

Práctica 7. Determinación de propiedades físicas: Densidad, porosidad y capilaridad. Valoración de resultados. Interpretación petrofísica.

Dadas las siguientes rocas: arenisca Ojo de Perdiz, arenisca de Santillana, caliza de Sepúlveda, caliza de Vinaixa, dolomía de Laspra y Granito de Fraguas, se ha realizado su caracterización petrográfica (prácticas 3.1 y 3.2) y se han determinado sus propiedades físicas: densidad, y porosidad y capilaridad (ver ficheros adjuntos).

a) Valora los resultados obtenidos para las propiedades físicas determinadas, respondiendo las siguientes cuestiones:

- La densidad aparente o densidad de la roca seca se ha obtenido por dos métodos: geométrico e hidrostático, ¿cuál te pare más preciso?

Es más preciso el método hidrostático. En el método hidrostático las desviaciones son menores, en valor absoluto se sitúan alrededor de ± 9 (en valor relativo 0,5 %), mientras que en el método geométrico la media de las desviaciones es ± 30 (1,3 % en términos relativos).

- En cuanto a los valores obtenidos por ambos métodos, ¿consideras que son similares teniendo en cuenta las desviaciones que existen?, ¿observas alguna tendencia?

Teniendo en cuenta los errores cometidos en ambos métodos, pueden considerarse que los valores (densidad aparente o densidad de la roca seca) son similares en: Santillana, Vinaixa, Laspra y Ojo de Perdiz, y existen ligeras diferencias en: Sepúlveda y Fraguas.

En general los valores obtenidos por el método hidrostático son mayores que los del geométrico. Esta tendencia puede deberse en principio a dos causas: a) en el método geométrico la falta de material en alguna arista o vértice de la muestra da como resultado menor masa y por tanto menor densidad, b) en el método hidrostático si la saturación de las muestras no es completa la masa saturada es menor, el volumen obtenido es menor y por tanto la densidad mayor.

Desconocemos si el valor verdadero está más próximo al obtenido por un método o por el otro, en cualquier caso cuando ambos valores son similares cabe pensar que estamos próximos al valor verdadero.

- En el cálculo de la densidad real influye los porcentajes de los distintos minerales, en el caso de que existan diferencias entre los valores obtenidos experimentalmente y los reales, ¿se ve afectada la porosidad abierta?, y ¿la porosidad cerrada?

La porosidad abierta no se ve afectada ya que se obtiene por el método hidrostático (se mide el peso seco, saturado y sumergido) y por tanto no interviene la composición mineral.

La porosidad cerrada si se va afectada ya que se calcula a partir de la diferencia entre la porosidad total y la abierta. La porosidad total considerada en este caso es teórica y se calcula a partir de la composición mineral. Esto significa que pequeñas diferencias en la composición mineral o en los valores de densidad de los minerales generan notables diferencias en la porosidad cerrada.

- En el cálculo de los coeficientes de capilaridad, ¿consideras que el ajuste de los puntos experimentales a una recta es bueno en cada muestra?, ¿la dispersión entre las distintas muestras de un mismo tipo rocoso es grande?, ¿en qué órdenes de magnitud se sitúa la dispersión relativa de esos coeficientes de capilaridad?

Sí, el ajuste es muy bueno, el coeficiente de correlación (R^2) se sitúa siempre muy próximo a 1. Tanto las rectas obtenidas para determinar la absorción capilar (C) como las de penetración capilar (A) toman con frecuencia valores de 0,99 y siempre se mantienen por encima de 0,94.

En general la dispersión (desviación) entre las distintas muestras dentro de cada roca es pequeña (varía de 0,06 a 0,4). No obstante, es mejor considerar la desviación relativa (coeficiente de variación), de esta forma la desviación no depende de la correspondiente magnitud (normalización de resultados para efectuar comparaciones).

La dispersión relativa para la absorción capilar "C" se sitúa en torno al 10 % (variando del 4-15 %) e igualmente para la penetración capilar "A" puede considerarse el 10 % (variando 1-20 %), en este caso sin tener en cuenta Laspra (donde la dispersión es mucho mayor: 40 %).

- Los coeficientes de capilaridad se han expresado en distintas unidades (g, kg; m, cm, mm; h, min, s), ¿qué conjunto de las unidades de las indicadas te parecen más apropiadas?

Para la absorción capilar "C" parecen unidades apropiadas ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$) o quizás mejor ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$) estas últimas propuestas por la norma de la piedra natural. Si se expresa de acuerdo con el sistema internacional unidades ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$), tal como hace la norma de conservación del patrimonio cultural, los valores obtenidos son muy pequeños y requieren muchos ceros decimales. Para la penetración capilar "A" se consideran unidades más adecuadas ($\text{cm} \cdot \text{h}^{1/2}$), ya que entonces este parámetro toma valores alrededor de la unidad.

- Compara el coeficiente de penetración capilar experimental (A) con el teórico (A_T), ¿observas alguna tendencia?, en caso afirmativo, ¿qué interpretación sugieres?

En la mayoría de las rocas el coeficiente experimental es mayor que el teórico. En concreto en las rocas donde la porosidad se debe fundamentalmente a poros de tipo intergranular (Ojo de Perdiz, Santillana, Vinaixa y Sepúlveda). Este hecho significa que el agua asciende más deprisa en sistema poroso real que en el modelo teórico de poros cilíndricos de igual tamaño. En consecuencia cabe pensar que este tipo de sistema poroso (porosidad intergranular), con notables variaciones de tamaño: ensanchamientos y estrechamientos, favorece que el agua ascienda más rápidamente.

En el granito ambos coeficientes son similares, esto se atribuye a la distinta configuración de la porosidad. En este caso los espacios vacíos son fisuras y el comportamiento de las fisuras, cuyo espesor (abertura) se mantiene más o menos constante (no presenta ensanchamientos y estrechamientos como en el caso anterior) es más parecido al del modelo de poros cilíndricos ideales (cuyo radio por definición también se mantiene constante).

En Lapra el coeficiente experimental es menor que el teórico, esto puede deberse a que su sistema poroso es diferente al intergranular de las rocas clásticas; ahora se observan poros grandes (vacuolares) y pequeños (matriciales) mal comunicados entre sí. Además debe tenerse en cuenta que el error cometido en la determinación del coeficiente experimental es muy grande y es posible que la diferencia entre ambos coeficientes no sea tal, incluso que el comportamiento sea similar al resto de las rocas porosas.

- Admitiendo que no se han cometido errores en los ensayos, ¿qué tipo/s rocoso/s consideras más homogéneo?, y ¿cuál/es presentan mayor variabilidad?

Considerando que las desviaciones son debidas a falta de homogeneidad entre las distintas probetas de la muestra, y que no son debidas a errores experimentales, la roca más homogénea es Ojo de Perdiz, ya que las desviaciones son las más pequeñas (n_0 : 1,2 %, C: 4 % y A: 3 %), y como más heterogénea puede considerarse Santillana ya que las desviaciones son para todos los parámetros (n_0 : 11 %, C: 15 % y A: 13 %).

b) Realiza una interpretación petrofísica en términos relativos de las seis rocas, de acuerdo con las características petrográficas y las propiedades físicas determinadas.

La densidad real es parecida en todos los tipos rocosos. Los valores más bajos corresponden a las rocas silicatadas, siendo similar en areniscas y granitos: $2650\text{-}2680 \text{ kg}/\text{cm}^3$. Las rocas carbonatadas presentan valores algo mayores: $2710\text{-}2860 \text{ kg}/\text{cm}^3$, correspondiendo el primer valor a las calizas puras (como Sepúlveda), el segundo a las dolomías puras (como Lapra), y valores intermedios a las calizas dolomíticas y dolomías calcáreas (como Vinaixa).

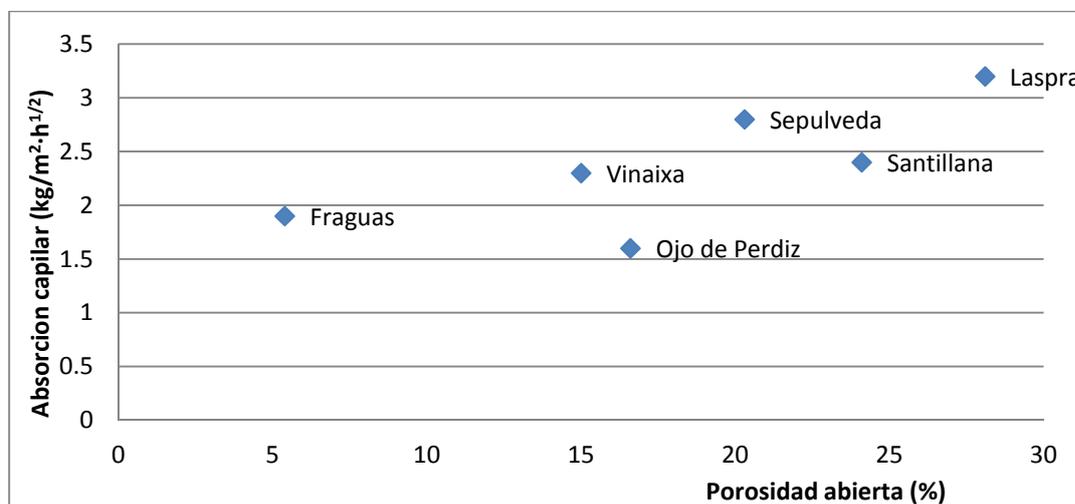
La densidad aparente, de acuerdo con la poca diferencia que presenta la densidad real, depende esencialmente de la porosidad. En consecuencia, valores bajos en la densidad aparente son debidos a elevada porosidad, y esta relación es válida en la mayoría de las rocas ornamentales.

La porosidad abierta -accesible al agua- en rocas sedimentarias (textura clástica y porosidad tipo sistema poroso, con predominio de poros intergranulares) es mayor que en las rocas ígneas (textura cristalina y porosidad tipo red de fisuras). Así, los valores obtenidos en las primeras varían entre 13 y 26 %, mientras que el granito se sitúa alrededor de 5 %.

La porosidad cerrada en todos los casos es muy baja (esto ocurre en la mayoría de los tipos rocosos). En cuanto a las diferencias entre las distintas rocas son poco significativas, ya que su determinación depende de la composición mineral, y vimos como pequeñas diferencias pueden generar grandes variaciones, es decir los valores obtenidos por este método tienen mucho error.

Capilaridad. La absorción capilar depende de la porosidad (de que haya muchos poros) y de las características del sistema poroso (del tamaño/comunicación de los poros), mientras que la penetración capilar depende esencialmente de las características del sistema poroso. El coeficiente de penetración capilar (altura ascendida por unidad de tiempo) aumenta al aumentar el tamaño de poro, ya que en los poros grandes el agua puede circular más deprisa que en los pequeños. El coeficiente de absorción capilar (masa por unidad de tiempo) aumenta al aumentar la porosidad y el tamaño de poro. Ciertamente a menor tamaño de poro mayor es la altura ascendida, pero esto es para condiciones de equilibrio (tiempo infinito). Inicialmente -a partir de la roca seca- a menor tamaño de poro el ascenso del agua es más lento (menor coeficiente de penetración capilar).

En el gráfico puede verse como al aumentar la porosidad abierta aumenta el coeficiente de absorción capilar, existiendo diferencias menores respecto al comportamiento lineal que se atribuyen a las características del sistema poroso (tamaño de poro).



Comparado las rocas con parecida porosidad (alrededor del 14 % y del 25 %):

a) Vinaixa debe de tener un sistema poroso mejor comunicado que Ojo de Perdiz. A pesar de que en superficie observamos poros milímetros en Ojo de Perdiz y apenas superan 0,1 mm en Vinaixa, la arenisca debe de presentar notables estrechamientos, consecuencia de la cementación parcial, y en consecuencia su grado de comunicación es menor. Atendiendo a la penetración capilar vemos como el agua asciende más (más deprisa) en Vixaina (3,5 cm/h^{1/2}) que en Ojo de Perdiz (2,4 cm/h^{1/2}).

b) Santillana es una arenisca de grano muy fino, en consecuencia el tamaño de sus poros es pequeño y por tanto la absorción capilar es menor de lo que correspondería a una roca de grano medio o grueso de su misma porosidad. Atendiendo a la penetración capilar vemos como el coeficiente es más pequeño (1,6 cm/h^{1/2}), mientras que Sepúlveda (3 cm/h^{1/2}) presenta valores próximos a las rocas detríticas de grano más grueso (Ojo de Perdiz y Vinaixa).

Finalmente, en un extremo se sitúa el granito, con una importante absorción capilar, a pesar de su menor porosidad. Esto es debido a la buena comunicación de la porosidad (red de fisuras), prueba de ello es su elevado coeficiente penetración capilar (3,6 cm/h^{1/2}). En el otro extremo se sitúa Laspra, su elevada absorción capilaridad se debe a su porosidad, dado que la comunicación entre sus poros no debe de ser tan buena como en casos anteriores (poros muy grandes –vacuolares- comunicados por porosidad matricial, de muy pequeño tamaño). El coeficiente de penetración capilar es 1 cm/h^{1/2}, si bien el error que le acompaña es elevado.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS ROCAS

TIPO DE ROCA		DENSIDAD			POROSIDAD			CAPILARIDAD		
		Método geométrico	Método hidrostático	Densidad real	Método hidrostático	Porosidad cerrada	Porosidad total	COEFICIENTE		
		ρ_d (Kg/m ³)			n_o (%)			C (kg/m ² x h ^{1/2})	A (cm x h ^{1/2})	A _T (cm x h ^{1/2})
OJO DE PERDIZ (13898)	x	2210	2236	2679	15,6	1,0	16,6	1,60	2,45	1,02
	σ	± 73	± 9		$\pm 0,2$			$\pm 0,06$	$\pm 0,06$	$\pm 0,04$
	C.V.	3,3 %	0,4 %		1,2 %			4 %	3 %	
SANTILLANA (11767)	x	2032	2027	2671	23,7	0,4	24,1	2,4	1,6	1,03
	σ	± 28	± 10		$\pm 2,6$			$\pm 0,4$	$\pm 0,2$	$\pm 0,15$
	C.V.	1,4 %	0,5 %		11 %			15 %	13 %	
VINAIXA (12378)	x	2349	2348	2764	13,3	1,7	15,0	2,3	3,5	1,8
	σ	± 14	± 12		$\pm 0,2$			$\pm 0,2$	$\pm 0,7$	$\pm 0,2$
	C.V.	0.6 %	0,5 %		1,2 %			9 %	21 %	
LASPRA (10863)	x	2042	2053	2856	26,1	2,0	28,1	3,2	1,0	1,24
	σ	± 32	± 9		$\pm 0,3$			$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,06$
	C.V.	1,5 %	0,4 %		1,0 %			9 %	41 %	
SEPÚLVEDA (12501)	x	2160	2197	2709	18,7	1,5	20,3	2,8	3,0	1,5
	σ	± 18	± 14		$\pm 0,5$			$\pm 0,4$	$\pm 0,4$	$\pm 0,2$
	C.V.	0,8 %	0,6 %		2,7 %			15 %	13 %	
FRAGUAS (12500)	x	2485	2502	2645	5,33	0,07	5,39	1,9	3,61	3,6
	σ	± 11	± 2		$\pm 0,08$			$\pm 0,2$	$\pm 0,04$	$\pm 0,4$
	C.V.	0,4 %	0,1 %		1,5 %			11 %	1,2 %	

Valor medio (x), expresado con el número de cifras significativas correcto, de acuerdo con su desviación típica (σ).

Desviación típica relativa, también llamada coeficiente de variación (C.V.): se obtiene dividiendo la desviación típica (σ) por el valor medio (x) y se expresa en (%), de esta forma se pueden comparar las desviaciones (σ) cuando las magnitudes (x) son muy diferentes (por ejemplo: no significa lo mismo una desviación de 0,1 en la porosidad de una roca si el valor de la porosidad es del 2 % o si la porosidad es del 20 %).