

Las areniscas de la Catedral de Sigüenza (Guadalajara): estudio petrológico

Sandstones of Cathedral of Sigüenza (Guadalajara): Petrological characteristics

R. Fort González (*), F. Mingarro Martín (**), J. Rodríguez Blanco (**), y M.C. López de Azcona(*)

(*) Instituto de Geología Económica. C.S.I.C. 28040 Madrid.

(**) Dpto. Petrología y Geoquímica. Fac. CC. Geológicas. U.C.M. 28040 Madrid.

Abstract

The Cathedral of Sigüenza (13rd Century) was built with stony materials, mainly sandstones (arkoses). Three different types of rocks are distinguished: red, green and yellow sandstones with coarse to medium grain-size. Green shades and coarse arkosic sandstones present the higher index of decay. The three facies of study show several pathologies such as grain disgregations, grooves, alveolar erosions, etc. Green arkoses have the worse hydric behaviour of the three studied facies, showing higher water saturation degrees and capillarity coefficients. These facies are more affected directly for humidity-dryness processes. By the other way, durability related with salts and water crystallization into their porous systems is higher than the other facies. On the other hand, red arkoses present the best mechanic and hydric behaviour, so they are the most suitable to be used as substitution materials in future restoration-conservation works. Ancient quarries are located in the Anticlinal of Sigüenza (Triassic, Buntsandstein).

Key words: arkoses, petrophysics, hydric behaviour, Triassic, monument heritage.

Geogaceta, 25 (1999), 75-78
ISSN: 0213683X

Introducción

La Catedral de Sigüenza comienza a construirse en 1124 y se termina hacia 1221, aunque posteriormente sufrió ampliaciones que finalizan en el siglo XVI.

La Catedral está construida principalmente con areniscas. La piedra presenta importantes deterioros producidos por descohesión y disgregación diferencial de los componentes de la roca, produciendo arenizaciones, acanaladuras, estriaciones, alveolizaciones, descamaciones, etc.

El objetivo de este trabajo consiste en la caracterización petrofísica de los materiales con los que se construyó esta Catedral y en la determinación de las facies más idónea para su futura utilización como piedra de sustitución.

Características petrológicas

Las areniscas de la Catedral, proceden de antiguas canteras que existen al NE de la Ciudad, en el Anticlinal de Sigüenza. Estos materiales pertenecen al Triásico, concretamente al tramo inferior del Buntsandstein, dentro de las formaciones de «Areniscas del Río Arandilla» y «Limos y Areniscas de Rillo» (Ramos, 1979), de edad Anisiense-Ladiniense

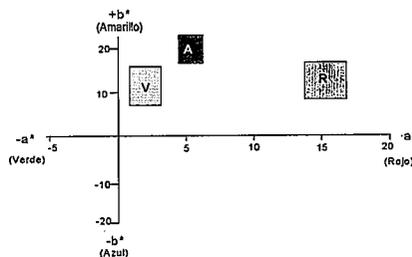


Figura 1- Diagrama cromático (a*-b*).
Arcosas verdes (V), amarillas (A) y rojas (R).

Figure 1- Chromatic diagram (a*-b*).
Green arkoses (V), yellow arkoses (A) and red Arkoses (R).

(Sanchez-Moya *et al.*, 1992, Muñoz, *et al.* 1995).

Una de las peculiaridades de la Catedral de Sigüenza es el contraste cromático de los distintos sillares de areniscas. Existe una gran variedad de tonos, dando un aspecto abigarrado a todo el conjunto catedralicio. Se definen tres tipos principales en función de su cromatismo. El primero tiene un valor más alto del parámetro a*, con un ángulo Hue (H*), próximo a 50°, lo que nos indica su tonalidad

rojiza (Figura 1). El segundo grupo está caracterizado por un ángulo Hue del orden de 75° y un valor del parámetro b* próximo a 21, que indica una tonalidad amarilla. El tercer grupo tiene el parámetro a* cercano a cero y por lo tanto próximo a la tonalidad verde.

Los sillares de tonos verdes y amarillos presentan una granulometría más gruesa, con un tamaño medio de 0,29 mm y tamaño máximo próximo a 1,1 mm. Las facies de grano más fino son las de tonos rojos con un tamaño medio de 0,17 mm, siendo su tamaño máximo de 0,6 mm.

En la tabla 1, se presenta las características composicionales de los distintos tipos de areniscas estudiadas, que se clasifican como arcosas. Mineralógicamente están formadas por cuarzo y feldespatos potásicos que alcanzan un 80 % de la roca total, predominando el cuarzo monocristalino sobre el feldespato. El resto de los clastos que integran el esqueleto de la roca está constituido por fragmentos de roca (<5%), principalmente de naturaleza metamórfica (esquistos y metacuarcitas), moscovitas y minerales accesorios como turmalina, circón y abundantes opacos, así como fragmentos de chert. Las facies de textura gruesa presentan un

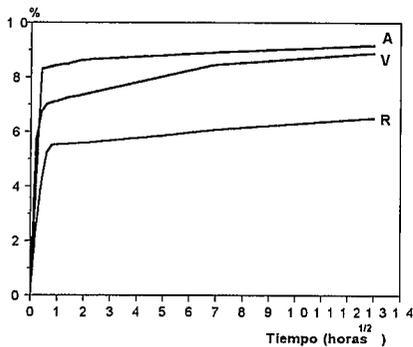


Figura 2- Cinemática de sorción libre de agua. Arcosas verdes (V). Arcosas amarillas (A). Arcosas rojas (R).

Figure 2- Kinetics of water absorption. Green arkoses (V). Yellow arkoses (A). Red arkoses (R).

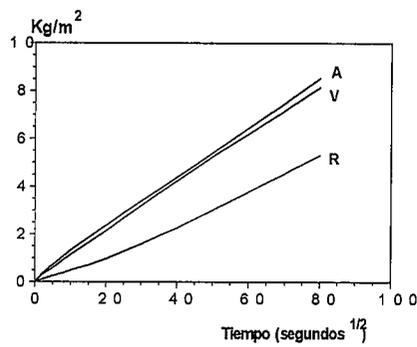


Figura 3- Absorción de agua capilar. Arcosas verdes (V). Arcosas amarillas (A). Arcosas rojas (R).

Figure 3- Capillarity water absorption. Green arkoses (V). Yellow arkoses (A). Red arkoses (R).

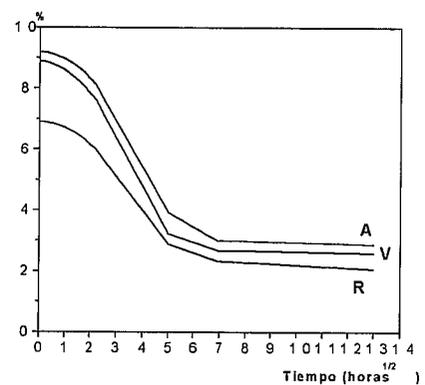


Figura 4- Cinemática de desorción de agua. Arcosas verdes (V). Arcosas amarillas (A). Arcosas rojas (R).

Figure 4- Kinetics of water desorption. Green arkoses (V). Yellow arkoses (A). Red arkoses (R).

mayor porcentaje de fragmentos de rocas. Las areniscas rojas de textura fina muestran un porcentaje alto de micas (moscovitas y alguna clorita), que alcanzan valores próximos al 3 %.

El cemento de la roca es fundamentalmente dolomítico de textura poiquilótica. Es en la facies de areniscas rojas, donde el porcentaje de cemento carbonático es más alto llegando a alcanzar valores próximos al 20 %. También existe cemento pelicular ferruginoso que bordea los clastos del esqueleto de la roca. Igualmente se aprecia un recrecimiento de los granos de cuarzo producido por cemento silíceo sintaxial. La matriz no suele superar el 5 % del total de la roca, estando constituida por filosilicatos de sericita, illita, caolinita, etc.

Las arcosas de textura gruesa y color verde, presentan un grado de alteración

apreciable, en donde los feldespatos potásicos se encuentran transformados parcial o totalmente en illita y en menor grado en caolinita. El estudio comparativo entre la zona externa e interna de los sillares señalan una disminución de detritos en zonas superficiales y un aumento en las internas, que puede llegar al 4 % de cemento carbonático y ferruginoso, lo que indica que el principal proceso de degradación es la arenización.

El grado de alteración de cada uno de los sillares analizados es diferente. En la tabla 1, se muestra el índice de alteración dado por el porcentaje de feldespatos alterados con respecto a los feldespatos potásicos totales. Se puede apreciar cómo este grado de alteración es similar en todos las areniscas analizadas en su parte interna, pero para su zona exterior, el porcentaje de feldes-

patos alterados aumenta apreciablemente. En las areniscas verdes existe un aumento importante del grado de alteración, al pasar de un 23 % a un 38 %.

Características petrofísicas

Las areniscas de grano más grueso tienen densidades reales próximas a 2.605 Kg/m³ y densidades aparentes sobre los 2.000 Kg/m³. El resto de las areniscas tienen densidades ligeramente más altas como puede apreciarse en la tabla 2. En esta misma tabla se muestran las velocidades medias de propagación de ultrasonidos en las diferentes facies definidas. Los sillares de tonos verdes y amarillos de mayor tamaño de grano, presentan velocidades de propagación más bajas, con valores medios de 1546 ± 79 m/s y 1577 ± 33 m/s, respectivamente. Los sillares de tonos rojos tienen velocidades superiores con valores medios próximos a 2.050 ± 120 m/s. El estudio comparativo entre las zonas externas e internas de los sillares indican que es en las partes externas donde existe un ligero aumento de la velocidad de propagación de ultrasonidos. Esto puede estar relacionado con una mayor compacidad en la parte externa del sillar debida al aumento de cemento carbonático. La resistencia mecánica de estos materiales, medido de forma indirecta por medio del coeficiente Schmidt, da valores bajos para las areniscas verdes y amarillas, 160 Kg/cm² y 220 Kg/cm², respectivamente y algo más altas para las rojas, con valores próximos a 380 Kg/cm².

El comportamiento hídrico de las areniscas con las que está construida la Catedral se sintetiza en la tabla 3. Las arcosas de tonos verdes y tonos amarillos absorben una mayor cantidad de agua, superior al 12 % en las de tonos amarillos. Son

	ARCOSA VERDE		ARCOSA AMARILLA		ARCOSA ROJA		
	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	
Cuarzo	41,0	46,6	53,4	51,2	42,1	44,6	
Feldespatos K	40,0	34,6	37,2	39,6	29,3	32,7	
Fragmento Rocas	2,0	4,6	2,2	0,6	Ind	Ind	
Moscovita	0,8	2,8	0,6	1,0	2,9	2,9	
M, Accesorios	1,2	3,2	0,8	0,4	1,6	1,6	
Cemento	CO ₃ ⁼	7,0	3,8	Ind	Ind	12,0	9,2
	Fe	3,8	2,4	4,2	2,4	7,4	6,4
Matriz	4,2	2,1	1,8	4,8	7,4	5,5	
Alteración (%)	38	23	27	20	32	28	

Tabla 1- Composición mineralógica de las arcosas estudiadas.

Table 1- Mineralogical composition of studied arkoses.

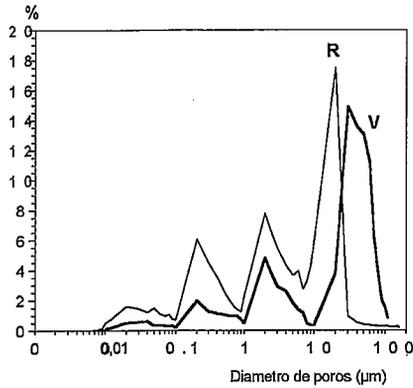


Figura 5- Distribución de tamaños de poro. Arcosas verdes (V). Arcosas rojas (A)

Figure 5- Pore-size distribution. Green arkoses (V). Red arkoses (R).

estas areniscas las que tienen una porosidad accesible al agua más alta. Las areniscas rojas de textura más fina presentan los valores de saturación al agua más bajos, con un valor medio 9,19 %.

La cinemática de absorción libre de agua de las arcosas de la Catedral se caracterizada por una sorción rápida en la primera hora, con grados de saturación entre el 60 % y 66 %. En la figura 2 se muestra la cantidad de agua que absorben estas areniscas con el paso del tiempo. Las arcosas de tonos verdes y las amarillas, ambas de textura gruesa, absorben mayor cantidad de agua en esta primera hora, con valores de 7,1 % y 8,2 %, respectivamente. Las areniscas rojas absorben cerca de un 6 % de agua. Para tiempos más largos de absorción de agua, las facies de textura gruesa continúan absorbiendo mayor cantidad de agua, así a los 7 días de sorción la cantidad de agua absorbida es próxima al 9 %, mientras que las de textura más fina no suelen superar el 7 %, tal como se aprecia en la figura 2.

La absorción de agua por el efecto capilar es mayor en las arcosas verdes alcanzando valores próximos de 6,5 Kg/m² h. Las arcosas rojas absorben una cantidad menor, cercana a 3 Kg/m² h, tal como se aprecia en la figura 3.

Las areniscas de textura gruesa y media, correspondientes a las facies verdes y amarillas, pierden mayor cantidad de agua durante el proceso de evaporación (Fig. 4). El hecho de que sean estas areniscas las que absorben una mayor cantidad de agua y la pierdan más fácilmente, principalmente en las primeras horas de evaporación, nos indica que estas facies pueden sufrir una mayor degradación por variaciones de humedad-sequedad. Por otro lado, al término del ensayo, después de 7 días de secado, la cantidad de agua

	ARCOSAS VERDES	ARCOSAS AMARILLAS	ARCOSAS ROJAS
Densidad Real (Kg/m ³)	2.610±6	2.605±9	2.644±19
Densidad Aparente (Kg/m ³)	2.012±12	1989±32	2.125±26
Velocidad Propagación de ultrasonidos (m/s)	1.546±79	1577±33	2.050±120
Coefficiente de Schmidt	<10	18	31
Resistencia a compresión (Kg/cm ²)	<160	220	380

Tabla 2- Parámetros mecánicos de las arcosas.

Table 2- Mechanic parameters of arkoses.

que existe todavía en el interior del sistema poroso de estas rocas es superior al que presentan las areniscas rojas de menor granulometría.

Todo el comportamiento hídrico está regulado por el sistema poroso de la roca. En la tabla 4 se muestran los parámetros porométricos de las areniscas verdes y rojas. La porosidad de las areniscas rojas, medida por la técnica de intrusión de mercurio, oscila entre entre el 18,4 % y 13,9 %. Las distribuciones de tamaño de poro son de tipo polimodal, tal como se aprecia en la figura 5. Las facies de textura gruesa son las que tiene una mayor macroporosidad (tamaños de poros superiores a 5 µm), que alcanza el 75 % del total de los poros y que constituyen el 13,3 % de porosidad, mientras que la microporosidad únicamente corresponde al 4,5 %. Los sillares de tonos rojos de textura más fina, tienen un porcentaje de macroporos similar al de microporos. Atendiendo a este espectro porométrico se establecen los estimadores dimensionales de durabilidad de los materiales porosos. (Ordoñez *et al.* 1997), definiendo aquéllos que son potencialmente más degradables por acción de la cristalización del agua o de sales en el interior del sistema poroso. Así, los estimadores dimensionales de durabilidad de estos materiales son 0,29 para las arcosas verdes y 0,71 para las rojas, indicándonos que son materiales resistentes a los procesos de cristalización. Las facies de textura fina serán las que sufran en mayor medida los procesos de degradación, por presentar un mayor porcentaje de microporosidad.

Conclusiones

De las arcosas con que se construyó la Catedral de Sigüenza son las facies verdes y de textura gruesa las que sufren un mayor proceso de degradación. Las causas de degradación están producidas por el mal comportamiento de estos materiales frente a la acción del agua, que favorecen los procesos de arenización y alveolización. Las variaciones de hume-

	ARCOSAS VERDES	ARCOSAS AMARILLAS	ARCOSAS ROJAS
% Saturación	11,38±0,35	12,36±0,18	9,19±0,20
% Porosidad accesible al agua	22,89±0,52	24,33±0,25	19,5±0,40
Coefficiente de Absorción (%)	8,45	8,66	6,40
Coef. Capilaridad (Kg/m ² s ^{1/2})	0,11	0,17	0,06
Coef. Permeabilidad al vapor de agua (g/m ² .24h.mmHg)	1,21	1,35	0,71

Tabla 3- Comportamiento hídrico.

Table 3- Hydric behaviour.

dad-sequedad son una de las causas fundamentales que provoca la aceleración del proceso de deterioro de estas areniscas. El índice de durabilidad indica que son materiales resistentes, en distinta medida, a los procesos de cristalización de agua y sales, con mejor comportamiento las facies gruesas que las finas.

Agradecimientos

Queremos agradecer a José Juste Ballesta, arquitecto del plan director de la Catedral de Sigüenza y al Cabildo de la misma, las facilidades dadas para la rea-

	ARCOSAS VERDES	ARCOSAS ROJAS
% Porosidad	17,8	15,7
% Microporosidad (<5µm)	4,5	8,8
% Macroporosidad (200-5µm)	13,3	6,9
Tamaño medio (µm)	0,65	0,23
Mediana (µm)	3,17	4,4
Superficie Específica (m ² /g)	0,44	1,15
Estimador durabilidad	0,29	0,71

Tabla 4- Parámetros porométricos de las arcosas verdes y rojas.

Table 4- Porometric parameters of green and red arkoses.

lización de este trabajo. Igualmente queremos agradecer a Miguel Juanco, Alberto Jiménez y a Paloma Monturiol su colaboración durante el desarrollo de este trabajo.

Referencias

Muñoz, A., Ramos, A., Sopeña, A. Y Sánchez-Moya, Y. (1995): *Cuad. Geol. Ibérica.*, 19:129-172.
 Ordoñez, S., Fort, R. y García del Cura, M.A. (1997): *Quat. Jour. Engin. Geol.*, 30:221-230
 Ramos, A. (1979): *Seminar. Estratigr., Series Monografías.* Univ. Complutense, 6:313 p.
 Sánchez-Moya, Y., Muñoz, A., Ramos, A. Y Sopeña, A. (1992): *Geogaceta*, 11:3-7.