

La deterioración de las piedras de la Catedral de Oviedo

1.º Parte: Petrografía y porosidad características intrínsecas determinantes de la deterioración de sus rocas carbonatadas

Dra. ROSA M.ª ESBERT, ROSA MARCOS y JAVIER ALONSO
Departamento de Petrología. Facultad de Geología. Universidad de Oviedo

RESUMEN

En esta primera parte del trabajo, se analizan los parámetros petrográficos y las propiedades físicas que condicionan la alteración de los materiales pétreos de la Catedral de Oviedo, poniendo especial énfasis en la caracterización de la porosidad, propiedad clave en el control y desarrollo de los fenómenos y formas de alteración superficial.

SUMMARY

The petrographic parameters and the physical properties controlling the alteration of the monumental stones of the Cathedral of Oviedo (Spain) are analyzed in this first paper. A special emphasis is placed on the characterization of the porosity, on account of the role this plays in the development of the forms and phenomena of superficial alteration.

INTRODUCCION

El presente estudio se centra en el análisis de los materiales pétreos utilizados en las construcciones y reconstrucciones de las edificaciones góticas de la Catedral de San Salvador de Oviedo, que comprenden: la Sala Capitular, el Claustro y la Iglesia. El período de construcción va de 1229 a 1551, a partir de entonces se suceden una serie de reconstrucciones que llegan hasta nuestros días.

Se describen y cuantifican aquellos factores propios de los materiales, que condicionan los procesos de deterioración, como constataremos en la II Parte del trabajo.

El objetivo práctico es el de proporcionar una base científica de utilidad para futuros trabajos de conservación o restauración, permitiendo establecer criterios racionales sobre la idoneidad del tratamiento a emplear.

ANALISIS PETROGRAFICO

El análisis petrográfico está encaminado a hacer resaltar todos aquellos aspectos mineralógicos y texturales que juegan un papel fundamental en la deterioración de las rocas monumentales objeto de estudio. Las variedades rocosas empleadas en la Catedral se conocen con los nombres de Laspra, Piedramuelle y Tiñana. En la Tabla I se relacionan: su ubicación en el monumento, fechas y períodos de utilización de las mismas, así como el volumen aproximado, que cada una de ellas representa frente al total de la obra (Caso 1981).

TABLA I

DENOMINACION MATERIAL	UBICACION EN MONUMENTO	PERIODO DE UTILIZACION	VOLUMEN EN LA CATEDRAL
LASPRA	Sala Capitular	S XIII	55 %
	N y W Claustro	1.º mitad S XIV	
	S y E Claustro	2.º mitad S XIV	
	Capilla Mayor	Principios S XV	
	N Crucero	Mediados S XV	
	S Crucero	3.º cuarto S XV	
	Nave Central, laterales y capillas	4.º cuarto S XV	
	Interior pórtico	1.º cuarto S XVI	
	Interior 1.º piso torre	1.º cuarto S XVI	
PIEDRAMUELLE	Exterior crucero	2.º-3.º cuarto S XV	42 %
	Exterior naves	4.º cuarto S XV	
	Exterior pórtico	1.º cuarto S XVI	
	Base pilares naves	4.º cuarto S XV	
	Exterior 1.º y 2.º pisos torre	2.ª década S XVI	
	Flecha	Finales S XVI	
	Rosetón (S) Crucero	1943	
TINANA	Rosetón nave central	1943	3 %
	Balaustrada sobre pórtico central		
	Balaustradas ventana fachada a la plaza 1.º y 2.º piso de la torre y sillares		
	Parte escalera caracol		
	Gran parte de la flecha y balaustrada		
	Algún que otro sillar diseminado por el monumento		

Piedra de Laspra

LOCALIZACION: "Cristo de las Cadenas". Oviedo. (Asturias).

EDAD: Terciario (Paleógeno).

MAPA GEOLOGICO: I.G.M.E. E.1:50.000, hoja n.º 28 (12-4) Grado. Hoja n.º 29 (13-4) Oviedo.

Es una roca de color blanco, aspecto uniforme, grano muy fino que tizna los dedos con facilidad y desprende material al menor contacto. Es muy porosa, con poros de pequenísimos tamaño y fisurillas, éstas cicatrizadas a veces por material recristalizado. En el conjunto destacan algunas zonas con brillo más intenso que corresponden a núcleos de recristalización y manchas amarillentas de óxidos de hierro diseminadas por toda la masa.

A nivel microscópico vemos que se trata de una roca micrítica (tamaño inferior a 4 µm.) en la que destacan esporádicamente algunos granos de cuarzo de tamaño variable, entre 22 y 100 µm., a veces con tendencia subidiomórfica. Foto 1.

En la masa micrítica que es de naturaleza dolomítica, alternan zonas más claras de dolomita con otras oscuras de dolomita y filosilicatos (3) en las que el tamaño de grano alcanza su menor valor.

Los espacios vacíos son abundantes, dominando los microporos (radio menor de 7,5 μm .) sobre los macroporos (radio mayor de 7,5 μm .) y microfisuras, prácticamente inexistentes. Foto 2.

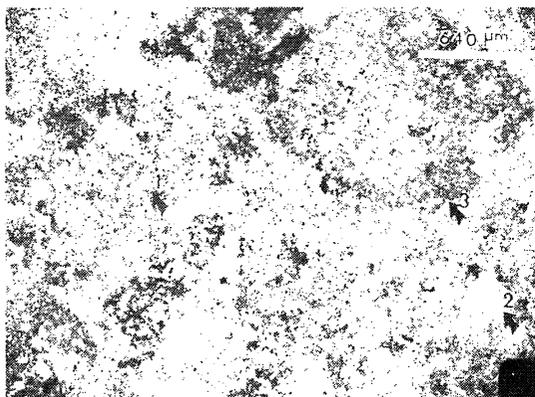


Foto 1.—Aspecto general de la textura de la roca. Entre la masa micrítica destacan los granos de cuarzo (1) y los espacios vacíos (2). NPX28.

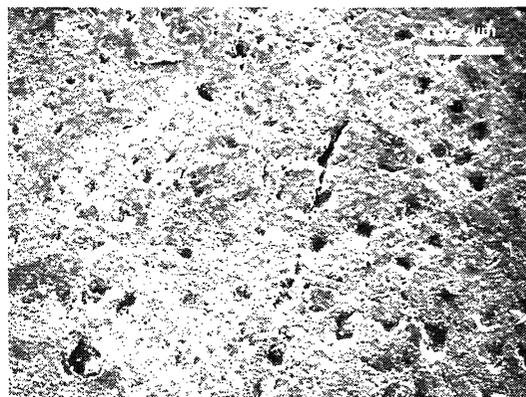


Foto 2.—Detalle de la tupida red de poros que presenta la masa rocosa. SEM.

Alrededor de los poros y de los cristales de cuarzo el tamaño de grano de la matriz crece discretamente, aunque no supera nunca las 4 μm . Los minerales que la integran presentan una marcada tendencia idiomórfica tal como observamos en la Foto 3.

En algunos casos se aprecian formas de organismos rellenos de cemento “blocky” o de la misma masa micrítica que los rodea.

En materiales procedentes de las partes más antiguas del monumento y estudiadas en este trabajo (por ejemplo el claustro —primera mitad del siglo XIV—) el porcentaje de restos fósiles aumenta, pero resulta imposible su identificación.

Realizando el análisis semi-cuantitativo y de identificación de los constituyentes por difracción se ha obtenido:

COMPOSICION MINERALOGICA

Porcentajes	Dolomita	Cuarzo	Filosilicatos
%	90	5	5

Clasificación petrográfica: Dolomía.

Caracterización textural:

Granos	Cuarzo	No poroso	5 %
Fase aglomerante	Matriz micrítica	Microporosa ($\phi/2 < \text{de } 7,5 \mu\text{m}$)	95 %

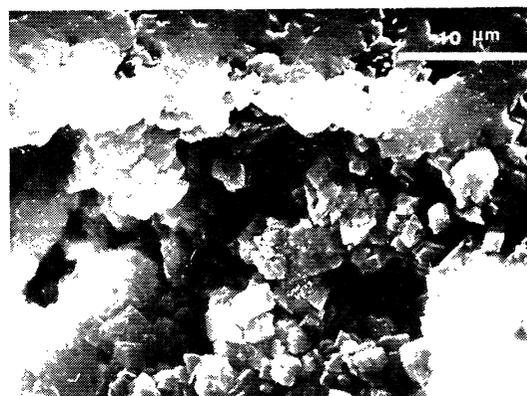


Foto 3.—Aspecto de uno de los múltiples poros presentes en la roca tapizados por cristales idiomórficos de dolomita. SEM.

Piedra de Piedramuelle

LOCALIZACION: Sta. Marina de Piedramuelle. Oviedo. (Asturias).

EDAD: Cretácico Superior.

MAPA GEOLOGICO: I.G.M.E. E.1:50.000, hoja n.º 28 (12-4) GRADO.

Roca de aspecto "areniscoso", color amarillento, pálido unas veces, más oscuro otras. Grano grueso, aumentando el tamaño medio del mismo de la variedad clara a la oscura. Frecuentes vetas de calcita atraviesan la masa rocosa. Dentro de cada una de las tonalidades descritas hay partes claras, casi blancas, de material sacaroideo y pulverulento, que tizna los dedos, y partes más oscuras de aspecto cristalino integradas por cristales de calcita. Aparecen pequeños puntos negros y manchas rojizas de óxidos de hierro diseminados por toda la roca. La roca es muy porosa, los poros son de mayor tamaño que en la dolomía de Laspra, presentando también abundantes cavidades.

De su observación microscópica se desprende que es una caliza bioclástica constituida por restos orgánicos de difícil identificación. Los granos están inmersos en un cemento espartítico, se reconocen algunos filosilicatos, feldespatos, granos de opacos y cristales de cuarzo con un tamaño medio alrededor de 176 μm ., la mayoría con bordes redondeados, alguno idiomórfico. Foto 4.

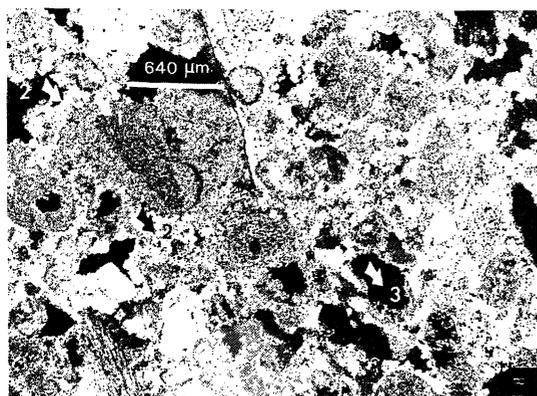


Foto 4.—Micrografía de la textura de la roca. Se distinguen los bioclastos (1) y el cemento que los soporta (2) así como algún filosilicato y multitud de espacios vacíos (3). NCX28.

Es una roca muy porosa, con macroporos (radio superior a 7,5 μm .), microporos y microfisuras. Foto 5.

Estos macroporos suelen hallarse tapizados por calcita perfectamente cristalizada. Foto 6.

En el conjunto de la roca se observan zonas en las que los opacos se han limonitizado y han teñido los bordes de granos, clastos y el límite de los poros.

En el análisis semi-cuantitativo y de identificación de los constituyentes por difracción se ha obtenido:

Composición mineralógica

Porcentajes	Calcita	Cuarzo	Feldespatos	Filosilicatos
%	85	5	5	5

Clasificación petrográfica: Caliza bioclástica.

Caracterización textural:

Granos	Calcita Cuarzo Feldespatos	Microporosa ($\varnothing/2 < 0,6 \mu\text{m.}$)	70 %
Fase aglomerante	Cemento Esparítico Sintaxial	Macroporoso ($\varnothing/2 > 7,5 \mu\text{m.}$) Microporoso ($\varnothing/2 < 7,5 \mu\text{m.}$)	30 %

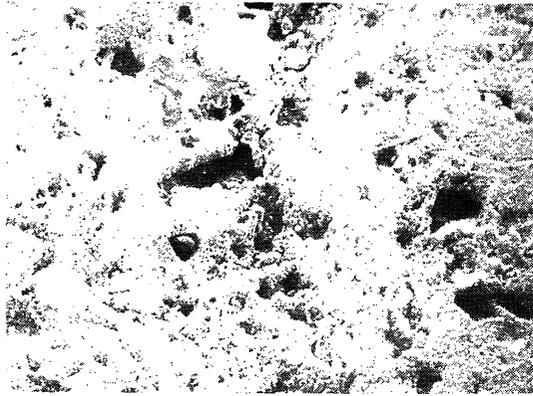


Foto 5.—Detalle de un fragmento de roca, en el que se aprecian perfectamente los macroporos ($\varnothing/2 > 7,5 \mu\text{m.}$). SEM.

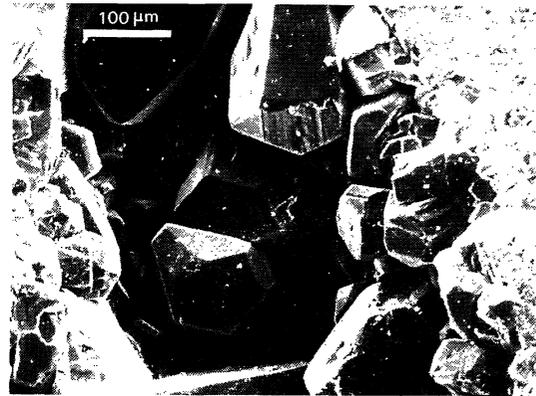


Foto 6.—Micrografía de un macroporo tapizado por cristales de calcita. SEM.

Piedra de Tiñana

LOCALIZACION: Barrio de La Fozana. Tiñana. Siero. (Asturias).

EDAD: Cretácico superior.

MAPA GEOLOGICO: I.G.M.E. E.1:50.000, hoja n.º 29 (13-4) Oviedo.

Es una roca de aspecto “areniscoso” como en el caso de Piedramuelle, de grano medio y uniforme y de color amarillo marronáceo intenso; el color es idéntico a la variedad más oscura de Piedramuelle. Muy porosa y a veces con cavidades.

En los poros se observa material más fino de color ocre, pulverulento, teñido probablemente por óxidos de hierro. Salpican la masa rocosa cristalitas de calcita incoloros o amarillentos y multitud de puntos negros correspondientes a minerales opacos.

La roca es en su conjunto, como ya se ha mencionado, muy parecida a la variedad oscura de Piedramuelle, de la que difiere sólo en el tamaño del grano, que en este caso es menor.

Observada a nivel microscópico vemos que se trata de una caliza bioclástica. Los clastos están constituidos por restos orgánicos, difíciles de identificar y están insertos en cemento esparítico (tamaño medio de grano superior a $10 \mu\text{m.}$), o rodeados por anillos sintaxiales. Hay cristales de cuarzo subidiomórficos y de forma irregular, con tamaño medio comprendido entre 18 y $200 \mu\text{m.}$, algunos filosilicatos y numerosos poros. Fotos 7 y 8.

Los macroporos y cavidades suelen estar tapizados interiormente por cristales de calcita. Foto 9.

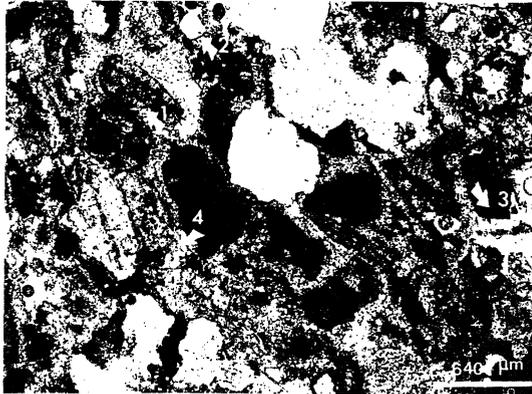


Foto 7.—Aspecto microscópico de la textura del material. Se distinguen: biocastos (1), granos de cuarzo (2), abundantes poros (3) y cemento esparítico (4). NCX28.

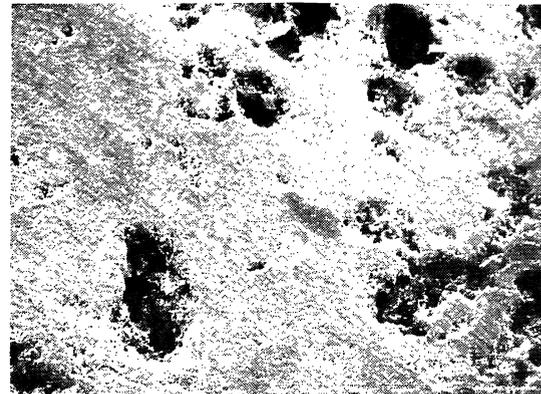


Foto 8.—Fragmento rocoso de la piedra de Tifiana en el que se observa la presencia de algunos macroporos (diámetro medio mayor de 7,5 μm) distribuidos por toda la masa. SEM.



Foto 9.—Detalle de una cavidad tapizada por calcita idiomórfica. SEM.

En el análisis semi-cuantitativo y de identificación de los constituyentes por difracción se ha obtenido:

Composición mineralógica

Porcentajes %	Calcita	Cuarzo	Filosilicatos
	90	7	3

Clasificación petrográfica: Caliza.

Caracterización textural:

Granos	Calcita Cuarzo Filosilicatos	Microporosa ($\varnothing/2 < 0,6 \mu\text{m}.$) No poroso	70 %
Fase aglomerante	Cemento Esparítico Sintaxial	Macroporoso ($\varnothing/2 > 7,5 \mu\text{m}.$) Microporoso ($\varnothing/2 < 7,5 \mu\text{m}.$)	30 %

**DETERMINACION DE PROPIEDADES FISICAS:
CARACTERIZACION DE LA POROSIDAD**

El cálculo de las propiedades físicas en rocas sedimentarias conlleva una serie de problemas que no presentan otros tipos de rocas y que están referidos tanto a la preparación de la muestra, como a las variaciones que en algunas de sus características intrínsecas (composición, textura, porosidad, etc.) pueden presentar dentro de un mismo tipo rocoso

(Bousquie 1979). Dichas variaciones, en algunas propiedades medrables, por ejemplo en la porosidad, pueden oscilar del 1 al 20 % (Farmer 1968), sin excluir valores mayores como los medidos en algunas de nuestras rocas, que llegan a ser del 30,4 %.

En este trabajo se han determinado aquellas propiedades físicas que están relacionadas con el paso de fluidos por el seno de las rocas y que por tanto están directamente implicadas en los procesos de alteración de las mismas. (Esbert et al 1981).

A continuación, en la tabla II aparecen las distintas propiedades físicas calculadas así como los valores de las mismas obtenidos según las normas de la I.S.R.M. (1979).

TABLA II

Muestra	Densidad roca ρ_d g/cm ³	Densidad granos ρ_s g/cm ³	Porosidad abierta n, %	Porosidad total n, %	Indice vacíos Iv %	Grado saturación Sr %
LASPRA (pórtico) 1.º cuarto s. XVI	1,94	2,79	29	30,4	10,6	95,4
LASPRA (claustro) 1.ª mitad s. XIV	2,08	2,69	21,7	22,6	7,6	96
PIEDRAMUELLE (torre), clara finales s. XVI	2,05	2,51	18,3	18,4	6,15	99,4
PIEDRAMUELLE (torre), oscura finales s. XVI	2,17	2,45	8,82	11,42	2,8	77,1
TIÑANA (torre) 1946	2,15	2,52	14,14	14,5	3,44	97,5

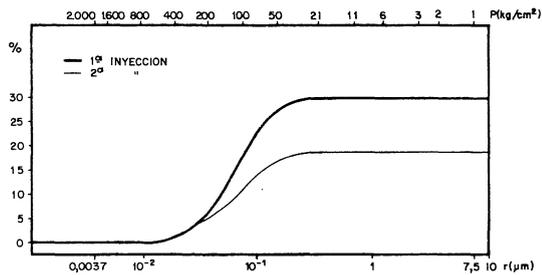
Para una mejor interpretación de la porosidad, se han efectuado en las tres variedades rocosas, Laspra, Piedramuelle y Tiñana, ensayos de porosimetría por inyección de mercurio. Es un método indirecto de análisis muy útil en varios campos de la investigación; concretamente en el nuestro, nos ayuda a la mejor correlación entre la petrofísica de los materiales y su alteración-alterabilidad.

Cada uno de los ensayos se ha llevado a cabo haciendo una doble inyección de mercurio para poder diferenciar, dentro de la porosidad accesible, la porosidad "atrapada", es decir, aquella que corresponde a poros con difícil acceso (entrada en cuello de botella, etc.) (Pellerin 1980).

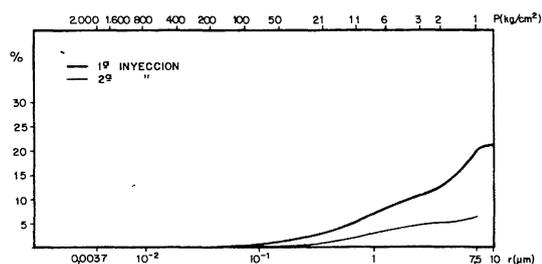
La figura 1 (a, b y c) muestra la relación entre el porcentaje de porosidad accesible y el radio de entrada de los poros, obtenidos a partir de las presiones aplicadas.

Las tres gráficas están referidas a microporosidades, es decir, dentro de la porosidad accesible, aquella correspondiente a poros con diámetro de entrada inferior a 7,5 μ m. De ellas deducimos, de forma inmediata, un comportamiento bien diferenciado entre la dolomía de Laspra frente a las rocas calizas de Piedramuelle y Tiñana. Los valores correspondientes de microporosidad accesible son: 30 % la dolomía de Laspra, 20 % la caliza de Piedramuelle y 12,5 % la piedra de Tiñana.

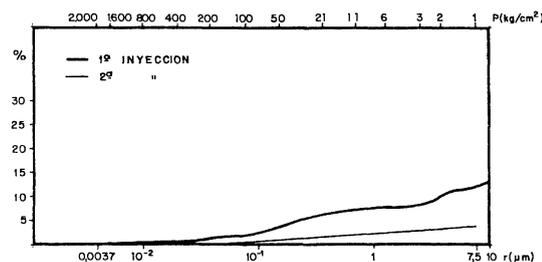
Con los datos obtenidos de las curvas anteriores se han elaborado histogramas en los que puede apreciarse qué porcentaje de poros corresponde a cada rango establecido de radio de entrada, frente al total de la microporosidad, figura 2 (a, b y c).



a) Piedra de Laspra.

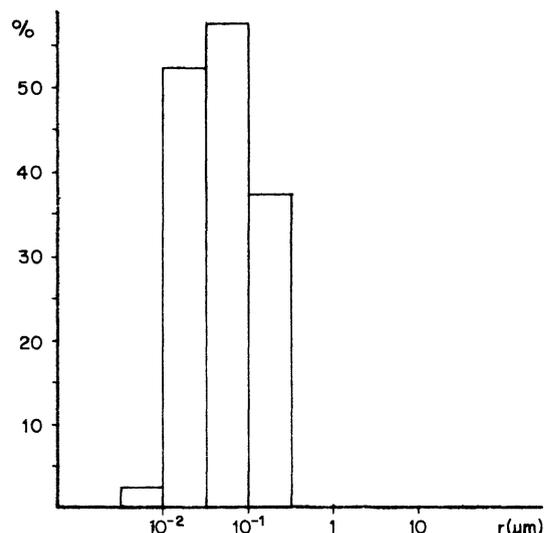


b) Piedra de Piedramuelle.

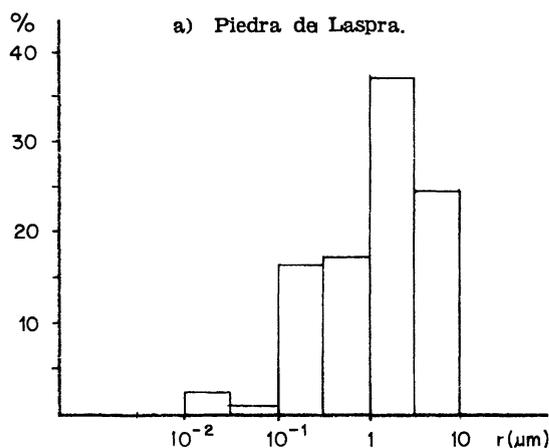


c) Piedra de Tiñana.

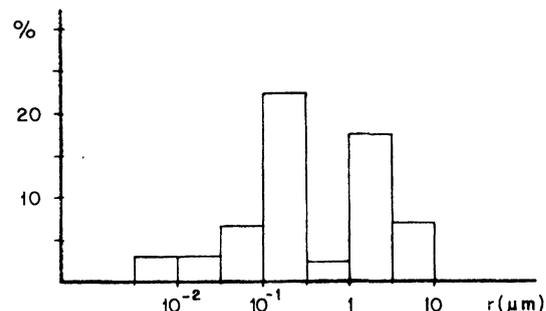
Fig. 1 (a, b y c). Relación entre el porcentaje de porosidad accesible y el radio de entrada de los poros. En la abscisa superior aparecen reseñadas las presiones aplicadas.



a) Piedra de Laspra.



b) Piedra de Piedramuelle.



c) Piedra de Tiñana.

Fig. 2 (a, b y c) Distribución estadística de la porosidad entre los diferentes radios de entrada de los microporos.

De la observación de los histogramas se deduce a su vez que en la dolomía de Laspra los responsables de la microporosidad son microporos con radios de entrada comprendidos entre $0,005 \mu\text{m}$ y $0,3 \mu\text{m}$, situándose el tamaño medio alrededor de $0,08 \mu\text{m}$; en la caliza de Piedramuelle la microporosidad es atribuible a microporos con radio de entrada comprendidos entre $0,1$ y $7,5 \mu\text{m}$ siendo su tamaño medio de aproximadamente $1,7 \mu\text{m}$; y en la caliza de Tiñana se distribuye la microporosidad entre poros con radios que oscilan entre las $0,02 \mu\text{m}$ y las $7,5 \mu\text{m}$, su tamaño medio oscila alrededor de $0,3 \mu\text{m}$.

En todos los ensayos los microporos de la piedra de Laspra son de pequeñísimo tamaño, manteniéndose dentro de un rango de variabilidad muy limitado. En el caso de Piedramuelle el rango es más amplio y en la piedra de Tiñana lo es más aún. Además Piedramuelle y Tiñana tienen un elevado porcentaje de microporos con radios de entrada mayores que en la piedra de Laspra.

Se han determinado igualmente los valores de macroporosidad accesible al mercurio para los tres tipos de rocas. Los resultados han sido: piedra de Laspra, 0,6 %, Piedramuelle, 2,7 % y Tiñana, 2 %. La roca con mayor macroporosidad es la caliza de Piedramuelle; Tiñana tiene una macroporosidad que es aproximadamente unos dos tercios de la anterior, Laspra la cuarta parte.

INTERPRETACION PETROFISICA

Calculadas las propiedades físicas de los materiales se interpretan éstas bajo un punto de vista petrofísico, es decir, se examinan los valores obtenidos para las diferentes propiedades medidas y con ellos se resaltan o relacionan aquellas características de las rocas, responsables de los mismos (Montoto, M. 1983, en prensa).

La densidad de la roca es muy similar en todos los materiales estudiados, oscilando alrededor de 2 g/cm³.

Los valores obtenidos para la densidad de los granos minerales (ρ_s), son en todos los casos superiores a los respectivos de la densidad de la roca (ρ_d); esto resulta lógico si se tiene en cuenta la elevada porosidad de los materiales. Sin embargo están siempre dentro de los límites teóricos calculados empíricamente a partir de los constituyentes minerales, para esta clase de rocas.

La porosidad total (n_t) tiene siempre valores elevados, aunque con grandes fluctuaciones para las diferentes variedades rocosas. La roca con una porosidad total más elevada es la de Laspra; puede llegar hasta un 30,4 %; Piedramuelle y Tiñana tienen valores más bajos, de algo más de la mitad.

El cálculo de la porosidad abierta (n) ha dado asimismo valores altos y muy próximos a los correspondientes de porosidad total, por lo que podemos afirmar que en todas estas rocas, la mayoría de los poros están comunicados.

Este hecho se constata también por las medidas obtenidas en el cálculo del grado de saturación (S_r).

En todos los casos, los valores de porosidad abierta son debidos fundamentalmente a la presencia de microporos (radio de entrada menor de 7,5 μm), como se ha podido constatar en el ensayo por inyección de mercurio. En este sentido, Laspra, Piedramuelle y Tiñana tienen una microporosidad que varía de un máximo de 30 % para la primera hasta un mínimo de 12,5 % para la última; Piedramuelle tiene una microporosidad del orden del 20 por ciento. Puede verse entonces que la roca de Laspra tiene una microporosidad que es más del doble que la de Tiñana.

Esto resulta explicable si se tienen en cuenta las características petrográficas del material: Laspra es una dolomía micrítica, texturalmente isótropa; la microporosidad afecta por igual a toda la masa rocosa y es muy difícil que se localice preferentemente; sin embargo, en la caliza de Piedramuelle aumenta el tamaño de grano y hay una anisotropía textural marcada por granos minerales y el cemento que los une, lo que facilita la existencia de macroporos, por esto su medida es algo mayor que en el caso de Laspra. En

cuanto al cemento está muy recristalizado, lo que es compatible con la gran abundancia de microporos, causantes de la elevada microporosidad. Esta es sin embargo menor que la de la piedra de Laspra.

De todo lo anterior se deduce que, aparte de los constituyentes minerales, el comportamiento de las rocas está muy condicionado por los espacios vacíos (Franklin 1974), y en especial en nuestro caso donde vamos a referir este comportamiento a la alteración.

En cuanto a la piedra de Tiñana, las conclusiones que podemos extraer al comparar sus características petrográficas con las propiedades físicas, son en todo momento concordantes con los resultados a que llegamos al comparar Piedramuelle y Laspra. La roca de Tiñana es petrográficamente semejante a la de Piedramuelle, de la que difiere sólo en su tamaño de grano, que en el de la primera es menor. A su vez, Tiñana, es la roca con una microporosidad más baja de las tres variedades, aun siendo su valor alto, y con una macroporosidad intermedia entre la de Laspra y la de Piedramuelle: la menor macroporosidad respecto a Piedramuelle se explicaría por la disminución del tamaño de grano, y la menor microporosidad por la recristalización del cemento como argüíamos para Piedramuelle.

Finalmente recordaremos que estas rocas muy microporosas tienen una gran predisposición a la alteración química, ya que las reacciones químicas es a escala de microporos donde se hacen efectivas (Goñi et al 1970).

CONCLUSIONES

- El trabajo se centra en las edificaciones de estilo gótico de la Catedral de San Salvador de Oviedo, cuya construcción abarca desde 1229 a 1551. A partir de entonces se suceden una serie de reconstrucciones que llegan hasta nuestros días.
- Las piedras empleadas se conocen con los nombres de Laspra, Piedramuelle y Tiñana. Las dos primeras proceden respectivamente del área del “Cristo de las Cadenas”, Oviedo y de Sta. Marina de Piedramuelle. En las reconstrucciones se emplean las mismas piedras hasta 1946 que se tiene información de una nueva procedencia, Tiñana, Piedra de Tiñana. En 1947 se utiliza la piedra “Blanca de la Sierra” (Picu Sierra).
- La piedra de Laspra se utiliza con preferencia en el interior y ocurre a la inversa con la de Piedramuelle. La de Tiñana sustituye a esta última en las reconstrucciones, a partir de 1946.
- En cuanto a su datación geológica, Laspra pertenece al Terciario (Paleógeno), Piedramuelle y Tiñana son del Cretáceo Superior.
- La piedra de Laspra es una dolomía blanca, micrítica, muy pura, con un 90 % de dolomita, 5 % de cuarzo y 5 % de filosilicatos. Texturalmente es muy isótropa y porosa, estando los poros localizados en la matriz. Llega a tener un 30,4 % de porosidad total con un elevado grado de comunicación entre poros y 29 % de porosidad abierta. Estos valores de porosidad se asignan casi exclusivamente a microporos, con diámetros de entrada entre 0,005 y 0,3 μm .
- La piedra de Piedramuelle es una caliza amarillenta, con variaciones de tonalidad, tamaño de grano grueso, constituida por: 81 % de calcita, 5 % de cuarzo, 5 % de feldspatos y 5 % de filosilicatos. Presenta marcada anisotropía textural entre los granos y la fase aglomerante, cemento esparítico y syntaxil. Es porosa: los poros se localizan

tanto en los granos como en el cemento; llega a tener un 18,4 % de porosidad total y, como en el caso de Laspra, estos poros están comunicados; tiene 18,3 % de porosidad abierta. Este valor de porosidad es atribuible también de manera especial a los microporos, con radios de entradas entre 0,1 y 7,5 μm . El rango de variabilidad en el tamaño de los microporos es distinto al de la piedra de Laspra.

- La piedra de Tiñana es una caliza, también amarillenta, de tamaño de grano medio y uniforme, formada por un 90 % de calcita, 7 % de cuarzo y 3 % de filosilicatos. Es texturalmente anisótropa, porosa, muy parecida en ambos aspectos a la piedra de Piedra-muelle. Tiene un 14,5 % de porosidad total y también elevado grado de comunicación entre los poros; su porosidad abierta es del orden de un 14,14 % y se asigna, como en los casos anteriores, fundamentalmente a microporos con radios de entrada que varían de 0,02 a 7,5 μm . Presenta el rango más amplio de variabilidad en el tamaño de los microporos.
- La diferente sensibilidad de las rocas de la Catedral, frente a los agentes de la alteración, está estrechamente relacionada con su naturaleza petrofísica, de forma especial con el desarrollo y tipo de porosidad. En todas ellas el elevado grado de comunicación entre poros favorece la circulación de fluidos, más o menos agresivos, por el seno de las piedras. La alta microporosidad condiciona de manera especial el tipo de alteración, favoreciendo la de carácter químico, que alcanza su máxima expresión en la piedra de Laspra.

El presente trabajo ha sido subvencionado por la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica. Proyecto 4.446/79.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BOUSQUIE, P., (1979): "Texture et porosité des roches calcaires" Thèse doct. Univ. Pierre et Marie Curie et E.N.S. M.P. Paris.
- (2) CASO FERNANDEZ, F., (1981): "La construcción de la Catedral de Oviedo 1293-1587". Publicaciones de Historia Medieval de la Universidad de Oviedo.
- (3) ESBERT, R. M., ORDAZ, J., ALONSO, J. y ALBA, J. M. (1981): "Petrographic and physical study of the building stones from León Cathedral". The Conservation of Stone II. Part A Deterioration. Centro per la Conservazione delle Sculture All'Aperto. International Symposium. Bologna.
- (4) FARMER, I. W., (1968): "Engineering properties of rocks". SPON. LTD. London.
- (5) FRANKLIN, J. A., (1974): "Rock quality in relation to the quarrying and performance of rock construction materials". Proc. 2nd. Cong. Int. Ass. Engng. Geology IV-PC-2, I/II. Sao Paulo (Brasil).
- (6) GOÑI, J. M., GUILLEMIN, C., RAGOT, J. P., y SIMA, A. (1970): "Méthodes d'étude du champ microfissural des minéraux et des roches au cours de leur alteration". Revue de L'Industrie Minérale. Num. especial, pp. 40-51.
- (7) International Society for Rock Mechanics. Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests, (1979) International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, Vol. 16. Number 2. April. Pergamon Press. Oxford, New York, Paris and Frankfurt.
- (8) Mapa Geológico. I.G.M.E. E.1:50.000, hoja 28 (12-4), Grado.
- (9) Mapa Geológico. I.G.M.E. E.1:50.000, hoja 29 (13-4), (Oviedo).
- (10) MONTOTO, M., (1983): "Petrophysics: The petrographic interpretation of the physical properties of rocks". Proc. 5th Cong., Int. Soc. Rock Mechanics, Melbourne (Australia), April (En prensa).
- (11) PELLERIN, F. M., (1980): "La porosimétrie en mercure appliquée à l'étude géotechnique des sols et des roches". Bull. Liaison Labo. P. et Ch. 106- Ref. 2456, pp. 105-116.