

# Relaciones entre porosidad, contenido en arcillas y durabilidad de areniscas

R. M. ESBERT; J. ORDAZ; L. VALDEON  
Departamento de Petrología y Geoquímica  
Facultad de Geología. Universidad de Oviedo

## RESUMEN

*Se realiza la caracterización petrográfica de tres variedades de areniscas procedentes de Villamayor (Salamanca), Somió y Tazones (Asturias), poniendo de relieve la significación que el porcentaje y tipo de arcillas que cementan los granos minerales tiene, en estos casos concretos, en la configuración del sistema poroso. Asimismo, se correlacionan estas características con la durabilidad de dichas areniscas, evaluada mediante ensayos de heladicidad y cristalización de sales.*

## SUMMARY

*The petrographical characterization of three spanish sandstones from Villamayor (Salamanca), Somió and Tazones (Asturias) is presented. The significance of the percentage and type of the clay minerals cementing the grains on the pore system geometry, for the rocks studied, is especially emphasized. Besides, correlations between the petrography and durability of these sandstones, evaluated by means of freeze-thawing and salt crystallisation tests, are established.*

## INTRODUCCION

Los materiales estudiados son tres tipos de areniscas cuyas denominaciones de Villamayor, Somió y Tazones corresponden a las áreas o localidades de procedencia. Así, la arenisca de Villamayor se extrae de la localidad de dicho nombre en la provincia de Salamanca; es de edad paleógena y ha sido tradicionalmente empleada como piedra de construcción en numerosos monumentos salmantinos (1). Casi toda la Salamanca plateresca ha sido edificada con este tipo de piedra. Las areniscas de Somió y Tazones proceden de dichas localidades asturianas, ubicadas ambas en el tramo detrítico de edad jurásica (Malm) —“Areniscas de Ribadesella” (2)— que se extiende al Este de Gijón, paralelo a la línea de costa. En el caso de Somió las muestras se extrajeron de canteras abandonadas. La piedra de Tazones procede de una pequeña cantera en activo que se encuentra al oeste de esta villa. Estas areniscas jurásicas se han empleado habitualmente, aunque con poca intensidad, en Asturias, como piedras de construcción (en sillería, mampostería, etc.) (3). Con ellas se ha construido, por ejemplo, el Palacio de Revilla-gigedo de Gijón (S. XVIII).

## CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

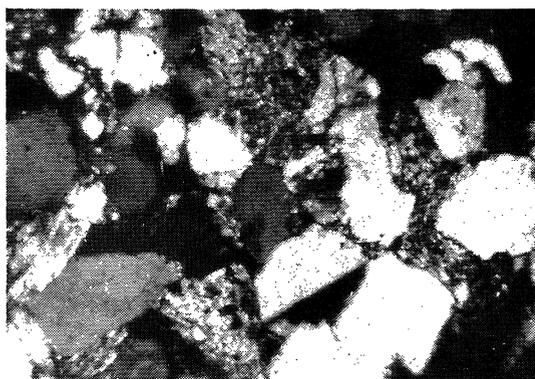
Desde el punto de vista petrográfico las areniscas mencionadas están compuestas esencialmente por: cuarzo, feldespatos y filosilicatos. Aunque los porcentajes relativos de estos grupos mineralógicos fluctúan de una variedad a otra, así como de una a otra muestra de una misma variedad, puede afirmarse, de modo general, que los porcentajes mineralógicos más altos corresponden siempre al cuarzo (55-82 %); la segunda fracción en importancia es la filosilicatada (10-24 %); seguida de los feldespatos, con porcentajes considerablemente menores (1,5-15 %). Otros minerales, como pueden ser los fragmentos líticos y los accesorios, están presentes en porcentajes todavía menores (0,7-8,3 %).

La Tabla I muestra los porcentajes mineralógicos de la fracción filosilicatada, que forma la matriz en las diferentes areniscas, obtenidos mediante difracción de rayos X.

TABLA I  
*Porcentajes de filosilicatos*

Areniscas	Caolinita	Illita	Clorita	Montmorillonita	Interestr. illita-montmor.	Micas sin determinar
Villamayor	0,5-1	3,0-8,0	1,5-3,5	1,0-2,0	4,0-5,0	—
Somió/Tazones	16-17	—	—	—	—	1-3

La distribución de dicha matriz es diferente según las variedades. Así, en Somió y Tazones suele ocupar posiciones intersticiales (Fig. 1), mientras que en Villamayor se presenta en forma pelicular, alrededor de los granos minerales (Fig. 2). En cuanto a la naturaleza de las arcillas que forman la matriz, hay que precisar que es distinta en uno y otro tipo de areniscas, según se desprende de la Tabla I.



Figs. 1 y 2.—Aspecto de la textura de las areniscas de Somió (izquierda) y Villamayor (derecha). En el primer caso la matriz arcillosa que une los granos minerales se agrupa preferentemente en zonas. En el segundo, forma una fina película alrededor de los granos minerales. N.C.×30.

En la piedra de Villamayor el filosilicato predominante es la illita, seguido de la clorita, caolinita, montmorillonita e interestratificados illita-montmorillonita; es decir abundan los filosilicatos con hábito cristalográfico fibroso. En Somió y Tazones solo se ha identificado caolinita, con su característico hábito tabular, aunque en muestras procedentes del Palacio de Revillagigedo de Gijón se había detectado también la presencia de illita (4).

Desde el punto de vista textural estas areniscas presentan algunas diferencias dignas de mencionarse, referidas fundamentalmente a tamaño medio de grano y heterometría granular. Teniendo todas las variedades el tamaño de grano de arena fina, la piedra de Villamayor tiene un tamaño medio de grano ligeramente menor, alrededor de los 0,12 mm frente a los 0,18 mm de las piedras de Somió y Tazones. La heterometría granular es menos acusada en la de Villamayor (0,024-0,32 mm) que en las de Somió y Tazones (0.062-0.62 mm).

En todas las variedades predominan los granos de cuarzo de carácter anguloso y sub-anguloso.

En las areniscas de Somió y Tazones, al agruparse frecuentemente la matriz en zonas, predominan los contactos homofásicos cuarzo-cuarzo.

### SISTEMA POROSO: CUANTIFICACION DE LA POROSIDAD

Otra de las diferencias texturales a tener en cuenta es la forma y configuración de los espacios vacíos. Mientras que en la arenisca de Villamayor éstos son casi exclusivamente poros en sentido estricto, en Somió y Tazones además de los poros abundan las microfisuras, las cuales tienen, para estas variedades asturianas, una significación frente a la porosidad-alterabilidad parecida a la de los poros propiamente dichos (Fig. 3).

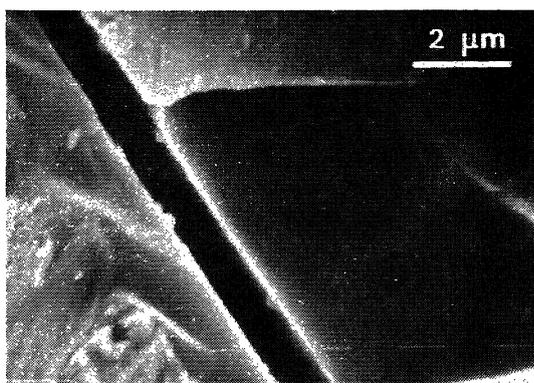


Fig. 3.—Microfisura intergranular abierta en la arenisca de Somió. En esta variedad las microfisuras son, junto con los poros, las responsables de la porosidad comunicada. (M.E.B.).

Observados al microscopio electrónico de barrido, los poros suelen tener formas y dimensiones variables, redondeadas, elongadas, de pocas décimas de micra (0,1-0,5  $\mu\text{m}$ ) a varias micras (4-10  $\mu\text{m}$ ).

Realizada la cuantificación de la porosidad mediante técnicas de porosimetría por inyección de mercurio se deduce que la mayor parte de los huecos están interconectados, mostrando todas las variedades estudiadas valores significativos de porosidad comunicada, tal como se observa en la Tabla II.

TABLA II  
*Valores y distribución de la porosidad*

Areniscas	Porosidad abierta $n_0$ (%)	Microporosidad $r < 7,5 \mu\text{m}$ (%)	Macroporosidad $r > 7,5 \mu\text{m}$ (%)
Villamayor .....	29,0	27,5	1,5
Somío .....	13,5	13,0	0,5
Tazones .....	11,0	9,5	1,5

En la Fig. 4 se muestran las curvas elaboradas a partir de los datos porosimétricos. En ellas se relaciona el volumen poroso total accesible al mercurio con el radio de acceso de los poros. Se obtiene así, para cada variedad, el espectro completo de porosidad, evidenciándose al mismo tiempo los porcentajes respectivos de porosidad atrapada (5-6).

Del conjunto de datos obtenidos se deduce que la piedra de Villamayor, además de ser la variedad más porosa, 29 %, es la que tiene mayor dispersión en el rango de tamaños de acceso de poros, entre 0,01  $\mu\text{m}$  y 4  $\mu\text{m}$ , siendo el valor medio de 0,3  $\mu\text{m}$ .

Además, muchos de los poros de este material tienen difíciles accesos; es decir, el sistema poroso muestra una considerable tortuosidad como se deduce de los altos valores de porosidad atrapada, que representa un 60 % de la porosidad abierta o comunicada.

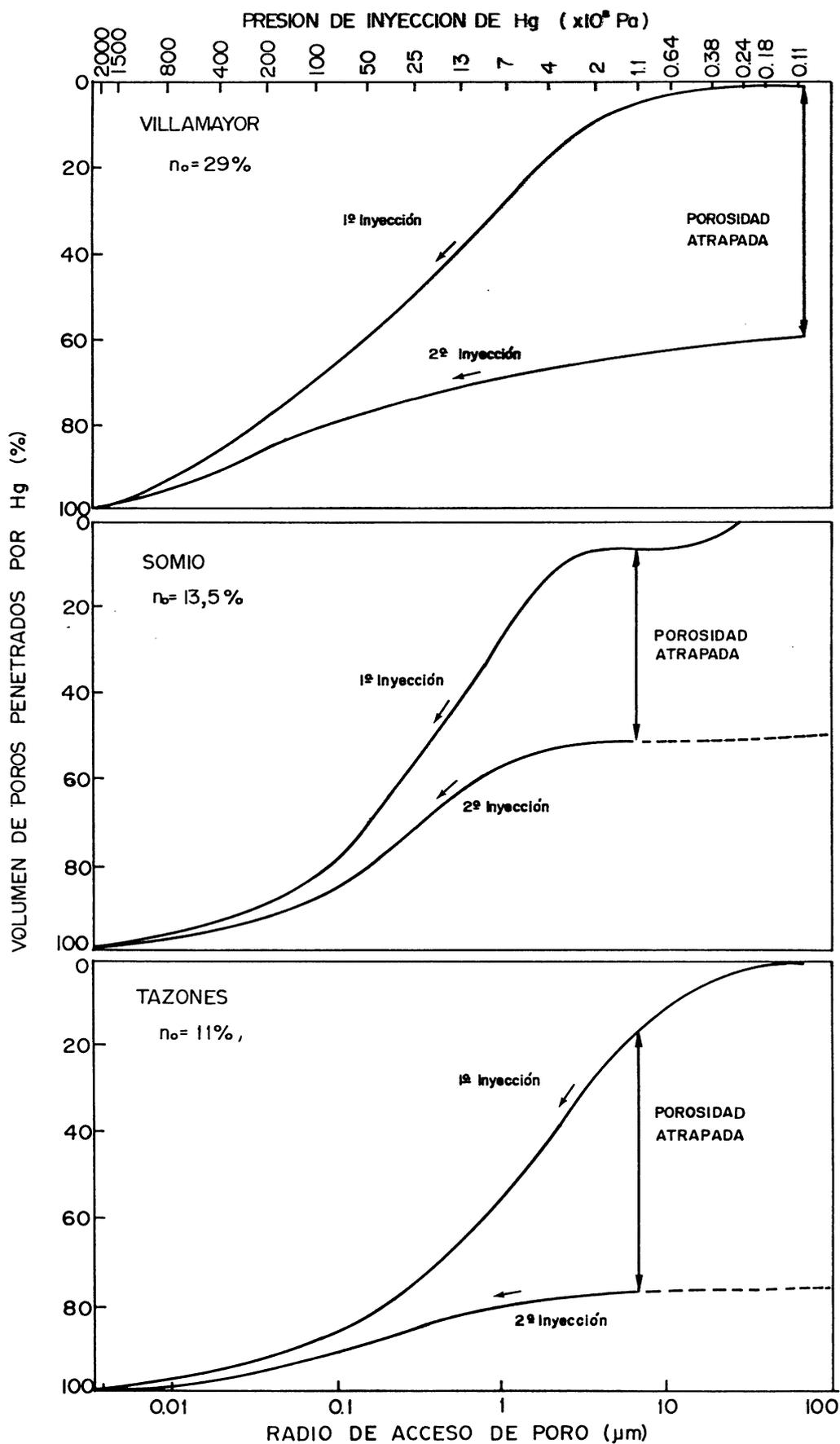


Fig. 4.—Curvas de distribución de los radios de acceso de poro para las tres areniscas estudiadas.

La arenisca de Somió tiene una porosidad abierta bastante menor (alrededor del 13,5 %). El radio medio de acceso de poro es, en este caso, de 0,4  $\mu\text{m}$ , y la dispersión correspondiente se sitúa entre 0,07  $\mu\text{m}$  y 1,5  $\mu\text{m}$  siendo la porosidad “atrapada” alrededor de un 47 % de la porosidad abierta.

La arenisca de Tazones muestra una porosidad abierta del 19 %, de la cual sólo un 11 % —correspondiente a radios de acceso de poros inferiores a 70  $\mu\text{m}$ — ha podido ser analizado mediante porosimetría de mercurio. El radio medio de poro es, dentro del espectro analizado, de 1,2  $\mu\text{m}$ , y la dispersión correspondiente se sitúa entre 0,17  $\mu\text{m}$  y 6,5  $\mu\text{m}$ . Es la roca que presenta un porcentaje más elevado de porosidad atrapada, el 71 % de la porosidad accesible al mercurio.

## ENSAYOS DE DURABILIDAD

Con objeto de evaluar la durabilidad de las areniscas estudiadas, se realizaron ensayos de heladicidad y de cristalización de sales.

El ensayo de heladicidad consistió en 30 ciclos de hielo-deshielo; la temperatura mínima alcanzada fue de 15° C; la velocidad de enfriamiento proporcionada por la cámara climática fue de 0,24° C/min.

En el ensayo de “envejecimiento acelerado o artificial” por la acción de sales solubles, se utilizó una solución salina de  $\text{SO}_4\text{Na}_2$  al 15 %.

El número de ciclos efectuados fue de 10. Las dimensiones de las probetas, tanto en este ensayo como en el anterior, fueron cubos de 3-4 cm de lado, y el número de probetas escogidas fue de 5. Detalles de los procedimientos empleados pueden verse en (4) y (7).

### Heladicidad

Las probetas de arenisca de Villamayor resistieron los treinta ciclos sin fracturarse ni desmoronarse. La pérdida media de material por desagregación al final del ensayo fue de 5,7 %. En la arenisca de Somió se apreciaron, a partir del quinto ciclo, ligeras pérdidas de material, preferentemente alrededor de los vértices de las probetas. A partir del decimoquinto ciclo se observaron desprendimientos de granos en el momento de la introducción de las probetas en agua, durante la fase de descongelación. El promedio de pérdida de material fue algo superior al 8 %.

En la arenisca de Tazones, en cambio, concluidos los ciclos no se apreció ningún cambio externo notable en las probetas, siendo el porcentaje de pérdida de masa prácticamente insignificante (alrededor de 0,08 %). Los resultados obtenidos en este ensayo, así como los del ensayo de cristalización de sales, se resumen en la Tabla III.

TABLA III  
*Porcentaje de pérdida de material (en peso) en los ensayos de durabilidad*

Areniscas	Heladicidad (prom. %)	Cristalización de sales (prom. %)
Villamayor .....	5,7	20,8
Somió .....	8,3	2,1
Tazones .....	0,08	0,3

## **Cristalización de sales**

Todas las muestras de arenisca de Villamayor ensayadas resistieron los diez ciclos programados sin fisurarse ni desmoronarse, si bien exhibieron señales de disgregación granular (arenización), acompañadas de un empobrecimiento de partículas de la fracción arcillosa (descementación). La arenisca de Somió evidenció pérdida progresiva de material superficial por desagregación, llegando, algunas probetas, a partir del sexto ciclo, a resquebrajarse y desmoronarse totalmente. La arenisca de Tazones, por el contrario, mostró una gran resistencia a la acción agresiva de las sales, siendo la pérdida de material contabilizada al final del ensayo muy escasa (alrededor de 0,3 %).

## **DISCUSION DE LOS RESULTADOS: CONCLUSIONES**

A la vista de los resultados obtenidos en los ensayos de durabilidad realizados, se observa que, en general, el ensayo de cristalización de sales es más agresivo que el de heladicidad, para el número de ciclos efectuados en ambos casos.

La Piedra de Villamayor es la que exhibe mayores pérdidas de material, en el ensayo de cristalización de sales, y la de Somió en el de heladicidad. El desmoronamiento sufrido por algunas probetas de Somió por la acción disruptiva del sulfato sódico puede interpretarse como consecuencia de la presencia de discontinuidades internas (fisuras) no aparentes, que posibilitarian, llegado el caso, la fragmentación prematura de las mismas. Además, esta arenisca exhibe, al contrario que las otras dos, mayor porcentaje medio de pérdida de material por la acción crioclástica del hielo que por el ataque con sulfato sódico. La arenisca de Tazones es la que, en ambos ensayos, muestra una mayor resistencia, con pérdidas de material mínimas. Las causas de estos diferentes comportamientos, como se verá más adelante, deben de buscarse en las diferencias de los valores de porosidad abierta, proporción de microporos y otros rasgos mineralógicos y texturales.

Por otro lado, se comprueba en las rocas estudiadas que no existe paralelismo completo entre los ciclos de hielo-deshielo y los de cristalización de sales, por lo que, si bien ambos ensayos constituyen aceptables índices de evaluación de la durabilidad, cada uno de ellos hay que considerarlo como un valor independiente y con un significado petrofísico distinto.

De entre los factores mineralógicos-texturales que claramente influyen en la durabilidad/alterabilidad de los materiales rocosos, la mayor o menor presencia de filosilicatos (especialmente arcillas) es, tal vez, uno de los más condicionantes. Ahora bien, si tenemos en cuenta que los distintos tipos de areniscas estudiados presentan unos porcentajes globales de filosilicatos similares (situados entre 17 % y 25 %) y que, en cambio, los comportamientos frente a la acción agresiva del hielo y las sales son significativamente diferentes en cada caso, parece razonable pensar que éstos no se deben, al menos de forma prioritaria, tanto a la cantidad de la fracción arcillosa de las mismas como a otros factores o rasgos coadyuvantes.

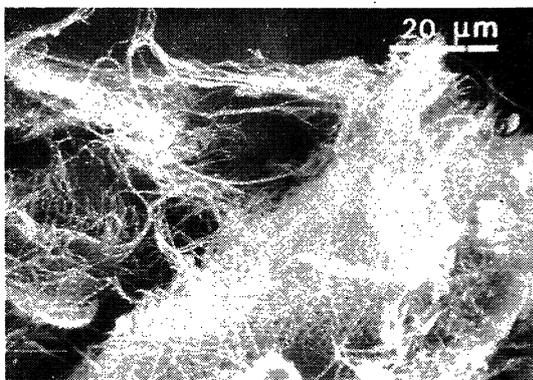
En este sentido, la naturaleza o tipo de los minerales arcillosos parece ser determinante. Así, como ya se ha dicho, la arenisca de Villamayor presenta, a diferencia de las de Tazones y Somió, un porcentaje relativamente significativo de arcillas expansivas de tipo esmectitas (particularmente montmorillonita e interestratificados illita-montmorillonita) que manifiestamente contribuyen al deterioro físico del material, sobre todo si se tienen en cuenta las continuas expansiones/retracciones volumétricas a que se ve sometido dicho material en función de las variaciones hídricas (8). En ausencia de esmectitas, las areniscas de Somió y Tazones no muestran hinchamiento, y su durabilidad puede considerarse en líneas generales, como relativamente mayor.

Por otro lado, la disposición textural y hábito cristalográfico de los minerales arcillosos son

rasgos que controlan también, en gran parte, la geometría del sistema poroso de las areniscas. Así, la influencia de una determinada matriz o cemento arcilloso en la configuración de la porosidad de estos materiales, especialmente de la porción microporosa, parece evidente, ya que ésta puede verse incrementada sensiblemente según la naturaleza de los minerales arcillosos (9).

En efecto, en la arenisca de Villamayor, las arcillas que constituyen el ligante de la roca forman una película de recubrimiento alrededor de los granos detríticos, estableciendo una densa y entremezclada malla entre los mismos (Fig. 5). El particular hábito cristalográfico de los minerales arcillosos presentes en dicha arenisca, de carácter fibroso-filamentoso; su elevada superficie específica, así como su disposición intergranular, tienden a su vez a modificar los huecos, subdividiendo los espacios intersticiales (macroporos) en numerosos pequeños canales, e incrementando, de esta manera, la proporción de conductos microporosos, así como su trazado o tortuosidad.

Caso distinto es el de las areniscas de Somió y Tazones, cuyos minerales arcillosos cementantes, principalmente caolinita e illita, presentan formas y hábitos cristalográficos marcadamente distintos (Fig. 6), y, en consecuencia, su volumen de microporos resulta proporcionalmente menor.



Figs. 5 y 6.—Detalle de las arcillas al microscopio electrónico de barrido. Note-se el distinto hábito cristalográfico: filamentosos en la piedra de Villamayor (izquierda), y tabular en la de Tazones (derecha).

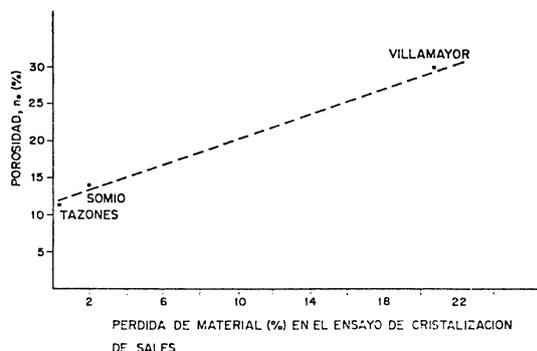


Fig. 7.—Relación entre la porosidad y la durabilidad (evaluada en base al ensayo de cristalización de sales), para las areniscas de Villamayor, Somió y Tazones.

Por lo que respecta a la relación entre la porosidad y la durabilidad, se constata la existencia de una correlación directa, lineal, entre los valores de porosidad abierta y los resultados del ensayo de cristalización de sales (expresados en términos de porcentajes de pérdida de material), para las tres areniscas ensayadas (Fig. 7) (10). Esta relación no se observa, sin embargo, con los resultados del ensayo de heladicidad.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (Proyecto 2573/83) y a la Fundación Ramón Areces, por el soporte económico a la realización de este trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1974): Mapa de Rocas Industriales, E. 1.200.000 (Salamanca). *Servicio de Publicaciones, Ministerio de Industria*, 50 pp.
- (2) SUAREZ VEGA, L. C. (1974): Estratigrafía del Jurásico en Asturias (1 y 2). *Gráficas Summa*, Oviedo, 369 pp.
- (3) INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1973): Mapa de Rocas Industriales, E. 1 : 200.000 (Oviedo). *Servicio de Publicaciones, Ministerio de Industria*, 66 pp.
- (4) ESBERT, R. M. y VALDEON, L. (1985): Alterabilidad de areniscas asturianas utilizadas en monumentos. *Bol. Geol. y Min.*, T-XCVI, 5.º fascículo, 8 pp.
- (5) PELLERIN, F. M. (1980): La porosimétrie au mercure appliquée a l'étude géotechnique des sols et des roches. *Bull. Liaison Lab. Ponts et Chaussées*, 106, pp. 105-116.
- (6) ESBERT, R. M. y MARCOS, R. M. (1983): Las piedras de la Catedral de Oviedo y su deterioración. *Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Asturias*, Oviedo, 147 pp.
- (7) ORDAZ, J. (1983): Características físicas y alterabilidad de la piedra de Villamayor (Salamanca). *Materiales de Construcción*, 190-191, pp. 85-95.
- (8) ORDAZ, J. (1984): Estado de alteración y alterabilidad futura de la piedra de Villamayor de los monumentos salmantinos: interpretación petrográfica. En: "Estudio sobre alteraciones y tratamiento de la piedra de Villamayor". *Edic. de la Caja de Ahorros y M. de P. de Salamanca, Serie Monografías*, Salamanca, pp. 315-419.
- (9) ESBERT, R. M., ORDAZ, J., ALONSO, F. J. y VALDEON, L. (1984): Influencia de las características petrográficas en la durabilidad de areniscas utilizadas en monumentos. *I Congreso Español de Geología*, T-II, pp. 921-931.
- (10) ORDAZ, J. y ESBERT, R. M. (1985): Porosity and capillarity in some sandstone and dolomite monumental stones. *Proceedings Vth. Int. Congr. on Deterioration and Conservation of Stone*, Lausanne, Vol. 1, pp. 93-102.

\* \* \*

## publicación del i. e. t. c. c.



**Manuel Fernández Cánovas**  
Dr. Ingeniero de Construcción

Este libro, el primero en lengua castellana sobre **resinas epoxi** aplicadas a la construcción, está dirigido a arquitectos, ingenieros, constructores y aplicadores. En él, sobre una reducida base teórica imprescindible, se asienta toda una extensa gama de aplicaciones de gran interés.

El autor trabaja desde hace muchos años en el campo de la investigación, especialmente en el estudio de refuerzos y reparaciones estructurales realizados con **resinas epoxi**.

Con un lenguaje sencillo se tocan todos los problemas que pueden presentarse en la construcción y en los que la solución puede radicar en el correcto empleo de las **resinas epoxi**.

Se estudian los componentes de las formulaciones **epoxi**, sus propiedades físicas y químicas, y aplicaciones, deteniéndose, detalladamente, en las siguientes:

Unión de hormigón fresco a hormigón endurecido. — Unión de hormigones entre sí. — Inyecciones de fisuras y grietas. — Unión de acero a hormigón. — Barnices y pinturas. — Las combinaciones brea-epoxi. — Revestimientos de depósitos alimenticios. — Sellado de superficies cerámicas. — Protección de tubos. — Los suelos epoxi en sus diferentes variantes. — Terrazo epoxi. — Reparación de baches. — Reparación de desperfectos en estructuras. — Reparación de carreteras de hormigón. — Juntas elásticas. — Guardacantos de tableros de puentes. — Refuerzos de pilares, vigas, forjados y zapatas, etc. — Consolidación de suelos. — Anclajes. — Protección de aceros en pretensado.

Se termina con unos capítulos dedicados a la limpieza y preparación de las superficies según los materiales a unir; al control del estado superficial de éstos; a las condiciones de temperatura de aplicación; limpieza de los útiles de trabajo; precauciones en el manejo de los sistemas; almacenaje, mezcla y manejo de las formulaciones epoxi y métodos de ensayo de sistemas y aplicaciones epoxidicas.

Un volumen encuadernado en cartóné plastificado con lomo de tela, de 17 x 24 cm, compuesto de 334 páginas y 158 figuras y fotografías.

Madrid, 1981.

Precios: España, 1.700 ptas.; extranjero, \$ USA 34.00.