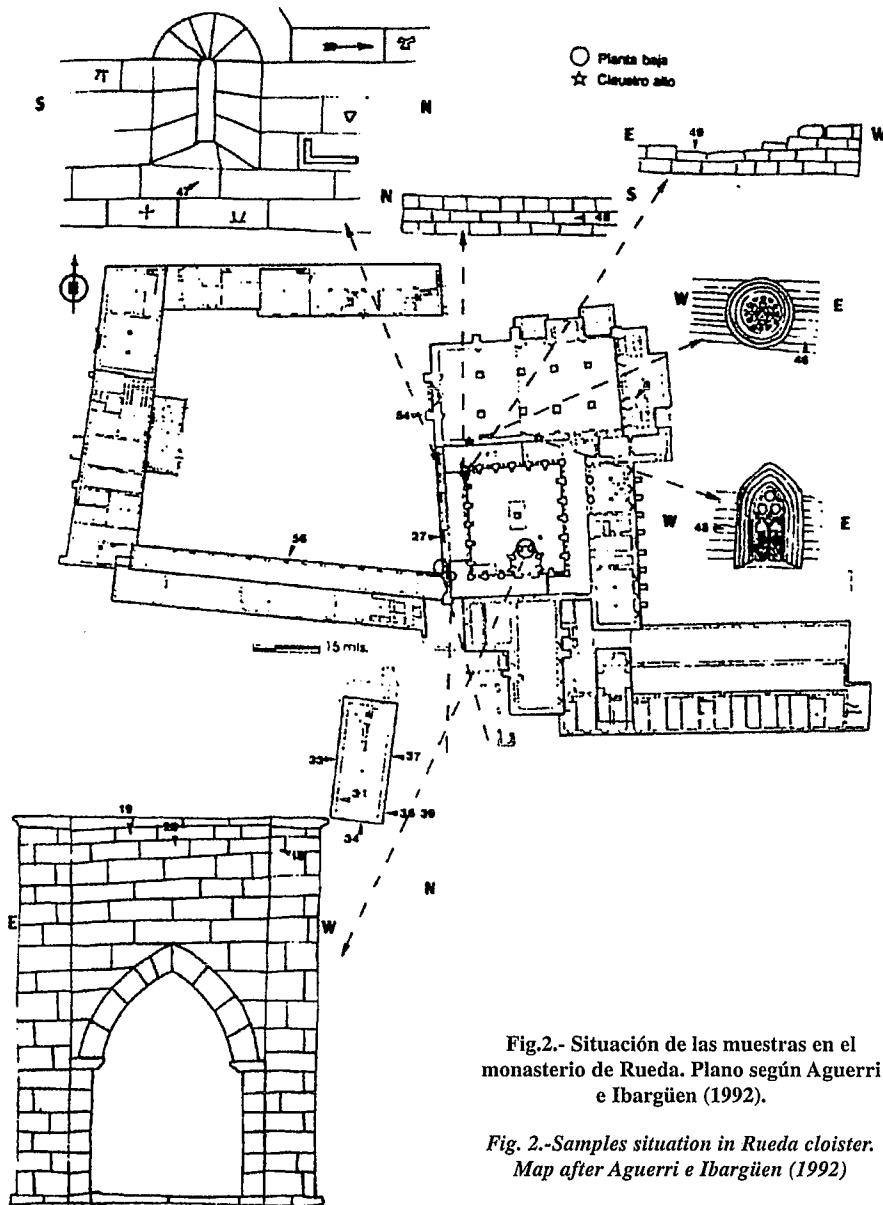


Fig. 2.- Situación de las muestras en el monasterio de Rueda. Plano según Aguerri e Ibagüen (1992).

Fig. 2.- Samples situation in Rueda cloister. Map after Aguerri e Ibagüen (1992)

torno a un 5% de fragmentos de roca lutítica y calcita fibrosa. En cuanto a la segunda familia predominante, donde la mitad de los fragmentos de roca carbonáticos son micríticos, se caracteriza por la presencia en un porcentaje superior al 1% de turmalina verde y/o marrón y cloritas y glauconita. Texturalmente dominan las familias  $G_2P_1$  y  $G_2P_2$ , esto es, rocas con un tamaño de grano entre 0.4 y 0.9 mm y porosidad inferior al 14%.

**Resultados**

1. Deterioro

El deterioro de la roca se realiza a través de cuatro procesos:

a) Formación de fisuras paralelas a la superficie, con grosores de 0.01 a 0.1 mm. Aparecen a tres profundidades distintas, a veces rellenas de sales solubles,

y otras veces fragmentando granos:

- 1.- En la base de revocos (Fig. 3)
- 2.- En la roca a unos 0.4 mm de profundidad
- 3.- En la roca entre 1 y 1.5 mm de profundidad.

Las fisuras parecen tener una estrecha relación con la oscilación térmica pues se presentan preferentemente en los perfiles de orientaciones Norte y Sur. De las nueve muestras estudiadas, cuatro tenían orientación Norte y otras cuatro orientación Sur. Son muestras tomadas en el claustro, especialmente en la parte alta del *lavatorium* y en la cilla.

b) Desarrollo de macroporosidad y canales. En las muestras que no están protegidas por ningún tipo de tratamiento, se observa un aumento de macroporosidad a modo de canalillos perpendiculares a la superficie que da un aumento de porosi-



Fig. 3.- Muestra con recubrimiento de mortero de cal y dos tipos de microfisuras paralelas a la superficie: 1.- Microfisuras de origen mecánico, más cercanas a la superficie 2.- Microfisuras de mayor tamaño, entre el mortero y la roca originadas por mala adherencia entre ambos. Perfil mixto a-b

Fig. 3.- Sample with lime mortar in its surface and two kinds of microfissures parallels to the rock surface: 1.- Microfissures of mechanical origin, the nearest to rock surface. 2.- Bigger microfissures beetwen mortar and rock caused by a poor adherence beetwen them. A-B mixed profile.

dad a una profundidad de unos 6 mm. Este aumento de porosidad se hace patente además al comparar las muestras tomadas en monumento con las composicionalmente similares tomadas en cantera (Andaluz, et al., 1998)

c) Precipitación de sales. Directamente relacionada con los dos procesos anteriores, encontramos sales precipitadas tanto en los poros como en la parte externa de la muestra. Se han realizado análisis químico de extracto acuoso y difracción de rayos X, dando como resultado un claro dominio de yeso, además de nitrato potásico, común en las eflorescencias salinas (Gisbert et al, 1995, inéd.). En microscopio óptico, se observa una zona porosa sin teñir, en niveles subsuperficiales, que interpretamos como sales solubles disueltas en el proceso de elaboración de la lámina (Fig. 4)

d) Formación de costras negras. Este proceso es quizás uno de los más importantes y agresivos en el caso del deterioro de Rueda. Se han descrito detalladamente estos perfiles a través de un estudio mediante microscopía electrónica de barrido (S.E.M.), en el que se ponían de manifiesto, las distintas capas de la costra (Gisbert et al, 1996). Al microscopio óptico se observan en la parte más externa partículas esféricas de diámetro micrométrico opacas o de color marrónáceo Suelen estar rodeadas de restos de sales solubles, afectando en mayor o menor grado a los granos de la roca (Fig. 5).

e) Formación de costras orgánicas. Acompañando a todos estos procesos se ob-

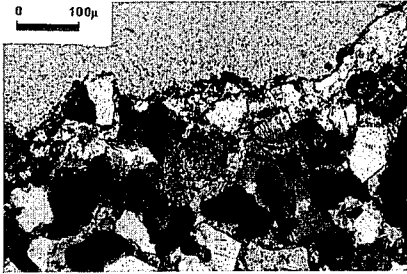


Fig. 4.- Muestra con sales precipitadas en superficie (perdidas durante el proceso de elaboración de la lámina), y gran porosidad en niveles subsuperficiales. Correspondería a un perfil tipo C.

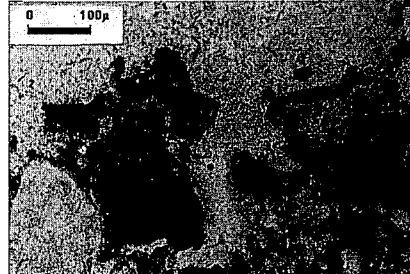


Fig. 5.- Muestra con partículas esféricas opacas de contaminación, y colonización vegetal (flecha). Perfil tipo C.

Fig. 5.- Sample with opaque round particles, typical of atmospheric pollution and biological colonization (arrow). Kind C profile.

Fig. 4.- Sample with proecipitated salts on its surface (lost during thin section elaboration, white-blue colored) and high porosity under surface (yellow colored). Kind C profile.

servan restos de colonización vegetal, llegándose a observar como penetran en la roca las hifas de una especie de hongo indeterminada (fig. 5). También se ha realizado estudio mediante S.E.M. y se han comparado los resultados con los obtenidos por Blázquez(1994, inéd.), encontrando bacterias coccas y algas verdes endolíticas, fundamentalmente (Gisbert et al., 1996)

2. Tratamiento

Hemos encontrado tres tipos de tratamiento original de la piedra:

1.- Revestimiento de mortero de cal y/o lechada de cal sin árido (seis muestras). Corresponden a muestras tomadas en los muros de la cilla orientados hacia el este y sur y a la muestra tomada en la galería renacentista, con orientación norte, todas ellas tomadas en zonas donde se observaba pátina naranja. Al microscopio se observa un revestimiento de mortero con árido fino con granos fuertemente corroídos por la matriz, o una capa de micrita de 0.3 mm, interpretada como producto de carbonatación de la cal. (Fig. 3). Inmediatamente debajo, la roca se presenta con una disminución de la macroporosidad, al estar los poros cementados por micrita hasta una profundidad que oscila entre 0.2 y 0.8 mm. La máxima penetración se produce cuando el revestimiento es de cal sin árido. En esta capa existe cuarzo autigénico.

2.- Tratamiento con un producto marrón-rojizo isótopo en luz polarizada (en adelante PMR) que se presenta con las siguientes características (cinco muestras):

- a) Capa superficial de 0.4 mm con una zona superficial bandeada y otra más interior masiva.
- b) En la roca se presenta rellenando total o parcialmente los macroporos. Las penetraciones son muy variables, pues en la muestra de interior sólo penetra hasta 2

mm, mientras que en las muestras exteriores, la penetración es superior a 3 cm.

3.- Revestimiento con yeso (dos muestras). Recubrimientos de 0.3 a 1 mm, en ocasiones con capa de cal superficial o con aplicación conjunta de una mezcla de yeso y PMR.

3. Perfiles de alteración

Todo lo anteriormente expuesto nos ha conducido a una primera definición de tipos de perfil:

- 1.- Inalterado:
  - a) Con revoco
  - b) Sólo pérdida del revoco o sin revoco
- 2.- Deteriorado
  - a) Fisurado con pérdida de roca más revoco
  - b) Perforado. con pérdida de roca más revoco
  - c) Deteriorado con costra negra
  - d) Deteriorado con costra orgánica

e) Deteriorado con reaplicación de tratamiento

Se ha realizado además un estudio de la evolución de la macroporosidad en el interior de la roca, distinguiéndose cuatro comportamientos distintos, en función del grado de deterioro de la roca (Fig. 6).

Tipo A.- Son los que presentan valores absolutos de macroporosidad más bajos. Tienen un ligero repunte a una profundidad de 6 mm. Son los menos alterados. Suelen corresponder a muestras con revoco, poco alteradas o con reaplicación (1a y 2e). En superficie pueden presentar costras negras y/o orgánicas.

Tipo B. Se caracterizan por un máximo de porosidad muy acusado en torno a una profundidad de 3 mm y una porosidad superficial muy baja. Suelen corresponder a perfiles con un grado de alteración intermedio, normalmente, fisurados (2a).

Tipo C. Se han distinguido dos subtipos ya que presentaban diferente pauta de comportamiento, a pesar de haberse descrito sobre muestra con porosidad de canal con o sin costra negra (2b y c), esto es, los de mayor grado de alteración

1. Presentan una evolución similar a los de tipo A pero con valores más altos. Sigue existiendo un máximo en 6 mm, con una disminución de macroporosidad a profundidades inmediatamente mayores (hasta los 15 mm).

2. En este caso el comportamiento es completamente diferente al del resto de tipos, con un máximo de porosidad en los niveles más superficiales de la roca (por encima de los 3 mm, que es donde se dan los valores más bajos).

Comparación de los valores medios de evolución de macroporosidad en los cuatro tipos de perfil diferenciados

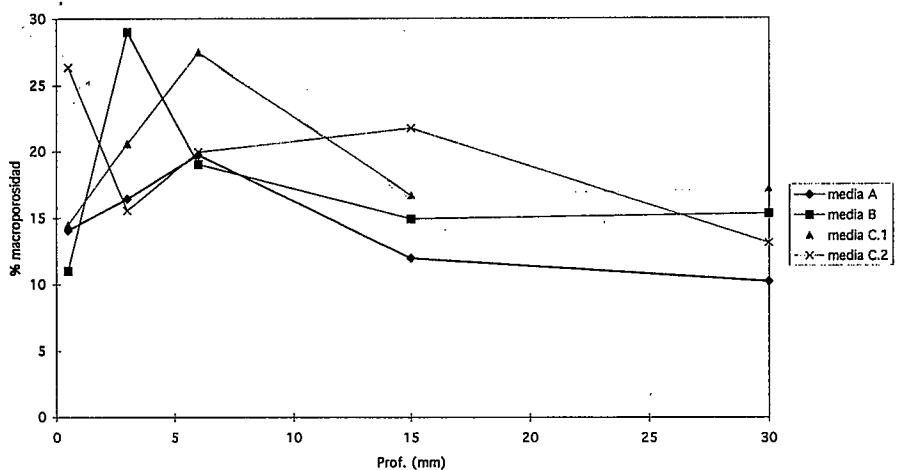


Fig. 6.- Gráfica mostrando la evolución de la macroporosidad en los distintos perfiles.

Fig. 6.- Graphic showing macroporosity evolution in the different kinds of profiles

MUESTRA	ORIENTACIÓN	SIT MONASTERIO	FAM. COMP.	FAM. TEXT.
EE034/1	S	Exterior cilla	Q <sub>2</sub> TDol	G <sub>1</sub> P <sub>1</sub>
EE036/1	E	Exterior cilla	Q <sub>2</sub> BCal	G <sub>3</sub> P <sub>2</sub>
EE037/1	E	Exterior cilla	Q <sub>2</sub> BCal	G <sub>2</sub> P <sub>1</sub>
EE056/1	N	Galería renacentista	Q <sub>2</sub> BCal	G <sub>2</sub> P <sub>2</sub>
EE018/1	NE	Parte superior del <i>lavatorium</i>	Q <sub>2</sub> BDol	G <sub>2</sub> P <sub>1</sub>
EE027/1	W	Exterior claustro	Q <sub>2</sub> BCal	G <sub>2</sub> P <sub>1</sub>
EE039/1	S	Exterior cilla	Q <sub>2</sub> BCal	G <sub>2</sub> P <sub>1</sub>
EE020/1	N	Parte superior del <i>lavatorium</i>	Q <sub>1</sub> Cal	G <sub>2</sub> P <sub>1</sub>
EE045/1	S	Claustro alto	Q <sub>2</sub> BTDoI	G <sub>1</sub> P <sub>1</sub>
EE019/1	N	Parte superior del <i>lavatorium</i>	Q <sub>2</sub> TCal	G <sub>1</sub> P <sub>1</sub>
EE031/1	E	Interior cilla	Q <sub>2</sub> BCal	G <sub>2</sub> P <sub>2</sub>
EE048/1	W	Claustro alto	Q <sub>2</sub> BCal	G <sub>2</sub> P <sub>2</sub>
EE049/1	Vert.	Claustro alto, pretil	Q <sub>2</sub> TDol	G <sub>1</sub> P <sub>2</sub>
EE033/1	W	Exterior cilla	Q <sub>1</sub> Dol	G <sub>2</sub> P <sub>2</sub>
EE046/1	S	Claustro alto	Q <sub>2</sub> BCal	G <sub>2</sub> P <sub>2</sub>
EE054/1	W	Portada iglesia	Q <sub>1</sub> BCal	G <sub>2</sub> P <sub>2</sub>
EE047/1	E	Claustro alto	Q <sub>2</sub> BDol	G <sub>1</sub> P <sub>2</sub>

## Conclusiones

En las muestras estudiadas mediante microscopio óptico en el monasterio de Rueda se han distinguido varios tipos de tratamiento originales o antiguos:

Tratamiento con mortero de cal con árido fino

Tratamiento con lechada de cal sin árido.

Tratamiento con un producto isótropo de naturaleza desconocida, probablemente orgánica (PMR)

Tratamiento con lechadas de yeso.

Estos tratamientos se han dado tanto sobre la roca recién instalada como con posterioridad, incluso estando la roca ya deteriorada. La penetración de los tratamientos es variable en función del tipo de estos. La lechada de cal al-

canza una profundidad de 0.3 a 0.5 mm, mientras que el PMR puede superar los 3 mm de profundidad de penetración. No se ha podido determinar la profundidad a la que llegan los tratamientos de yeso por el proceso de elaboración de la lámina.

Se han descrito cinco tipos de procesos de alteración:

- Red de grietas paralelas a la superficie con profundidades entre 0.4 y 1.2 mm, preferiblemente en orientaciones Norte y Sur.

- Porosidad a modo de canalillos  
 - Costras y eflorescencias salinas  
 - Costras negras de contaminación  
 - Recubrimientos orgánicos (algas, líquenes, etc.)

Respecto a la evolución de la macroporosidad se han descrito cuatro pautas que corresponderían con tres tipos

de perfiles de alteración fundamentalmente:

Tipo A.- Macroporosidad baja. Correspondería con perfiles que conservan aun las lechada de cal original o repuesta

Tipo B. Porosidad inicial muy baja con máximo en niveles subsuperficiales. Corresponde a perfiles que presentan fisuras.

Tipo C.1.- Máximo de porosidad a 6 mm. Evolución similar al tipo A pero con valores más altos

Tipo C.2.- Máximo de porosidad en niveles superficiales para decrecer en profundidad.

Estos dos subtipos corresponden a perfiles con porosidad a modo de canales perpendiculares a la superficie, con o sin desarrollo de costras negras.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por un proyecto de investigación de la Fundación Ramón Areces.

## Referencias

- Aguerrí, F. e Ibarguen, J. (1992): *Memoria del plan director del monasterio de Rueda* (inéd.)
- Andaluz, N., Gisbert, J. Delgado, S & Marín Chaves, C. (1998): *Geogaceta* (en este mismo número)
- Blázquez, F. (1994): *Tesis de licenciatura*, Univ. de Barcelona (Inéd)
- Gisbert, J. Andaluz, N., Cancela, M.I., Marín Chaves, C. y Martín Bueno, M. (1995): *Fundación Ramón Areces*. Inéd.
- Gisbert, J., Marín Chaves, C. y Andaluz, N. (1996): *Proc. VIIIth international congress on deterioration and conservation of stone*. Berlin, Vol I pp 387-393