

Caracterización del sistema poroso de calizas y dolomías

Por F. JAVIER ALONSO, R. M.^a ESBERT y J. ORDAZ (*)

RESUMEN

Se han seleccionado ocho tipos rocosos carbonatados, bien diferenciados petrográficamente —calizas micríticas, calizas cristalinas y dolomías cristalinas—, analizándose las características de su estructura porosa. Previamente se revisan algunos conceptos básicos y metodológicos.

Se ha efectuado la observación directa de los poros a distintos niveles. La porosidad y las curvas de distribución de tamaños de poro han sido obtenidas mediante técnicas de inyección de mercurio.

A partir de las observaciones y medidas realizadas se caracteriza el sistema poroso para cada uno de los distintos tipos rocosos estudiados, analizándose la dependencia con sus características petrográficas, en particular con la mineralogía y grado de cristalinidad.

ABSTRACT

Eight types of carbonate rocks which correspond to well defined petrographic varieties —micritic limestones, crystalline limestone and crystalline dolomites— have been selected, and the characteristics of their pore structure studied. Some basic and methodological concepts were previously revised.

Pores were directly observed at different levels. Porosity and pore-size distribution have been determined by means of mercury intrusion techniques.

As a result of the observations and measuring assessed, the pore-system for each of the different rock types studied have been characterized; and the dependency regarding their petrographic characteristics —particularly those connected with their mineralogy and degree of crystallinity— have been analysed.

INTRODUCCION

Los espacios vacíos —poros y fisuras de las rocas— constituyen frecuentemente los «componentes» más significativos, desde el punto de vista de su comportamiento físico-químico. Así, es conocida su influencia en las propiedades físicas (dureza, resistencia), químicas (adsorción, disolución, ...) y, en particular, en los procesos de alteración (MONTOTO, 1983; ESBERT y ORDAZ, 1985).

Además de la proporción de poros y fisuras, importan sus características en cuanto a tamaño, forma, orientación, etc., si bien el hecho de su compleja interconexión hace que dichas características no sean en muchos casos fáciles de establecer.

Las rocas carbonatadas, de acuerdo con la gran variedad de procesos implicados en su génesis, así como su predisposición a los cambios postdeposicionales (disoluciones, cementaciones, neomorfismos), presentan un sistema poroso con una estructura especialmente variable y compleja (CHOQUETTE y PRAY, 1970).

En este trabajo se revisan, en primer lugar, algunos conceptos referentes a las características geométricas y genéticas del sistema poroso de este tipo de rocas, incluyendo las técnicas utilizadas en la determinación de sus principales parámetros. Dichos conocimientos son aplicados en los distintos tipos rocosos seleccionados, elaborándose un modelo para su sistema poroso, que es interpretado en función de sus características petrográficas.

(*) Area de Petrología, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

SISTEMA POROSO: CONCEPTOS Y METODOS DE ESTUDIO

Características geométricas

El tamaño es sin duda un parámetro importante, pero difícil de tratar, dada la continuidad del sistema poroso, su carácter tridimensional y las irregularidades de sus formas. De acuerdo con la morfología presentada, es de mayor o menor interés la distinción entre el tamaño de los poros y el de sus accesos.

Respecto al tamaño de los poros, CHOQUETTE y PRAY —siguiendo la escala de Wentworth— distinguen: megaporos (tamaños mayores de 4 mm.), mesoporos (entre 4 mm. y 60 μm) y microporos (inferiores a 60 μm). PITTMAN (1971) rebaja el tamaño de los microporos hasta 1 μm . En este trabajo, y por razones prácticas, se ha distinguido entre macroporos y microporos, situándose su límite en 10 μm ; de esta manera es mayor la correspondencia entre el tamaño de los poros y el de sus accesos, permitiendo además la cuantificación de los macroporos por microscopía óptica.

El tamaño de los accesos a los poros es obtenido por métodos indirectos, distinguiéndose —de acuerdo con la técnica de inyección de Hg— entre: macroaccesos (radio superior a 7,5 μm) y microaccesos (entre 7,5 y 0,0035 μm). El volumen de poros con radios de acceso superiores a 7,5 μm es denominado «macroporosidad», y el accesible por debajo de dicho valor constituye la «microporosidad». Es de destacar que la macroporosidad está formada por los macroporos y sus macroaccesos, mientras la microporosidad incluye —además de los microporos— aquellos macroporos comunicados por microaccesos.

En las rocas carbonatadas, la forma de los espacios vacíos se caracteriza por ser muy irregular y variada. Atendiendo a formas regulares extremas se puede distinguir entre: poros (tendencia esférica), conductos (tendencia cilíndrica) y fisuras (tendencia planar). Normalmente los «poros» están formados por ensanchamientos locales del sistema poroso, constituyendo las otras dos clases los «accesos» a los poros. Además, pueden distinguirse dos tipos de porosidad: la porosidad debida mayoritariamente a «poros» y la debida mayoritariamente a «fisuras»; esta última frecuente en rocas cristalinas

En calizas de bajo grado de cristalinidad, diver-

sos autores —HOUPERT et al., 1978; BOUSQUIE, 1979— han señalado la ausencia de redes de fisuración a escala de roca matriz. Este hecho es corroborado en las rocas estudiadas, tanto de las observaciones directas, como a partir de las medidas de velocidad de propagación de ondas elásticas (ALONSO y SUÁREZ DEL RÍO, 1985).

En cuanto al grado de conexión o conectividad entre los poros, suelen considerarse dos tipos de poros y de porosidad:

- 1) Cerrada, no comunicada.
- 2) Abierta, comunicada, accesible o efectiva.

No obstante, el hecho de que exista comunicación entre los poros guarda relación con el tipo de fluido considerado y las condiciones en que se encuentre. En la práctica, dicha diferenciación está referida —mientras no se diga lo contrario— a su accesibilidad al agua bajo vacío. Las calizas y en general las rocas sedimentarias, presentan la mayor parte de sus poros comunicados; este tipo de porosidad es normalmente la de mayor interés, ya que permite el movimiento de fluidos en el seno de la roca.

Los ensayos de inyección de Hg en las rocas permiten una nueva diferenciación dentro del volumen poroso accesible:

- 1) Porosidad atrapada y, complementariamente.
- 2) Porosidad libre o circulante.

La primera está constituida por aquellos espacios vacíos donde el mercurio queda retenido después de efectuada la primera inyección. La porosidad libre se caracteriza por permitir la entrada y salida del mercurio en inyecciones posteriores. Esta retención del Hg por la roca es atribuida a la geometría de su sistema poroso, y en particular a la existencia de poros angostos —con fuertes estrangulamientos en sus accesos—. No obstante, la retención de Hg es un hecho bastante general e importante en los diferentes tipos rocosos, ligada a más de una geometría del sistema poroso (GREGG y SING, 1982), y en donde intervienen otros muchos factores (MOSCOU y LUB, 1981).

Aspectos genéticos

De acuerdo con los trabajos de CHOQUETTE y PRAY (1970) y ELF-AQUITAINE (1975), pueden señalarse distintos tipos de poros dentro de las rocas estudiadas. Así, se tiene:

* *Poros móldicos*: Generados por disolución selectiva de componentes (normalmente fósiles). Suelen ser macroporos cuyo tamaño y forma viene dado por los del componente sustituido.

* *Poros «vug»*: De origen diagenético tardío, son generados por disolución de la roca sin relación con sus elementos texturales. Normalmente presentan grandes tamaños (mm.). Estos poros pueden aparecer más o menos tapizados por esparita, denominándose entonces microgeodas para diferenciarlos de los poros microkársticos y canalillos que no la presentan.

* *Poros intercristalinos*: Propios de los procesos de dolomitización, en donde la formación de una fase mineral más densa supone un importante incremento de porosidad. Sus formas son intersticiales —secciones con forma de estrella— con accesos más o menos planares.

* *Poros intracristalinos*: Característicos de las rocas cristalinas y abundantes en las dolomías secundarias. Su tamaño es mucho más pequeño y suelen estar peor comunicados.

* *Poros matriciales*: Asociados a la micrita y, por tanto, propios de las rocas micríticas, son poros intercristalinos a nivel de cristales de tamaño micrita. El tamaño de los poros es muy pequeño y las formas más planares —modelo de red en nido de abeja (BOUSQUIE, 1979).

Parámetros físicos

Además de las características señaladas, esencialmente descriptivas, pueden ser cuantificados otros parámetros relativos a la porosidad y porometría de las rocas.

La *porosidad* es la relación entre el volumen de los espacios vacíos y el correspondiente volumen de roca, expresándose normalmente en tanto por ciento. Se trata de una propiedad física elemental —ligada a la densidad de la roca—, en la que pueden distinguirse diferentes conceptos, de acuerdo con el tipo de espacios vacíos considerado: porosidad total, abierta, atrapada, etc.

La *porometría* se refiere a la distribución de dicha porosidad en función del tamaño de los poros (o de sus accesos), expresándose con frecuencia gráficamente —en forma de curvas acumuladas—. Debe tenerse en cuenta que estos tamaños, obtenidos normalmente por métodos indirectos, se

encuentran más o menos ligados a la técnica empleada para su determinación.

Técnicas de estudio

El estudio llevado a cabo incluye la observación directa de los poros, y la cuantificación de parámetros relativos a la porosidad y porometría de las rocas. En la figura 1 se muestra la metodología seguida, así como las técnicas utilizadas en este trabajo. Un estudio más general —relativo a la caracterización de la estructura porosa— puede verse en HAYNES (1973).

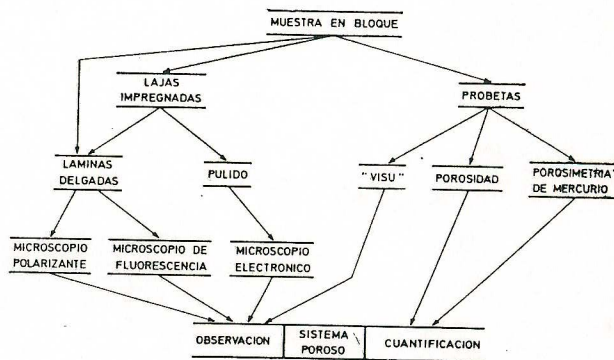


Figura 1.—Metodología seguida en la caracterización del sistema poroso.

La *observación directa* de los poros se ha efectuado a distintos niveles (lupa binocular, microscopía óptica, de fluorescencia y electrónica de barrido) y sobre muestras preparadas de diferentes maneras (láminas delgadas, impregnadas con resinas fluorescentes y pulidas). El análisis realizado incluye su localización textural, junto a sus características geométricas y genéticas, así como la cuantificación de los macroporos.

Las determinaciones de *porosidad* (ALONSO, 1986) han sido realizadas teniendo en cuenta las normas ISRM (1979), RILEM (1980) y los trabajos de BELIKOV et al. (1967). Los ensayos se han efectuado sobre muestras cilíndricas (D:35, L:65 mm.), considerando los siguientes parámetros:

* «Porosidad total» (n), obtenida como relación de ambas densidades (densidad de la roca seca y densidad de los granos minerales).

* «Porosidad abierta» (n_0), obtenida por introducción de líquido en los espacios vacíos. Se ha determinado tanto la porosidad accesible al agua —por el método de la pesada hidrostática—, como la accesible al mercurio —método de inyección de Hg.

* «Grado de comunicación» o de relleno de los poros (S), definido como la relación entre ambas porosidades, se expresa en tanto por ciento.

La *porometría* —distribución del volumen poroso en función del radio de acceso de los poros— ha sido obtenida mediante técnicas de inyección de Hg en la roca (ORDAZ y ALONSO, 1983). El ensayo se ha realizado con un porosímetro Carlo-Erba (Serie 200), sobre muestras cilíndricas (D:11, L:20 mm.), explorándose el rango de poros comprendidas entre 75 y 0,0035 μm . Los ensayos porométricos efectuados constan de dos inyecciones consecutivas, lo que permite determinar la porosidad atrapada y su distribución de tamaños. Los resultados se expresan de forma integral, tal como se muestra en la figura 2.

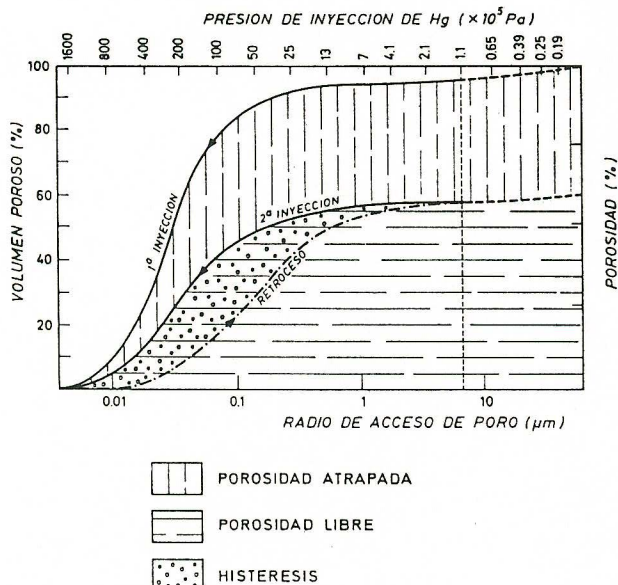


Figura 2.—Curva porométrica tipo, donde se muestra la distribución de la porosidad en función del radio de acceso a los poros.

ROCAS ESTUDIADAS: PETROGRAFIA

Han sido seleccionados cuatro tipos rocosos de naturaleza carbonatada, diferentes en cuanto a

edad y petrografía; así como dos variedades dentro de cada tipo (tabla I), en relación con pequeñas diferencias en composición, textura o porosidad.

TABLA I
Rocas estudiadas

<i>Caliza del Páramo</i> (Valladolid). Variedades: P-1, P-2. Canteras de Campaspero. Mioceno Superior.
<i>Caliza de Montaña</i> (Asturias). Variedades: M-1, M-2. Canteras próximas a Oviedo. Carbonífero.
<i>Dolomía de Boñar</i> (León). Variedades: B-1, B-2. Canteras de Boñar. Cretácico Superior.
<i>Caliza de Laspra</i> (Oviedo). Variedades: L-1, L-2. Zona de Buenavista. Eoceno-Oligoceno.

Las características petrográficas analizadas atienden a los rasgos deposicionales de las rocas (FOLK, 1962; DUNHAM, 1962) y, sobre todo, a los cristalinios, dado que éstos son los de mayor interés en relación con la configuración del sistema poroso.

Para cada tipo rocoso se indican en primer lugar, las características «de visu» más relevantes. La mineralogía engloba los resultados de los distintos análisis realizados: residuo insoluble, estudio de láminas delgadas teñidas y difracción de Rayos X. La textura se ha obtenido a partir de observaciones en microscopía óptica de polarización y electrónica de barrido; en este último caso se han analizado superficies de fractura, así como otras atacadas por ácido CIH diluido.

Seguidamente se señalan dichas características, así como las diferencias existentes entre ambas variedades.

Caliza del Páramo

Roca de color blanquecino algo grisáceo; aspecto masivo criptocristalino, ligeramente moteado por la presencia de algunos granos —peloides—, poros y núcleos cristalinios.

Mineralogía

El componente mayoritario es la calcita. Presenta un residuo insoluble alrededor del 6,5 por 100 (7,1 en la variedad P-1 y 5,7 en P-2) principalmente de naturaleza arcillosa, con algo de cuarzo; dentro de la fracción arcillosa es mayoritaria la paligorskita.

Textura

Es una micrita grumelar —micrita más o menos fosilífera a intraesparita de gravels— (fig. 3). El tamaño de los cristales de micrita es relativamente pequeño ($2\ \mu\text{m}$); presenta alrededor de un 30 por 100 de microesparita con disposición intersticial, así como esparita en núcleos cristalinos y restos fósiles. Esta distribución de tamaños confiere a la roca cierto aspecto microdrusiforme.

Las diferencias más acusadas entre las dos variedades estudiadas son las relativas a su contenido en núcleos cristalinos y a la presencia de macroporos, a su vez inversamente relacionadas entre sí. La variedad P-1 presenta un 7 por 100 de esparita, mientras P-2 sólo un 2 por 100.

Caliza de Montaña

Roca de color gris oscuro; aspecto masivo fina-

namente cristalino, mostrando de forma difusa un bandeo homogéneo (variedad M-1), o cierto aspecto brechoide salpicado de manchas amarillentas de dolomita (M-2).

Mineralogía

El componente mayoritario es la calcita, la variedad M-2 presenta algo de dolomita (5 por 100). Su residuo insoluble es muy pequeño (0,7 por 100) y de naturaleza bituminosa.

Textura

Es cristalina granoblástica poligonal, de grano fino —tamaño medio de los cristales $30\ \mu\text{m}$ —, relativamente equigranular y alotriomórfica (fig. 4). El aspecto bandeado o brechoide guarda relación con ligeras variaciones en el tamaño de los cris-

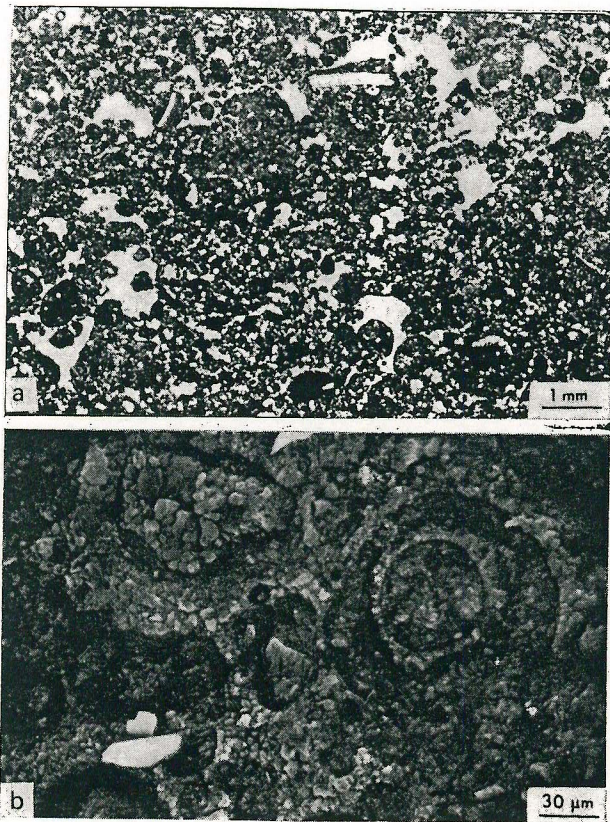


Figura 3.— Caliza del Páramo, variedad P-1. *a*) Aspecto de la textura en una zona intraesparítica (N. P.). *b*) Pueden observarse las variaciones en el tamaño de los cristales, a las que se debe la textura grumelar (M. E. B., superficie atacada por CIH).

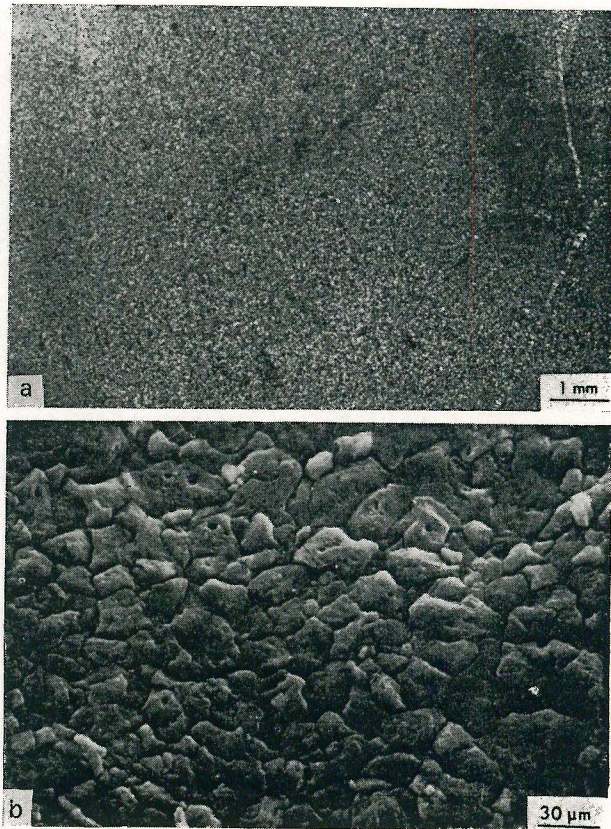


Figura 4.— Caliza de Montaña, variedad M-1. *a*) Roca con textura cristalina muy homogénea (N. P.). *b*) Aspecto que presentan los cristales de calcita, grabados por ácido (M. E. B., superficie atacada por CIH).

tales. La dolomita se presenta en cristales euhedrales aislados, o asociados en núcleos cristalinos.

Las diferencias más importantes entre las dos variedades estudiadas son la mayor homogeneidad textural que posee M-1 y, sobre todo, la presencia de dolomita en M-2.

Dolomía de Boñar

Roca de color ocre claro, difusamente moteada, con tonos amarillentos a rojizos; aspecto masivo microcristalino, que se superpone a otro más difuso de tipo granudo muy homogéneo en la variedad B-1 y algo brechoide en B-2.

Mineralogía

Constituida esencialmente por dolomita, presenta también algo de calcita —más abundante y mejor repartida en la variedad B-1 (12 por 100 en B-1 y 6 por 100 en B-2)—. Su residuo insoluble se sitúa alrededor del 4 por 100, siendo mayoritariamente de naturaleza arcillosa.

Textura

Es cristalina, granoblástica, de grano fino (tamaño medio de los cristales 20 μm), equigranular, idiomórfica o subidiomórfica. Subyacente muestra una textura relicta granuda de tipo clástico, bien calibrada, especialmente en la variedad B-1 (fig. 5). El tamaño medio de los granos es 0,5 mm., mostrando en posiciones intersticiales calcita o bien macroporos.

Las diferencias más importantes entre las dos variedades consideradas son las relativas a su contenido en calcita y a su homogeneidad textural.

Caliza de Laspra

Roca de color blanquecino, más o menos grisáceo; aspecto masivo criptocristalino, débilmente salpicado por algún granillo de esparita o cuarzo. La variedad L-1, de color más oscuro, es ligeramente más cristalina.

Mineralogía

Constituida esencialmente por calcita ferrosa. El contenido en terrígenos difiere en las dos variedades consideradas (2 por 100 en L-1 y 7 por 100 en L-2), siendo fundamentalmente de natura-

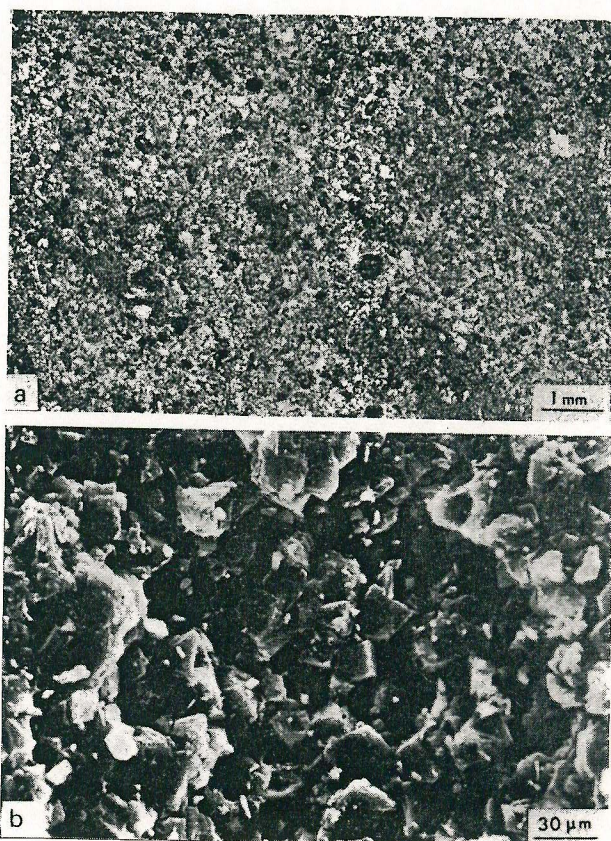


Figura 5.—Dolomía de Boñar, variedad B-1. a) Puede apreciarse la textura granuda relicta, generada por pequeñas variaciones en el tamaño de los cristales (N. P.). b) Cristales euhedrales de dolomita con abundante porosidad intercrystalina (M. E. B.)

leza arcillosa, si bien se observan algunos granos de cuarzo, chert y ópalo. La fracción arcillosa está constituida mayoritariamente por esmectita.

Textura

Es una micrita fosilífera, mostrando distinto grado de recrystalización las dos variedades consideradas. En L-1 predominan los cristales de 10 μm —microesparita—, mientras en L-2 lo hace la micrita, con cristales de tamaño inferior a 2 μm (fig. 6).

Las diferencias entre las dos variedades son notables, destacando las referentes al grado de cristalinidad y contenido en arcillas, a su vez inversamente relacionadas entre sí.



Figura 6.—Caliza de Laspra, variedad L-2. a) Micrita fosilífera removilizada, se observa algún grano de cuarzo y esparita (N. P.). b) Aspecto de los cristales de micrita, grabados por ácido (M. E. B., superficie atacada por CIH).

ANÁLISIS DEL SISTEMA POROSO

Caliza del Páramo

Las dos variedades seleccionadas presentan similares tipos de poros, si bien en proporciones distintas y en consecuencia poseen distinta porosidad.

En cuanto a su observación directa, destacan ya a simple vista poros móldicos —de formas elongadas y tamaños alrededor de 1 mm.— y poros «vug» —desde microgeodas a microkarsts y canalillos— de mayor tamaño (5 mm.). La variedad P-1 presenta microgeodas en baja proporción, mientras que en P-2 abundan más los poros móldicos y los canalillos de disolución. En microscopía de polarización continúan observándose poros de esas dos clases en ambas variedades, siendo su tamaño más frecuente 150 μm . Se ha realizado un conteaje

de los macroporos —poros superiores a 10 μm —, encontrándose notables diferencias entre ambas variedades; así, en P-1 dichos poros se sitúan alrededor del 1 por 100 y en P-2 del 5 por 100.

De acuerdo con los valores de porosidad total (tabla II), el volumen poroso más relevante es el correspondiente a los microporos. Estos son poros matriciales, localizados en las zonas micríticas —que son las mayoritarias en este tipo rocoso—, mientras la esparita nunca presenta este tipo de poros. Consecuencia de este hecho son las diferencias en el grado de pulimento (fig. 7) y, en especial, la incapacidad que presenta la micrita para el pulido.

En la tabla II se muestran los valores medios de porosidad; las diferencias observadas entre ambos métodos son atribuidas mayoritariamente a la heterogeneidad de las rocas estudiadas. Teniendo en cuenta los porcentajes previamente indicados de macroporos, se deduce que ambas variedades presentan similar proporción de microporos; en consecuencia, sus diferencias de porosidad son debidas fundamentalmente a los macroporos.

La distribución de tamaños de acceso de poro —obtenida mediante técnicas de inyección de mercurio en la roca— se muestra en la figura 8, resumiéndose en la tabla III los principales parámetros determinados mediante dicho ensayo.

Es de destacar el pequeño radio de acceso de poro y su baja dispersión —similar al presentado

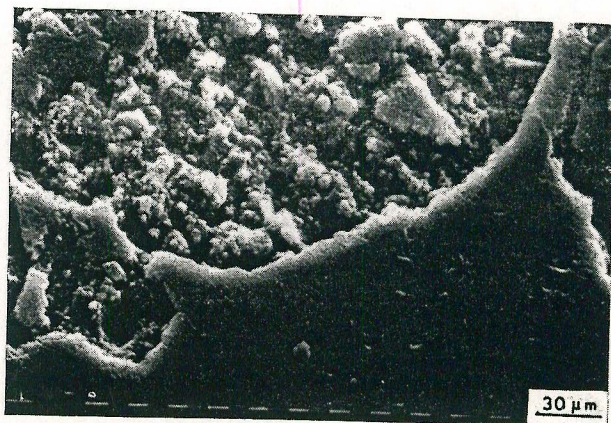


Figura 7.—Caliza del Páramo, variedad P-1, muestra pulida. Diferencias entre las zonas micríticas y las esparíticas, puestas de manifiesto por su grado de pulimento (M. E. B. $\times 320$).

TABLA II
Porosidad obtenida por el método hidrostático
(M. H.) y por inyección de mercurio (M. Hg)

Muestra	Porosidad	Total	Porosidad	Abierta	G. de Comunic.	
	M. H. %	M. Hg. %	M. H. %	M. Hg. %	M. H. %	M. Hg. %
P-1	9,9	9,8	9,0	8,3	91	85
P-2	13,2	16,2	12,5	14,6	95	90
M-1	0,40	—	0,25	—	63	—
M-2	0,81	—	0,52	—	64	—
B-1	14,1	12,3	13,6	11,8	96	96
B-2	15,0	15,0	14,6	13,0	97	87
L-1	1,6	1,5	1,3	1,0	84	67
L-2	6,8	7,8	6,4	6,2	94	79

TABLA III
Parámetros porométricos obtenidos por
inyección de mercurio

Muestra	Micro- porosidad %	Porosidad atrapada %	Radio Acc. Porosidad um
P-1	96	59	0,013
P-2	90	60	0,037
M-2	—	—	0,7
B-1	95	80	0,30
B-2	73	75	1,8
L-1	100	85	0,0095
L-2	97	61	0,018

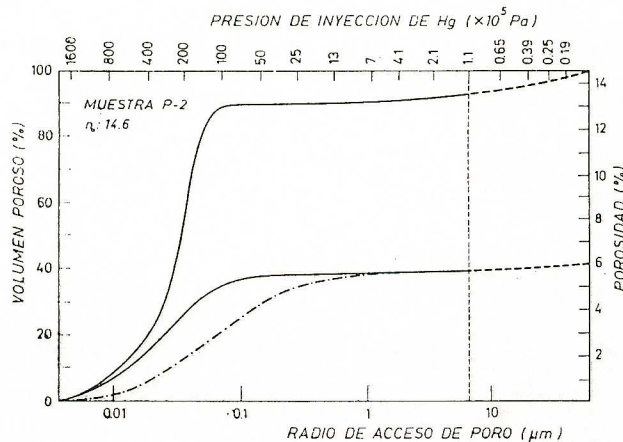
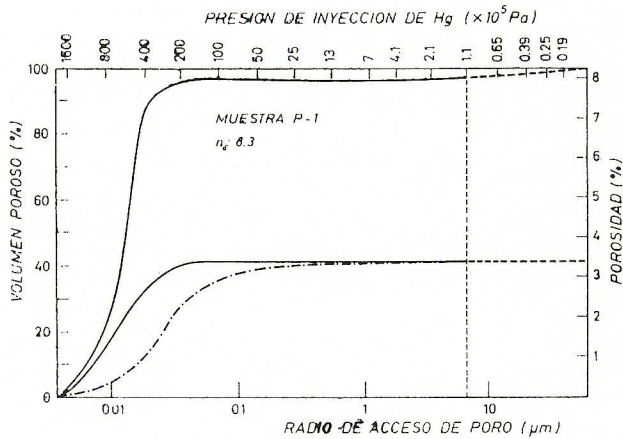


Figura 8.—Curvas porométricas correspondientes a las dos variedades de Caliza del Páramo.

por otras calizas micríticas (ESBERT et al., 1982)—, así como el elevado porcentaje de microporosidad. De este último dato se deduce que los macroporos están mayoritariamente comunicados por micro-accesos, especialmente en la variedad P-2. Finalmente puede señalarse que, de las dos variedades consideradas, la de menor porosidad presenta tamaño de acceso de poro ligeramente menor.

Caliza de Montaña

Roca de muy baja porosidad, observándose tan sólo algunos poros en microscopía electrónica de barrido y microscopía de fluorescencia. A escala de roca matriz no se observa fisuración; no obstante, por métodos indirectos han podido ser detectadas incipientes fisuras.

En la variedad M-1, de muy baja porosidad, ésta es debida fundamentalmente a microfisuras y microporos de tipo intracristalino. La variedad M-2 muestra poros inter a intracristalinos de mayor tamaño, asociados a la dolomita; dichos poros aparecen en los contactos calcita-dolomita y en el interior de los cristales de dolomita siguiendo direcciones cristalográficas (fig. 9).

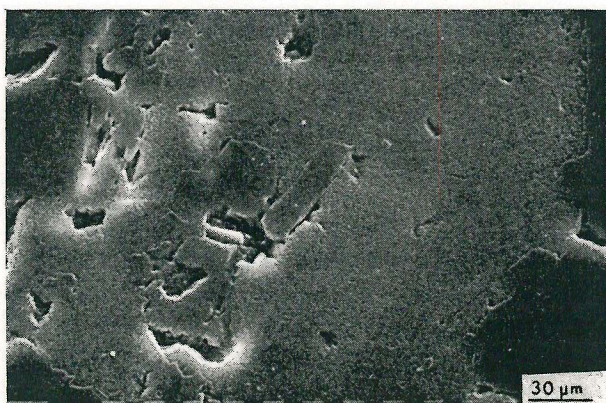


Figura 9.—Caliza de Montaña, variedad M-2, muestra pulida. Porosidad localizada en el interior y sobre todo en los bordes de los cristales de dolomita (M. E. B. $\times 320$).

La porosidad —dada su baja magnitud— sólo ha podido ser obtenida por el método de la pesada hidrostática (tabla II), mereciendo además estos valores menor confianza que los determinados en los restantes tipos rocosos. A pesar de ello, es de señalar el bajo grado de comunicación entre sus poros.

La distribución de tamaños de acceso de poro, obtenida también con mayores márgenes de error se muestra en la figura 10. Puede observarse cómo el radio medio resultante es relativamente elevado (tabla III) —comparable al presentado por la Dolomía de Boñar—, siendo también elevada la dispersión de tamaños.

Dolomía de Boñar

Esta roca muestra una porosidad mucho más importante, próxima en ambas variedades, si bien con ciertas diferencias en cuanto a la configuración de su sistema poroso.

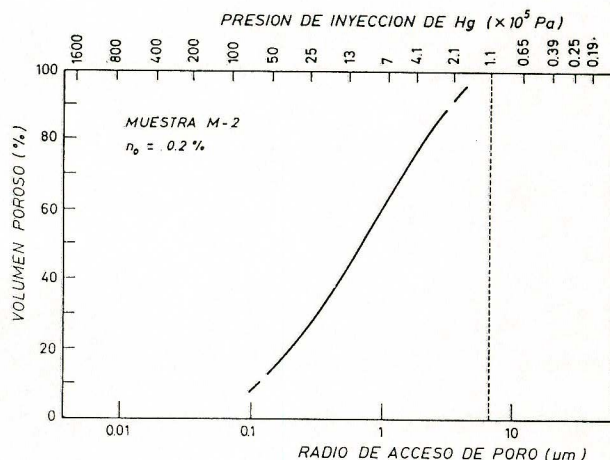


Figura 10.—Curva porométrica de la variedad M-2 correspondiente a Caliza de Montaña.

En la variedad B-1 los poros de mayor tamaño aparecen localizados en posiciones intersticiales respecto a la textura granuda relictas —poros intergranulares—, y su valor puede situarse alrededor de 60 μm . En B-2 destacan grandes poros de origen móldico, con tamaños alrededor de 0,5 mm. y formas que van de equidimensionales a elongadas, observándose asimismo poros intergranulares similares a los anteriores. Es de destacar la diferencia entre ambas variedades respecto al porcentaje de macroporos, situándose éste alrededor del 2 por 100 en L-1 y del 6 por 100 en L-2.

De acuerdo con su porosidad total (tabla II), nuevamente se deduce que el volumen poroso más relevante es el constituido por los microporos. Esta porosidad es debida mayoritariamente a poros intercristalinos e intracristalinos, asociados a la dolomita; destacando su heterometría y sus formas en estrella (fig. 11), así como la ausencia de poros en los cristales de calcita espática. Asimismo, cabe resaltar el elevado grado de comunicación entre los poros, en relación sin duda con el mayor tamaño que presentan sus accesos.

Respecto a la distribución de tamaños —figura 12, tabla III— destaca el elevado radio de acceso de poro y, sobre todo, su elevada dispersión; ambos hechos son más acusados en la variedad B-2. Finalmente es de señalar el mayor porcentaje de porosidad atrapada que posee este tipo rocoso.



Figura 11.—Dolomía de Boñar, variedad B-2, muestra pulida. Aspecto de los grandes poros intercristalinos y de otros más pequeños intracristalinos, asociados a la dolomita (M. E. B. ×320).

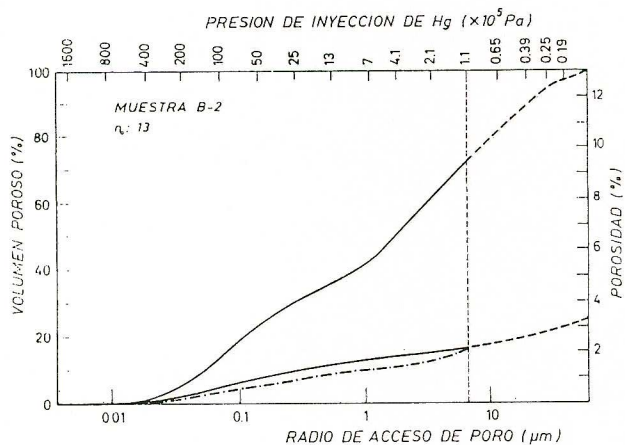
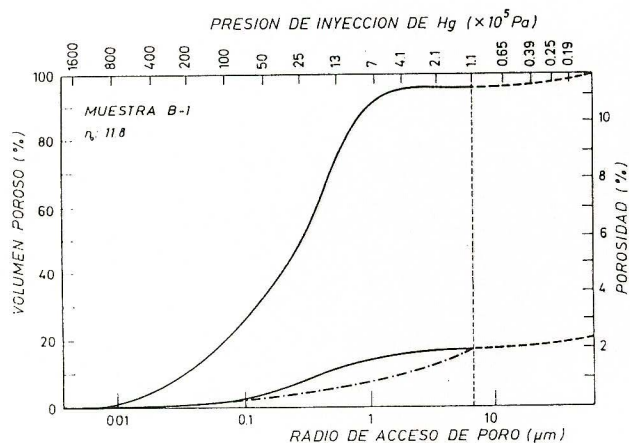


Figura 12.—Curvas porométricas correspondientes a las dos variedades de Dolomía de Boñar.

Caliza de Laspra

Las dos variedades seleccionadas presentan porosidades muy diferentes, siendo en general más difíciles de observar los espacios vacíos, consecuencia de la ausencia de macroporos y del pequeño tamaño de los microporos.

La variedad L-1 muestra pequeñas superficies de discontinuidad de formas ondulantes y tendencia estilolítica, ricas en material arcilloso fácilmente deleznable. Bajo microscopía electrónica de barrido la porosidad es localizada en las zonas micríticas —poros matriciales—, guardando por tanto relación con el porcentaje de micrita en la roca. La variedad micrítica (L-2) presenta exclusivamente porosidad matricial, homogéneamente repartida por toda la roca (fig. 13), observándose también la ausencia de poros en los núcleos de esparita.

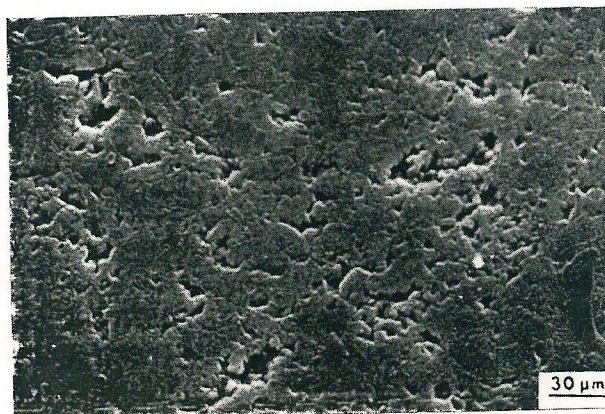


Figura 13.—Caliza de Laspra, variedad L-1, muestra pulida. Puede observarse el bajo grado de pulimento, en relación con la porosidad matricial que presenta la micrita.

En cuanto a los valores de porosidad —tabla II— son de destacar las diferencias existentes entre las dos variedades consideradas: micrítica y cristalina, relativas tanto a la porosidad como al grado de comunicación entre los poros. Los resultados obtenidos en este sentido son concordantes con los de los tipos rocosos previamente analizados.

La distribución de tamaños —fig. 14, tabla III— muestra radios de acceso de poro sumamente pequeños y muy baja dispersión. Ambos hechos son más acusados en la variedad cristalina L-1, donde es posible la existencia de porosidad con tamaños por debajo del rango explorado.

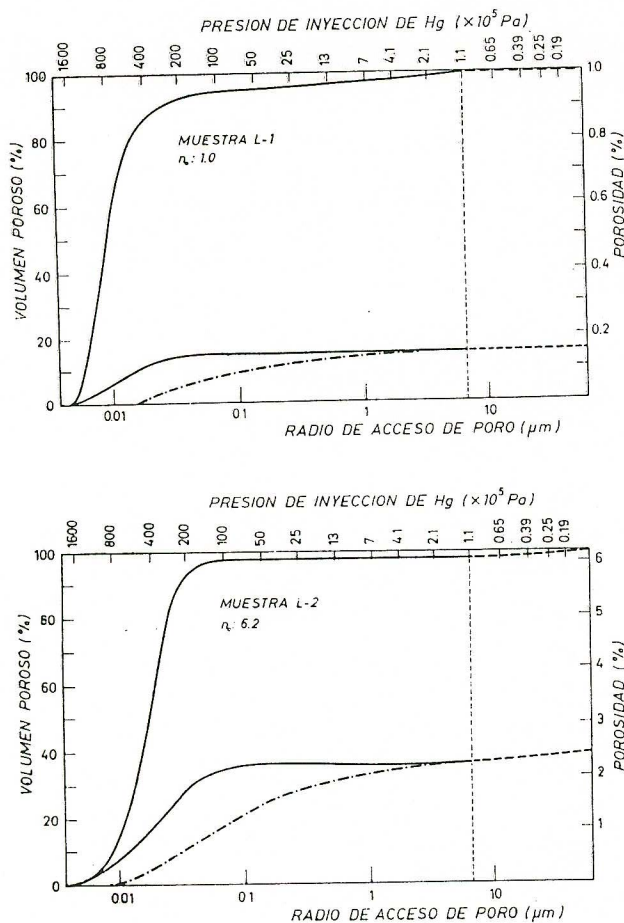


Figura 14.—Curvas pométricas correspondientes a las dos variedades de Caliza de Laspra.

CONCLUSIONES

De las observaciones y medidas realizadas pueden extraerse las siguientes conclusiones:

A) Características relativas al sistema poroso de los tipos rocosos analizados.

— La Caliza del Páramo presenta macroporos y microporos, dando acceso los microporos ($r \approx 0.015 \mu\text{m}$) a los macroporos ($r \approx 500 \mu\text{m}$). Su grado de interconectividad es elevado (90 por 100).

— La Caliza de Montaña muestra, en baja proporción (0,5 por 100 en total), microporos e incipientes microfisuras, con menor grado de interconectividad entre sí (60 por 100).

— La Dolomía de Boñar presenta una gradación más continua entre el tamaño de los poros y de

sus accesos (de 0,1 a 10 μm). El grado de conexión entre los poros es muy elevado (96 por 100).

— La Caliza de Laspra posee exclusivamente microporos con pequeños tamaños de acceso ($r \approx 0.014 \mu\text{m}$), los cuales están bien comunicados (90 por 100).

B) Correlaciones entre características petrográficas y sistema poroso.

— Las calizas cristalinas estudiadas presentan muy baja porosidad —inferior al 1 por 100—, atribuible a microporos y microfisuras con un grado de interconectividad de alrededor del 60 por 100.

- Al aumentar el grado de cristalinidad de la roca —dentro del estrecho rango considerado— tiende a disminuir la porosidad, así como el grado de conexión entre los poros.

- La presencia de cristales de dolomita tiende a incrementar la porosidad, con aparición de poros intercristalinos e intracristalinos.

— Las calizas micríticas estudiadas poseen una porosidad de alrededor del 10 por 100, generada por poros de tamaño muy pequeño y uniforme ($r \approx 0,015 \mu\text{m}$) y bien comunicados (grado de conexión del 90 por 100). Dichos poros son de tipo matricial, asociados a la micrita.

- Se observa una disminución drástica de porosidad (del 10 al 1 por 100, en nuestro caso) cuando la calcita supera el tamaño micrita (4 μm).

- Cabe señalar el contacto neto entre las zonas porosas micríticas y las no porosas, presentando éstas microesparita o esparita.

- La existencia de macroporos ($r \approx 500 \mu\text{m}$) en estas rocas conlleva un incremento de porosidad, pero apenas afecta al tamaño de acceso a los poros.

- Al variar la naturaleza de los minerales de la fracción arcillosa (p. ej., paligorskita, esmectita), no se observan grandes diferencias en cuanto a la distribución de tamaños de poros.

— Las dolomías cristalinas estudiadas presentan una porosidad más elevada que las rocas anteriores —alrededor del 15 por 100—, siendo ésta debida a poros de amplia gradación de tamaños (de 0,1 a 10 μm). Dichos poros son de tipo intercristalino e intracristalino, con muy buena interconectividad entre ellos (alrededor del 96 por 100).

AGRADECIMIENTOS

A la comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (Proyectos n. 4446/79 y 2573/83) y a la Fundación Ramón Areces (Proyecto: «Evaluación del estado de alteración y alterabilidad de los materiales rocosos de las Catedrales de León y Sevilla»).

BIBLIOGRAFIA

- ALONSO, F. J., y SUÁREZ DEL RÍO, L. M.: *Velocidad de propagación de ondas en rocas carbonatadas*. Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo, 15, pp. 315-324 (1985).
- ALONSO, F. J.: *Caracterización petrofísica y alterabilidad de calizas y dolomías*. Tesis Doctoral, Dpto. Petrología, Fac. de Geología, Univ. de Oviedo, 309 pp. (1986).
- BELIKOV, B. P.; ZALESSKII, B. V.; ROZANOV, Y. A.; SANINA, E. A., y TIMCHENKO, I. P.: *Methods of studying the physicommechanical properties of rocks*. Physical and mechanical properties of rocks, B. V. Zaleskii (Ed.), Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, pp. 1-58 (1967).
- BOUSQUIE, P.: *Texture et porosité de roches calcaires*. Tesis, Univ. Pierre et Marie Curie, París VI, 191 pp. (1979).
- CHOQUETTE, P. W., y PRAY, L. C.: *Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates*. Am. Ass. of Pet. Geol. Bull., 54 (2), pp. 207-250 (1970).
- DUMHAM, R. J.: *Classification of carbonate rocks according to depositional texture*. Classification of Carbonate Rocks, W. E. Ham (Ed.), Symp. Am. Ass. Pet. Geol., 1, pp. 108-121 (1962).
- ELF-AQUITAINE: *Essai de caractérisation sédimentologique des Dépôts Carbonatés*. 1) *Eléments d'analyse*. Centres de Recherches de Boussens et de Pau, 172 pp. (1975).
- ESBERT, R. M.; MARCOS, R. M., y ALONSO, F. J.: *La deterioración de las piedras de la Catedral de Oviedo*. 1.ª parte: *Petrografía y porosidad, características intrínsecas determinantes de la deterioración de sus rocas carbonatadas*. Materiales de Construcción, 185, Instituto Eduardo Torroja, Madrid, pp. 61-71 (1982).
- ESBERT, R. M., y ORDAZ, J.: *Alteración y alterabilidad de las piedras de construcción: Criterios petrofísicos y ensayos de laboratorio*. I Congreso de Patología en la Edificación, C. O. A. C., Barcelona, 15 pp. (1985).
- FOLK, R. L.: *Spectral subdivision of limestone types*. Classification of Carbonate Rocks, W. E. Ham (Ed.), Symp. Am. Ass. Pet. Geol., 1, pp. 62-84 (1962).
- GREGG, S. J., y SING, K. S. W.: *Adsorption, surface area and porosity*. Academic Press, London, 300 pp. (1982).
- HAYNES, J. M.: *Determination of pore properties of constructional and other materials. General introduction and classification of methods*. Matériaux et Constructions, Bull. RILEM, 6 (33), pp. 169-174 (1973).
- HOUPERT, R.; KOROMI, N., y TISOT, J. P.: *Structure, propriétés physiques et comportement mécanique des roches calcaires*. Proc. III Cong. Assoc. Int. Geol. Ing., Secc. II, Madrid, pp. 191-199 (1978).
- I. S. R. M.: *Suggested methods for determining: Water content, porosity, density, absorption and related properties. Swelling and slake-durability index properties*. Int. J. Rock Mech. and Min. Sci., 16 (2), pp. 143-156 (1979).
- MONTOTO, M.: *Petrophysics: The petrographic interpretation of the physical properties of rocks*. Proc. 5th Cong. Int. Soc. Rock Mechanics, Sec. B, Melbourne (Australia), pp. 93-98 (1983).
- MOSCOU, L., y LUB, S.: *Practical use of mercury porosity in the study of porous solids*. Powder Technology, 29 (1), p. 45-52 (1981).
- ORDAZ, J., y ALONSO, F. J.: *Características del sistema poroso de la arenisca de Villamayor (Salamanca)*. Trabajos de Geología, Univ. de Oviedo, 13, pp. 83-92 (1983).
- PITTMAN, E. D.: *Microporosity in carbonate rocks*. Am. Ass. Pet. Geol. Bull., 55 (10), pp. 1873-1881 (1971).
- R. I. L. E. M.: *Essais recommandés pour mesurer l'altération des pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement*. Matériaux et Constructions, Bull. RILEM, 13 (75), pp. 216-220 (1980).

Recibido: Febrero 1987.