

Geo-Temas



Volumen 13

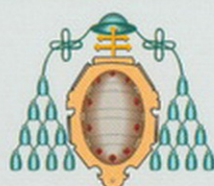
VIII Congreso Geológico de España

Oviedo, 17-19 julio, 2012

VIII Congreso
Geológico de España



2012-Oviedo



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Propiedades hídricas y anisotropía en rocas sedimentarias porosas

Hydric properties and anisotropy of porous sedimentary rocks

F.J. Alonso¹, L. Alonso¹, P. Vázquez¹

Dpto. Geología. Universidad de Oviedo 3305 Oviedo (Asturias). jalonso@geol.uniovi.es

Resumen: El agua es uno de los agentes de deterioro más importante y las propiedades hídricas de las rocas juegan un papel fundamental a la hora de valorar su durabilidad. Además en las rocas sedimentarias la presencia de anisotropías puede condicionar el comportamiento del agua en su sistema poroso y debe tenerse en cuenta a la hora de elegir sus aplicaciones como piedras de edificación. En este trabajo se analiza la anisotropía de diferentes parámetros hídricos vectoriales relacionados con la absorción de agua y con la circulación del vapor de agua en seis tipos rocosos sedimentarios (calizas y areniscas de elevada porosidad, dolomía y travertino de menor porosidad), correlacionándose dichos parámetros entre sí, así como con las características de la porosidad. Se concluye que en las rocas sedimentarias porosas el grado de anisotropía es bajo y que la permeabilidad al vapor de agua presenta buena relación con la absorción capilar y, sobre todo, con la absorción de gotas de agua. En este tipo de rocas el sencillo ensayo de absorción de gotas de agua permite estimar la permeabilidad al vapor de agua.

Palabras clave: rocas sedimentarias, anisotropía, porosidad, absorción de agua, permeabilidad al vapor.

Abstract: *Water is one of the more important weathering agents. Stone hydric properties play a fundamental role when durability is evaluated. Moreover, sedimentary rocks may show anisotropies which would condition the water behavior within their porous system. That has to be taken into account when chosen as building stone. In this study, different vectorial water parameters will be determined. They are related to the anisotropy in water absorption and the water vapor permeability. Six different sedimentary rocks are studied (high porosity limestone and sandstone; low porosity dolomite and travertine). These parameters are correlated between them, as well as with the porosity characteristics. In conclusion, sedimentary porous stones exhibit low anisotropy, water vapor permeability shows good relation with the capillary absorption and, especially, with the drops water absorption. In result, in this type of rocks, the simple test of drops water absorption allows to estimate the water vapor permeability.*

Key words: *sedimentary stones, anisotropy, porosity, water absorption, vapor permeability.*

INTRODUCCIÓN

El movimiento del agua en las rocas es una de las principales causas de su deterioro y afecta en especial a las piedras expuestas a la intemperie (Karaca, 2010; Siegesmund y Snethlage, 2011). En consecuencia es importante conocer las propiedades hídricas de las rocas, ya que están relacionadas con su durabilidad y condicionan sus usos y aplicaciones. Las propiedades hídricas caracterizan el comportamiento del agua en medios porosos no saturados (que es como se encuentran los materiales pétreos cuando se utilizan en edificación; Butenuth, 2004; Franzen y Mirwald, 2004; Pender, 2004).

Para caracterizar el comportamiento hídrico de las rocas existen distintos ensayos en cada uno de los cuales, además pueden determinarse varios parámetros. Así hay ensayos de absorción de agua en distintas condiciones (forzada al vacío, a baja presión, a presión atmosférica, por capilaridad, etc.), absorción de vapor

de agua, desorción, permeabilidad al vapor de agua e hinchamiento; y en cada ensayo puede determinarse el contenido en agua y el grado de saturación en distintos momentos del proceso, o coeficientes cinéticos. Dependiendo de las características del ensayo los parámetros pueden ser magnitudes escalares o vectoriales. Cuando el movimiento del fluido tiene lugar en una determinada dirección (como en la capilaridad o en la permeabilidad) las magnitudes obtenidas son de carácter vectorial.

MATERIALES

Los ensayos se han realizado sobre seis tipos rocosos sedimentarios (Molina *et al.*, 2011) con notables diferencias en cuanto a composición textura y porosidad (Tablas I y II). Se han tomado dos calizas de elevada porosidad (35 a 30 %) muy puras en cuanto a su composición mineral, aparentemente isotrópicas y con notables diferencias texturales. La denominada calcarenita de Sta. Pudía (SP), procedente de Escúzar

(Granada, Mioceno Superior), es una caliza bioclástica de grano muy grueso (briozoos, algas rojas de 4 mm) poco cementada. La otra caliza (CF) procede de Fraga (Huesca, Mioceno Inferior) y es una caliza micrítica con restos fósiles en baja proporción (ostrácodos, caráceas).

Las dos areniscas tienen porosidad media (23 a 20 %), textura similar, están muy ligeramente orientadas, y muestran diferencias composicionales. La piedra de Uncastillo (AU), propia de dicha localidad (Zaragoza, Mioceno Inferior), es una arenisca calcárea de grano medio con similar proporción de silicatos (cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca) y carbonatos (bioclastos, peloides, matriz y cemento). La arenisca (AV) procede de Villaviciosa (Asturias, Jurásico Superior) y es una arenisca siliciclástica de grano medio, entre subarcosa a sublitarenita, ligeramente cementada por cuarzo de sobrecrecimiento.

Las otras dos rocas de más baja porosidad abierta, accesible al agua, son el travertino de Albox (TA) y la dolomía de Boñar (DB). El travertino procede de Albox (Almería, Pleistoceno) y es muy puro en calcita, con textura cristalina heterogranular, siendo de destacar el aspecto bandeado con grandes poros alargados y orientados. La dolomía procede de Boñar (León, Cretácico Superior) y es una dolomía cristalina de grano fino (40 μm) con textura relicta granular difusa, isótropa, con porosidad intercrystalina parcialmente cementada por calcita.

Rocas	COMPOSICIÓN MINERAL (%)					
	Cal	Dol	Q	Fpto	FR	Arc
SP	97	-	2,0	-	-	1,0
CF	97	-	1,0	-	-	2,0
AU	46	-	15	10	25	4,0
AV	-	-	68	15	15	2,0
TA	99	-	0,5	-	-	0,5
DB	18	78	2,0	-	-	2,0

TABLA I. Componentes minerales en porcentaje. Cal: calcita, Dol: dolomita, Q: cuarzo, Fpto: Feldespatos, FR: fragmentos de roca, Arc: arcillas.

Rocas	TEXTURA		POROSIDAD	
	Tipo	Tamaño (μm)	Tipo	%
SP	Clástica	4000	Inter/intragranular	34,2
CF	Lodosa	150/<1,0	Móldica/matricial	30,1
AU	Clástica	350	Intergranular	22,8
AV	Clástica	250	Intergranular	19,7
TA	Cristalina	300/<1,0	Fenestral/vacuolar	7,9
DB	Cristalina	40	Intercristalina	7,5

TABLA II. Características de la textura y de la porosidad. Se indica el tipo textural, el tamaño medio de los componentes, el tipo de poros y porcentaje de porosidad abierta.

ENSAYOS

Se han considerado cuatro ensayos hídricos en los que el fluido se mueve en una determinada dirección:

absorción de agua por capilaridad (UNE-EN 15801:2001), permeabilidad al vapor de agua (UNE-EN 15803:2011), absorción de agua a baja presión (preEN 16302:2011) y absorción de gotas de agua. Los ensayos se han realizado de acuerdo las normas indicadas, propias del ámbito de la Conservación del Patrimonio Cultural. La absorción de gotas de agua es un sencillo ensayo sin normalizar; en este caso se ha medido el tiempo que tardan en ser absorbidas 4 gotas (de unos 70 mg cada una de ellas) depositadas con un cuentagotas desde una altura de 10 mm, en distintos puntos de la superficie de la roca.

Los ensayos se han realizado en las tres direcciones del espacio (X, Y, Z) sobre los mismos de cubos (de 50 mm de lado), excepto la permeabilidad que precisa lajas de 50x50x10 mm³.

Las muestras se han orientado en relación con la estratificación, siendo la dirección Z perpendicular a la estratificación y, por tanto, las direcciones X e Y están contenidas en el plano de estratificación, coincidiendo con el plano de corte de los bloques en los talleres. Cada ensayo se ha llevado a cabo en tres probetas para cada tipo rocosos.

RESULTADOS

En las Fig. 1 y 2 se representan el coeficiente de capilaridad (C) frente al de permeabilidad al vapor de agua (K_v), separadamente para las tres direcciones del espacio, en los distintos tipos rocosos analizados. En dichos gráficos se indica el margen de error de cada medida mediante la desviación típica.

En la Tabla III se muestran el valor medio de los citados coeficientes, así la media y la desviación típica para las tres orientaciones. De la misma forma en dicha tabla se presentan los resultados de los otros dos ensayos realizados: el coeficiente de absorción de agua a baja presión (C_{ABP}) y el tiempo que se mantiene la absorción de gotas de agua (t).

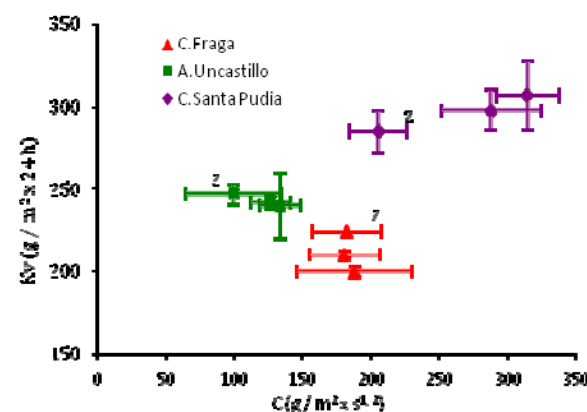


FIGURA 1. Coeficiente de capilaridad (C) frente al coeficiente de permeabilidad al vapor de agua (K_v) en las tres direcciones del espacio (Z $\perp$ estratificación) en las rocas de mayor porosidad.

Rocas	C (g/m ² x s ^{1/2})		K _V (g/m ² x día)		C _{ABP} (ml/cm ² x min ^{1/2})		t (s)	
	X - Y - Z	α ± σ	X - Y - Z	α ± σ	X - Y - Z	α ± σ	X - Y - Z	α ± σ
SP	287 - 314 - 205	270 ± 60	298 - 307 - 285	297 ± 11	1,73 - 1,81 - 1,67	1,74 ± 0,07	3,0 - 3,3 - 3,6	3,3 ± 0,3
CF	188 - 180 - 182	183 ± 4	200 - 210 - 224	211 ± 12	0,59 - 0,59 - 0,54	0,5 ± 0,03	22 - 31 - 22	25 ± 5
AU	126 - 133 - 99	120 ± 20	242 - 240 - 247	243 ± 4	0,40 - 0,48 - 0,40	0,43 ± 0,05	8,0 - 5,4 - 7,2	6,9 ± 1,3
AV	38 - 43 - 36	39 ± 3	136 - 148 - 148	144 ± 7	0,18 - 0,20 - 0,19	0,19 ± 0,01	51 - 47 - 37	45 ± 7
TA	4,2 - 4,6 - 3,6	4,1 ± 0,5	68 - 63 - 35	60 ± 20	0,09 - 0,42 - 0,64	0,4 ± 0,3	-----	-----
DB	12,6 - 12,0 - 11,9	12,2 ± 0,4	109 - 94 - 102	102 ± 8	0,024 - 0,022 - 0,025	0,024 ± 0,002	1768 - 1849 - 1719	1780 ± 70

TABLA III. Coeficientes de capilaridad (C), permeabilidad al vapor (K_V), absorción de agua a baja presión (C_{ABP}) y tiempo de absorción de gotas de agua (t). Valores en las direcciones X, Y y Z, y su correspondiente valor medio (α) y desviación típica (σ) para cada roca.

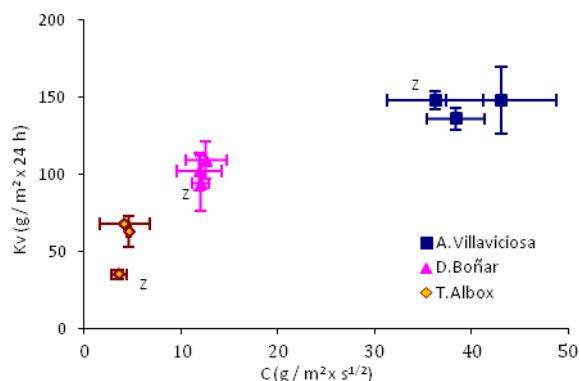


FIGURA 2. Coeficiente de capilaridad (C) frente al coeficiente de permeabilidad al vapor de agua (K_V) en las tres direcciones del espacio (Z ⊥ estratificación) en las rocas de menor porosidad.

DISCUSIÓN

Anisotropía en el comportamiento hídrico

En general las diferencias encontradas entre las tres direcciones para los distintos parámetros hídricos determinados no son significativas. De acuerdo con la dispersión que presentan los valores se considera que las diferencias son significativas al superar el 15 %.

En las areniscas a veces se observa en los afloramientos bandeados difusos o estratificación cruzada, y los cubos analizados parecen mostrar una ligera orientación; sin embargo, el comportamiento hídrico observado es esencialmente isotrópico. En cambio en la caliza de Sta. Pudía, cuyas probetas no muestran ningún tipo de orientación, el coeficiente de capilaridad presenta anisotropía (30 %).

La roca que tiene el comportamiento más isotrópico es la dolomía de Boñar, lo que se atribuye a la homogeneización textural que lleva asociado al proceso de dolomitización. En sentido contrario la roca con mayor grado de anisotropía es el travertino de Albox lo que es coherente con el aspecto bandado que presenta a simple vista. En esta roca el movimiento del agua y sobre todo el del vapor de agua es mucho más lento cuando se produce perpendicularmente al plano de estratificación (en concreto el ascenso inicial del agua por capilaridad disminuye alrededor del 20 % y el flujo de vapor de agua casi un 50 %).

Correlación entre parámetros hídricos

La relación entre porosidad y propiedades hídricas es un hecho contrastado. Sin embargo, el grado de

relación entre sus distintos aspectos debe ser determinado mediante el estudio petrofísico de cada tipo rocoso, dada la variabilidad de sistemas porosos que pueden presentarse. En este caso, considerados los valores medios en las tres direcciones para los distintos coeficientes obtenidos, se calculan las regresiones con el fin de conocer la dependencia que existe entre ellos (Tabla IV). También se han relacionado dichos parámetros con la porosidad abierta accesible al agua para valorar la influencia que tiene el volumen poroso y, complementariamente, el tamaño y forma de los poros, en los distintos procesos de transporte de agua y de vapor de agua.

Destaca la buena correlación entre la absorción de agua por capilaridad (C) y la permeabilidad al vapor de agua (K_V), especialmente cuando se considera la capilaridad en escala logarítmica, dado el amplio rango de valores que toma este parámetro (Fig. 3). La correlación de esos dos parámetros con la porosidad es inferior para la capilaridad. Esto es debido a que en el coeficiente de absorción capilar influye, además de la porosidad, el tamaño de poro. La mejor correlación entre la porosidad y la permeabilidad indica que la influencia del tamaño de poro es ahora menor, debido probablemente a que el agua se mueve por todo el espacio poroso y el volumen poroso es más relevante.

Los procesos de absorción de agua a baja presión, simulados en el correspondiente ensayo, se producen cuando los materiales expuestos en la fachada de los edificios sufren la acción de la lluvia y el viento. El parámetro considerado en este caso (C_{ABP}) no presenta correlaciones significativas con la porosidad, ni con la permeabilidad, de lo que puede ser debido a una mayor influencia del tamaño de poro en este proceso.

El tiempo que tardan en ser absorbidas gotas de agua depositadas sobre la superficie del material (t) se correlaciona muy bien con la permeabilidad (K_V) y mal con absorción de agua, ya sea ésta por capilaridad (C) o a baja presión (C_{ABP}). Dicha relación se ha obtenido en materiales suficientemente porosos (p_o >15 %), en los que el tiempo de absorción no supere un minuto (Fig. 4). Esto indica que en el proceso de absorción de gotas, como en la permeabilidad al vapor, tiene mayor peso el volumen poroso que el tamaño de los poros. Por otra parte en materiales suficientemente porosos la relación observada entre absorción de gotas y permeabilidad permite disponer de un valor aproximado del este

segundo parámetro a partir del primero. De esta forma mediante un ensayo muy sencillo (que apenas dura un minuto) se obtienen valores próximos a los suministrados mediante un ensayo mucho más complejo que precisa aparatos (permeámetros) y equipamiento (mantener constante la temperatura ambiente) y que suele durar una semana.

CORRELACIÓN	ECUACIÓN	R^2
Absorción (C) & Permeabilidad (K_v)	$y = 53,7 \ln(x) - 35$	0,91
Absorción (C) & Porosidad (p_o)	$y = 8,470 x - 67,8$	0,73
Permeabilidad (K_v) & Porosidad (p_o)	$y = 7,582 x - 19,0$	0,84
Absorción (C_{ABP}) & Absorción (C)	$y = 0,0048 x - 0,07$	0,72
Absorción (C_{ABP}) & Permeab. (K_v)	$y = 0,0047 x - 0,23$	0,51
Absorción (C_{ABP}) & Porosidad (p_o)	$y = 0,0409 x - 0,27$	0,56
Absorción (t) & Absorción (C)	$y = -3,777 x + 228$	0,56
Absorción (t) & Absorción (C_{ABP})	$y = -0,025 x + 1,23$	0,48
Absorción (t) & Permeabilidad (K_v)	$y = -3,514 x + 290$	0,93
Absorción (t) & Porosidad (p_o)	$y = -2,578 x + 87,7$	0,87

TABLA IV. Correlaciones entre parámetros hídricos y porosidad: Ecuación de la recta y coeficiente de determinación (R^2).

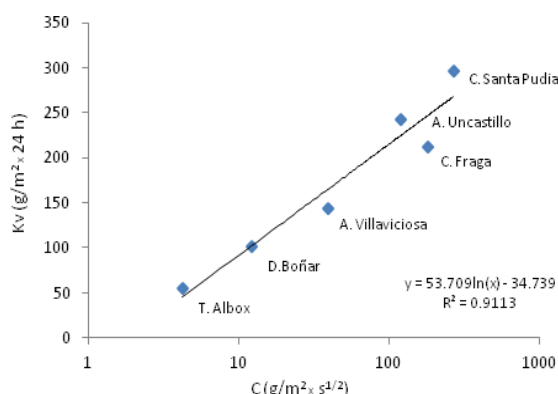


FIGURA 3. Coeficiente de capilaridad (C) frente al coeficiente de permeabilidad al vapor de agua (K_v). Valores medios de las tres direcciones del espacio.

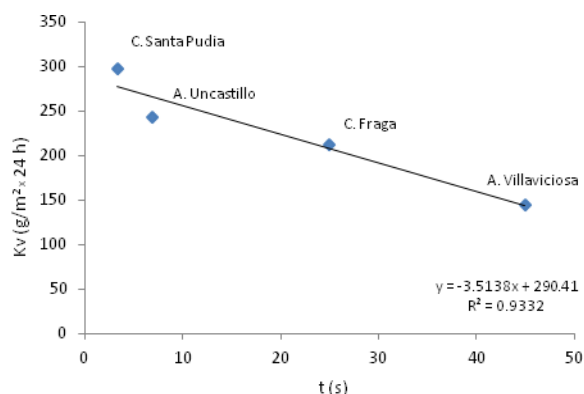


FIGURA 4. Tiempo de absorción de gotas de agua (t) frente al coeficiente de permeabilidad al vapor de agua (K_v) en las rocas de mayor porosidad. Valores medios de las tres direcciones.

CONCLUSIONES

Las rocas sedimentarias porosas (calizas y areniscas clásticas) tienen con frecuencia un comportamiento hídrico isótropo o muy bajo grado de anisotropía. La

dispersión que presentan los parámetros hídricos impide determinar pequeñas anisotropías y, por tanto, cuantificar las débiles orientaciones que a veces se intuyen en los análisis petrográficos.

La absorción capilar y la permeabilidad al vapor presentan buena relación entre sí. Este hecho se atribuye a que ambos procesos dependen de la porosidad, y las diferencias en la bondad de las correlaciones (C & p_o y K_v & p_o) puede deberse a la influencia del tamaño de poro. En consecuencia, el tamaño influye más en la capilaridad y el volumen poroso en la permeabilidad, lo que a su vez puede explicarse por diferencias en el transporte: el agua avanza por la superficie de los poros capilares y vapor de agua se mueve por todo el volumen.

La relación entre la absorción de gotas y la permeabilidad al vapor, en este tipo de rocas con notable porosidad abierta, permite estimar el segundo parámetro a partir del primero. Así, un sencillo ensayo de un minuto de duración puede (en parte) suplir a otro más complejo que suele mantenerse una semana.

AGRADECIMIENTOS

Al M.E.C. español por la financiación del proyecto MAT2008-06799-C03. A Rosa Esbert por motivar el tema objeto de estudio.

REFERENCIAS

- Butenuth, C., Hamm, T. y de Freitas, M.H (2004). *The kinetic response of rock to water vapour*. Bull. Eng. Geol. Env. 63: 179-189.
- Franzen, C y Mirwald, P.W. (2004). *Moisture content of natural stone: static and dynamic equilibrium with atmospheric humidity*. Env. Geol. 46:391-401.
- Karaca, Z. (2010). *Water absorption and dehydration of natural stones versus time*. Construction and Building Materials 24: 786-790.
- Molina, E., Cultrone, G., Sebastián, E., Alonso, F.J., Carrizo, L., Gisbert, J. y Buj, O. (2011). *The pore system of sedimentary rocks as a key factor in the durability of building materials*. Eng. Geology 11: 110-121.
- Pender R.J. (2004). *The behavior of water in porous building materials and structures*. Reviews in Conservation 5: 49-62
- Siegesmund, S. y Snethlage R. (2011). *Stone in architecture*. Springer, Berlín.
- UNE-EN 15801:2011. *Determinación de la absorción de agua por capilaridad*. AENOR, Madrid, 12 p.
- UNE-EN 15803:2011. *Determinación de la permeabilidad al vapor de agua*. AENOR, Madrid, 15 p.
- prEN 16302:2011. *Medida de la absorción de agua a baja presión*. CEN/TC 346, 12 p.