Relaciones porosidad-permeabilidad en carbonatos de la Fm Reocín (Cantabria).

/ RAÚL PRADANA (1), CARLOS ROSSI (1)*

(1) Facultad de Ciencias Geológicas. C/ José Antonio Novais, 12. Universidad Complutense de Madrid. 28040, Madrid (España)

INTRODUCCIÓN

Porosidad y permeabilidad son probablemente las propiedades petrofísicas más importantes, ya que condicionan la capacidad de las rocas para almacenar y transmitir fluidos. Dado que la permeabilidad es más difícil de estimar de forma indirecta que la porosidad, comprender y cuantificar las relaciones porosidad-permeabilidad para un determinado tipo de roca es relevante en la práctica. Junto con las areniscas, las dolomías forman la mayor parte de los acuíferos y rocas almacén de hidrocarburos. Comparadas con las areniscas, las dolomías presentan sistemas porosos y relaciones porosidad-permeabilidad más complejos. Las dolomías aptienses de la Fm Reocín aflorantes en la Sierra de Arnero (Cantabria) ofrecen una excelente oportunidad para estudiar estas relaciones, ya que son accesibles en una extensa red de galerías mineras abandonadas (minas de la Florida) que cubren un amplio rango de profundidades y posiciones estratigráficas. El estudio petrofísico de estas dolomías puede aplicarse además a un mejor entendimiento de sus procesos de mineralización por sulfuros (Tornos y Velasco, 2011) y de su karstificación cuaternaria (Rossi *et al.* 2016).

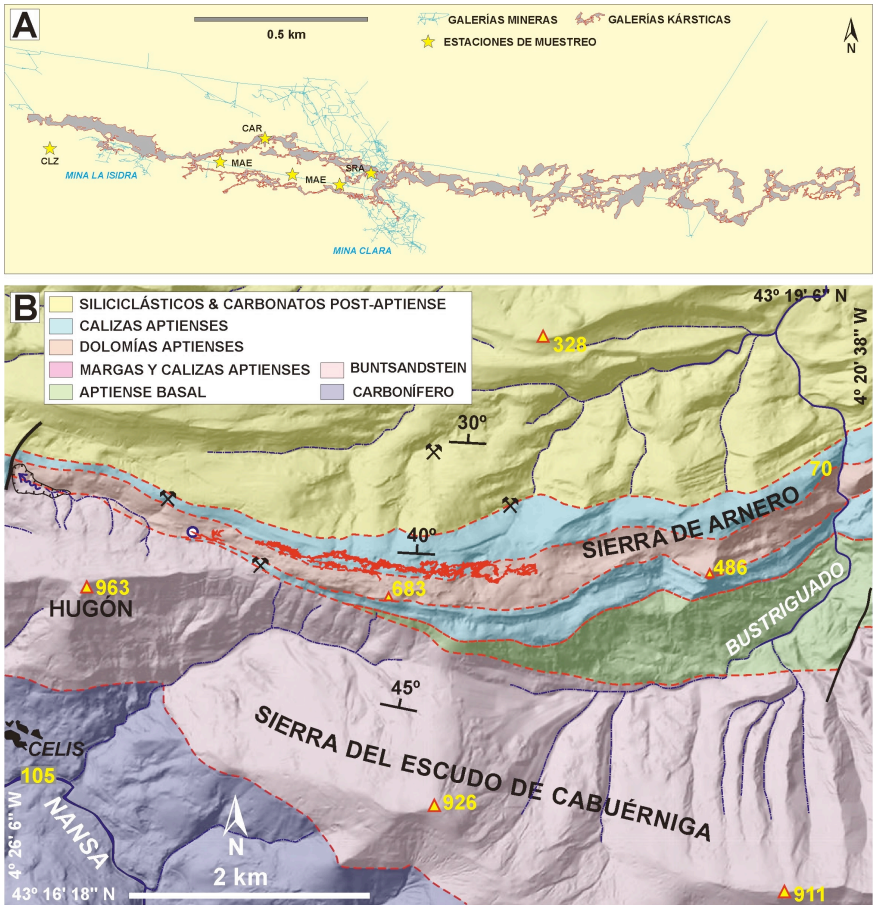

fig. 1. *A: Proyección en planta de las galerías mineras y kársticas con la situación de las zonas de muestreo. B: Mapa geológico de la zona. Modificado de Rossi et al (2016).*

CONTEXTO GEOLÓGICO

En la sierra de Arnero, la formación Reocín está constituida esencialmente por dolomías masivas (López-Cilla *et al.* 2009), pasando a calizas marinas tanto hacia la base como hacia techo. Con un buzamiento de ~45º hacia el Norte, la Fm Reocín yace discordante sobre el Buntsandstein de la sierra del Escudo de Cabuérniga (Fig. 1B). Las dolomías albergan un yacimiento de sulfuros de Pb-Zn de tipo Mississippi Valley (MVT), con su correspondiente zona de alteración formada esencialmente por silicatos y carbonatos de Pb-Zn (Tornos y Velasco, 2011). Este yacimiento fue objeto de una intensa explotación minera desde el siglo XIX hasta 1978 (García *et al.*, 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras estudiadas (12 en total) son esencialmente dolomías obtenidas en la galería minera Maestra (MAE) y en una galería kárstica que corta la parte superior de las dolomías (CAR) (Fig. 1). Además, se han analizado dos muestras de las calizas superiores, procedentes de afloramientos en superficie (CLZ) (Fig. 1). Con el fin de evitar fracturas artificiales que podrían afectar a la permeabilidad, las muestras se obtuvieron *in situ* con una cortadora portátil de disco de diamante. En el laboratorio, las muestras se cortaron en forma de paralelepípedos, cuyas caras se desbastaron y pulieron con abrasivos. Los bloques se secaron en estufa a 50ºC

palabras clave: Porosidad, Permeabilidad, Minas de la Florida, Dolomías

key words: Porosity, Permeability, La Florida mines, Dolostones

* corresponding author: **rpradana@ucm.es**

durante varios días. El volumen de cada bloque se determinó usando un calibre con una precisión de 0.01 mm, tomando cuatro medidas por cada eje. La masa seca de cada bloque se midió con una precisión de 0.01 g. A partir de medidas repetidas del mismo bloque, el error en la estimación de la densidad global (ρ global) es mejor que 0.01 g/cm³.

La densidad de sólidos (ρ sólidos) se midió a partir de una rodaja de muestra representativa del bloque usando un picnómetro de líquidos, calibrado para tener en cuenta las diferencias de temperatura. La rodaja se disgregó empleando un mortero manual de porcelana y un tamiz de 1.6 mm (2 mm para las calizas) y se separaron 30-35 g de cada muestra usando un cuarteador. Se realizaron dos medidas por cada muestra, siendo las diferencias entre ambas inferiores a 0.002 g/cm³ en prácticamente todos los casos. A partir de tres medidas de un patrón de densidad conocida (cuarzo puro sin inclusiones: 2.648 g/cm³), el error estimado en la medida de la densidad de sólidos es 0.013 g/cm³.

La porosidad (ϕ) se obtuvo a partir de la densidad global de sólidos mediante la ecuación (1), despreciando la densidad de los fluidos por tratarse de aire.

$$\Phi = \frac{\rho(\text{sólidos}) - \rho(\text{global})}{\rho(sólidos) - \rho(fluidos)} \quad (1)$$

La permeabilidad (k) se midió en los mismos bloques usados para la densidad global, usando un permeámetro TinyPerm 3 (New England Research), obteniéndose entre una y tres medidas por cada cara (según su heterogeneidad), totalizando entre cinco y siete medidas por muestra. Dada la alta resolución espacial del permeámetro, se procuró obtener el número de medidas adecuado para reflejar lo mejor posible la heterogeneidad textural de cada muestra.

RESULTADOS

Las muestras representan en su mayoría dolomías mesocristalinas compactas, beiges-grises, con presencia local de fantasmas de rudistas (MAE-9), estilolitos (MAE-3), vacuolas y venas de dolomita. Normalmente, las dolomías preservan relictos de texturas clásticas previas a la dolomitización, probablemente heredadas de protolitos calcareníticos. Tres de las muestras son relativamente friables y pueden describirse como dolomías sacaroideas (MAE-11, CAR-1X, CAR-1Y), dos de las cuales contienen abundantes fragmentos carbonosos (CAR). Varias muestras contienen fracturas abiertas y vacuolas de origen incierto, en ambos casos normalmente tapizadas por cementos de dolomita y muy localmente de calcita. La muestra MAE-10 es singular, ya que contiene abundantes cementos de dolomita barroca rellenando fracturas irregulares y vacuolas. Las muestras CLZ representan calizas bioclásticas (calcarenitas) muy compactas con escasa porosidad visible. Los datos petrofísicos obtenidos están detallados en la tabla 1.

	ρ global (g/cm³)	ρ sólidos (g/cm³)	Φ (%)	K (mD)	N	sigma
CLZ-1	2.693 ± 0.001	2.709 ± 0.004	0.6	0.39	5	0.01
CLZ-2	2.650 ± 0.001	2.699 ± 0.004	1.8	0.57	5	0.11
MAE-3	2.773 ± 0.001	2.855 ± 0.004	2.9	0.46	5	0.05
MAE-4	2.814 ± 0.001	2.892 ± 0.004	2.7	0.50	5	0.13
SRA-6	2.817 ± 0.001	2.864 ± 0.004	1.6	0.65	6	0.43
MAE-7	2.768 ± 0.001	2.857 ± 0.004	3.1	0.38	5	2.46
MAE-9	2.670 ± 0.001	2.843 ± 0.004	6.1	0.36	5	3.24
MAE-10	2.811 ± 0.001	2.875 ± 0.004	2.2	0.6	6	0.1
MAE-11	2.622 ± 0.001	2.837 ± 0.004	7.6	127	6	167
MAE-12	2.753 ± 0.001	2.880 ± 0.004	4.4	0.40	7	0.05
CAR-1X	2.516 ± 0.001	2.828 ± 0.004	10.7	177	6	215
CAR-1Y	2.440 ± 0.001	2.817 ± 0.004	13.7	198	7	371

Tabla 1. *Resultados de las propiedades petrofísicas en la Fm Reocín.*

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las densidades de sólidos medidas (Tabla 1) indican que, en la mayor parte de los casos, las muestras representan litologías puras, próximas a los valores teóricos de dolomías y calizas puras (2.84 g/cm³ y 2.71 g/cm³, respectivamente). Sin embargo, en la mayor parte de las dolomías, las densidades de sólidos son ligeramente superiores al valor teórico de la dolomita. Aunque la presencia de otros minerales más densos que la dolomita (sulfuros, barita…) es posible dado el contexto geológico (MVT), la inspección de superficies pulidas con lupa no revela su presencia, al menos aparentemente. Por tanto, es probable que las relativamente altas densidades de sólidos medidas en las dolomías se deban a la naturaleza ferrosa de parte de la dolomita (Bustillo *et al.*, 1992; Rossi *et al.,* 2010), lo que deberá confirmarse mediante estudios mineralógicos y petrográficos adicionales (actualmente en curso).

En general, los rangos de valores y la relación porosidad-permeabilidad de las muestras estudiadas son comparables a los de los carbonatos arrecifales (Tiab y Donaldson, 2003). En las muestras de la Fm Reocín, porosidad y permeabilidad presentan un alto grado de correlación, tanto a escala de todas las muestras (R^2=0.8231) como sólo para las dolomías (R^2=0.8026) (Fig. 2). En ambos casos, los coeficientes de determinación son significativos con una confianza mayor del 99%. En el caso de las dolomías, el alto grado de correlación porosidad-permeabilidad sugiere que la variación de permeabilidad está controlada esencialmente por variaciones en la abundancia, tamaño y distribución de la porosidad intercristalina. Aparentemente, las fracturas y vacuolas no contribuyen de forma decisiva a explicar la variación de permeabilidad, como sugiere que, en general, las medidas realizadas en vacuolas y fracturas no difieren significativamente de las realizadas en otras zonas de la misma cara dentro de un mismo bloque (MAE-3, MAE-4, MAE-9), mientras que ciertas zonas de distinta coloración sí presentar ligeras variaciones (SRA-6, MAE-7, MAE-11). No obstante, comprender la heterogeneidad de la permeabilidad en las muestras

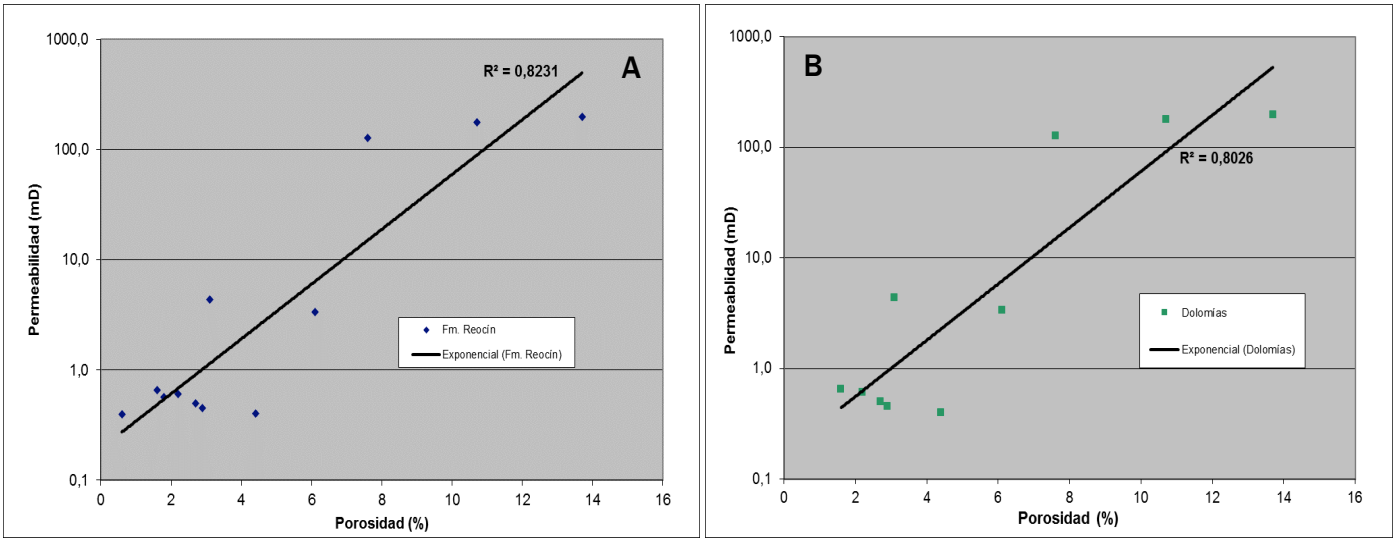

***fig. 2**. Relación Porosidad-Permeabilidad en la Fm Reocín para todas las muestras (A) y sólo para las dolomías (B).*

estudiadas requiere probablemente un análisis más profundo del que se muestra aquí.

Los valores máximos tanto de porosidad como de permeabilidad corresponden a las dolomías sacaroideas con carbón de la parte superior de la Fm Reocín (muestras CAR-1X y CAR-1Y). Estas muestras presentan características comparables a las de una roca granular, representando probablemente un acuífero de flujo difuso cuya extensión está por determinar y evaluar.

REFERENCIAS

Bustillo, M., Fort, R., and Ordónez, S., (1992): Genetic implications of trace-element distributions in carbonate and non-carbonate phases of limestones and dolostones from western Cantabria, Spain: Chemical Geology, ***97****, 273–283, doi:10.1016/0009-2541(92)90081-F.*

García, G., Palero, F.J., Rabadán, J., Medrosa, M., (2007) :La Florida. Bocamina, ***20****, 14–79.*

López Cilla, I., Rosales, I., Najarro, M., Martín Chivelet, J., Velasco, F., & Tornos, F. (2009): Etapas de formación de dolomías masivas del entorno de La Florida-El Soplao, Cantabria. Geogaceta, ***49:*** *65-68.*

Tiab, D., & Donaldson, E. C. (2003): Petrophysics: theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties. Gulf professional publishing.

Tornos F, Velasco F. (2011): Un yacimiento mineral muy especial. En: El Soplao: una ventana a la ciencia subterránea. Gobierno de Cantabria, 54–68.

Rossi, C., Lozano, R.P. Isanta, N. and Hellstrom J. (2010): Manganese stromatolites in caves: El Soplao (Cantabria, Spain). Geology ***38****, 1119-1122.*

Rossi, C., Villalaín, J.J., Lozano, R.P. and Hellstrom, J. (2016): Paleo-watertable definition using cave ferromanganese stromatolites and associated cave-wall notches (Sierra de Arnero, Spain). Geomorphology, ***261****, 57–75.*