

Características que condicionan el comportamiento de la caliza de Hontoria (Burgos) como piedra de edificación.

Por R. M.^a MARCOS (*), R. M.^a ESBERT (*), F. J. ALONSO (*) y F. DIAZ-PACHE (*)

RESUMEN

Se analizan las características petrográficas, los espacios vacíos y las principales propiedades físicas que inciden en el comportamiento de la caliza de Hontoria como material de edificación. Se trata de una roca ampliamente utilizada en construcciones monumentales, entre las que cabe destacar las catedrales de Burgos, León, etc. Por ello es de sumo interés conocer los factores petrográficos y físicos que controlan su durabilidad.

ABSTRACT

The petrographic characteristics, voids and physical properties that influence the behaviour of Hontoria limestone as a building material are analyzed. It is a rock widely used in monumental construction (e.g. Cathedrals of Burgos, León, etc.). Consequently, it is of the highest interest to know the petrographical and physical factors that control their durability.

1. INTRODUCCION

La piedra de Hontoria es una de las litologías más utilizadas como material de edificación en la provincia de Burgos, a lo largo de los siglos, ya sea en forma de sillares o de losetas de revestimiento (Catedral, Casa del Cordón, Hospital del Rey, Casa de Cultura, Gobiernos Militar y Civil, etc.). Su empleo es también frecuente en otras provincias de Castilla y León, por ejemplo en la Catedral de León (DE LOS RIOS, 1895; MARCOS, 1992), y en la zona centro y norte de España, principalmente Madrid (GRANDSON, 1947), País Vasco, Asturias, etc.

La susceptibilidad al deterioro de esta piedra, en su uso como material de edificación, está relacionada con sus características intrínsecas, así como con las del ambiente en la que se ubica el edificio del que forma parte. Por ello, en este trabajo se analizan y cuantifican las características petrofísicas más significativas de dicha piedra, en su empleo como material de edificación.

Aunque se trata de un material química y mineralógicamente muy uniforme —es una caliza muy pura—, desde el punto de vista textural muestra un notable rango de variabilidad, sobre todo en lo que al tamaño de grano, forma y dimensiones de los poros se refiere. El análisis petrográfico que aquí se presenta recoge dichas variaciones, las cuales a su vez condicionan los valores de las propiedades físicas.

En cuanto a las propiedades físicas, las calculadas en este artículo hacen referencia sólo a la variedad actualmente explotada en cantera. Su determinación en otras variedades algo diferentes —de grano más grueso o más fino— como las utilizadas en el pasado en algunas edificaciones monumentales, han resultado imposible de llevar a cabo por no poder disponer de suficiente cantidad de piedra.

2. LAS CANTERAS DE LA PIEDRA DE HONTORIA

Las diversas explotaciones de la caliza de Hon-

(*) Departamento de Geología. Universidad de Oviedo.

toria, desde tiempos remotos hasta la actualidad, se sitúan en las cercanías del pueblo burgalés de Hontoria de la Cantera, a unos 18 kilómetros al sureste de la ciudad de Burgos.

En concreto, las canteras actualmente en explotación se encuentran entre los pueblos de Hontoria de la Cantera y Cubillo del Campo. En la misma zona se sitúan otras dos grandes canteras, convertidas en polvorín en los años 30, y que en la actualidad están bajo jurisdicción militar (fig. 1).

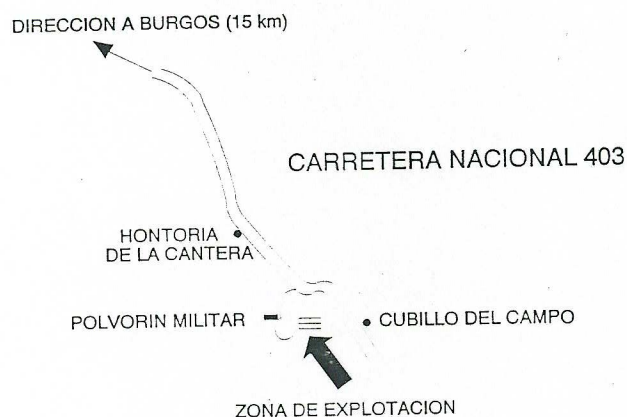


Figura 1.—Situación geográfica de las canteras actuales de la piedra de Hontoria. Se indica igualmente la situación de las explotaciones antiguas más importantes, utilizadas en la actualidad como polvorín militar.

La piedra de Hontoria pertenece a una formación calcárea de edad Turonense (Cretácico Superior), que se presenta plegada y en discordancia con los materiales del Terciario, los cuales aparecen con disposición subhorizontal (fig. 2).

Desde el punto de vista geológico, las principales canteras explotadas se sitúan en el flanco meridional del anticlinal que aparece en el borde sureste de la hoja núm. 20 (Escala 1:200.000), Burgos, del mapa del ITGE (1970), donde la formación aparece bajo la denominación C_{2c}.

Las explotaciones dentro de la citada formación calcárea son en su mayor parte subterráneas. Entre ellas, pueden destacarse tres por su gran tamaño; dos se encuentran actualmente bajo jurisdicción militar (fig. 3) y la tercera es la única que permanece en activo (fig. 4). Junto a éstas

existen otras pequeñas explotaciones tanto subterráneas como a cielo abierto, en todos los casos inactivas.

La cantera activa —explotada por la empresa «Piedras y Mármoles, S. L.»— es subterránea, realizándose la explotación actual sobre un banco homogéneo y sin fisuras, de unos 4,5 a 5 metros de potencia. La capa o banco en explotación presenta una dirección y buzamiento de 220/10° y coincide, aproximadamente, con la orientación de la ladera, estando cubierto por una secuencia de unos 5 ó 6 metros de calizas similares, aunque más tableadas.

El color de la piedra de cantera es blanco, algo más amarillento hacia el techo, el cual está marcado por un fino nivel arcilloso de color rojizo, depositado entre el estrato en explotación y el superior. En algunos de los bloques se pueden distinguir, en ocasiones, niveles ricos en bioclastos cuyos tamaños varían entre unos pocos milímetros y varios centímetros.

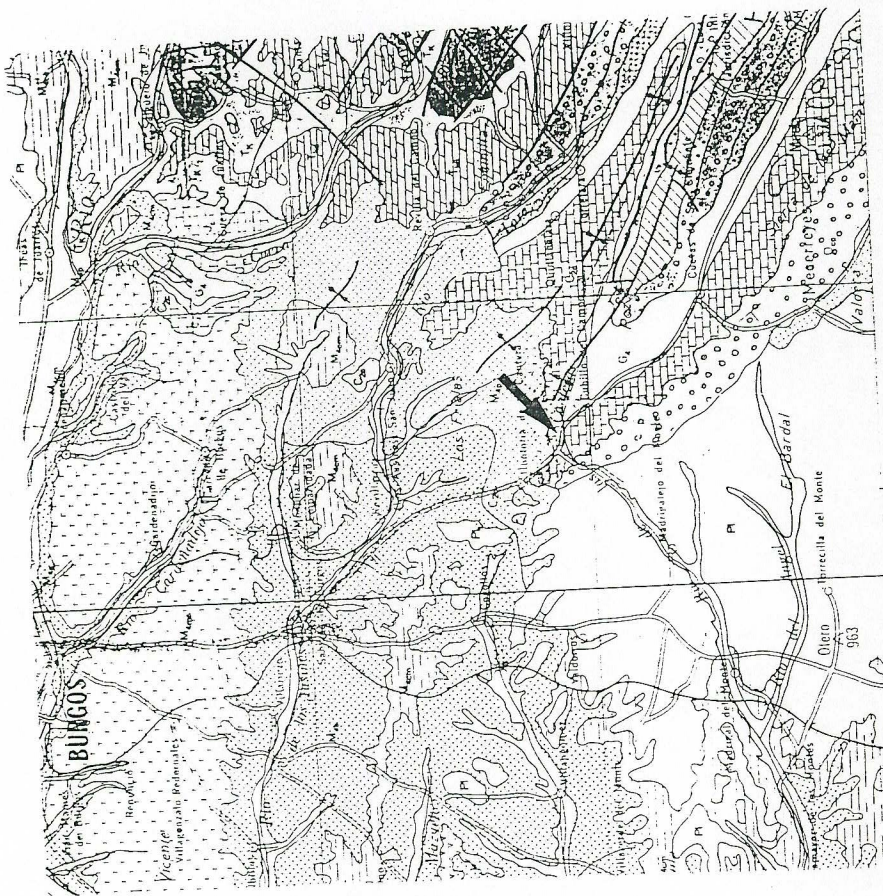
Para facilitar la extracción de la piedra el banco se ha dividido en dos niveles: inferior y superior (fig. 5), y los bloques que se extraen actualmente tienen unas dimensiones aproximadas de 2,5 × 10 metros.

Tanto la explotación de la piedra en cantera como su ulterior proceso industrial, que se realiza en los talleres de «Piedras y Mármoles, S. L.» en Burgos capital, se lleva a cabo con técnicas avanzadas tales como: rozaduras de brazo, sierras de discos diamantado y corte por chorro de agua (GOMEZ y MUÑOZ, 1989; OBIES et al., 1989).

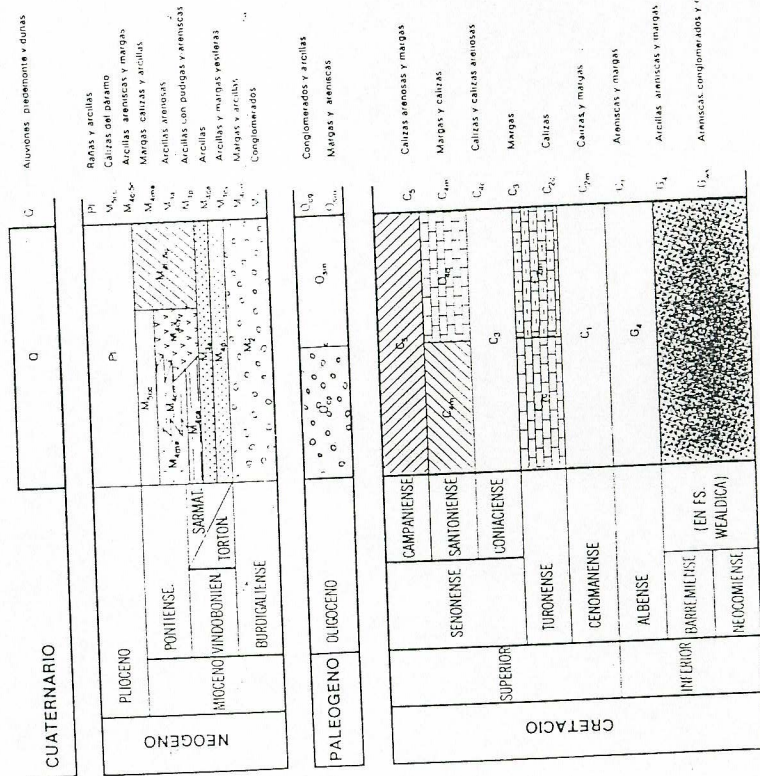
3. CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

El análisis petrográfico de la piedra de Hontoria se ha realizado a partir de las diferentes muestras tomadas en cantera —tanto en las explotadas actualmente, como en las antiguas— y en edificaciones monumentales como son las catedrales de Burgos y León.

En todos los casos se trata de una roca carbonatada de color blanco en fractura fresca —a veces con un ligero tono rosado o amarillento—, que con la intemperie va adquiriendo tonalidades grisáceas. La tonalidad rosada o amarillenta ob-



LEYENDA



SIMBOLOS GEOLOGICOS

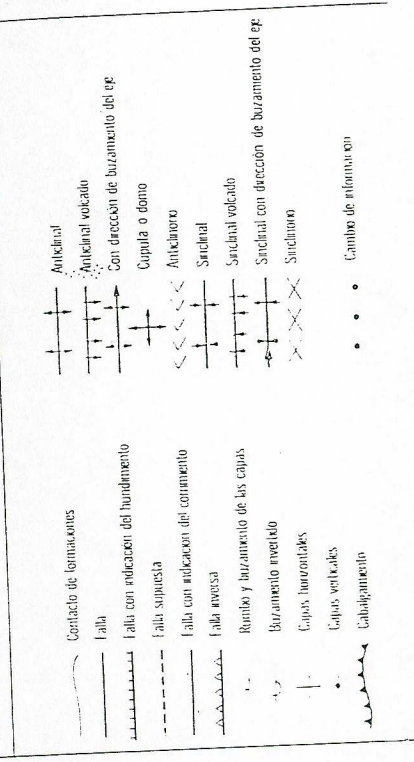


Figura 2.—Esquema geológico de las explotaciones de la piedra de Hontoria. ITGE (1970).



Figura 3.—Entrada a una de las dos canteras antiguas utilizadas actualmente como polvorín. Se puede observar la disposición de los estratos de la formación calcárea explotada.



Figura 4.—Aspecto exterior de la cantera en activo. Se observa la inclinación de los estratos existentes a techo del banco en explotación.

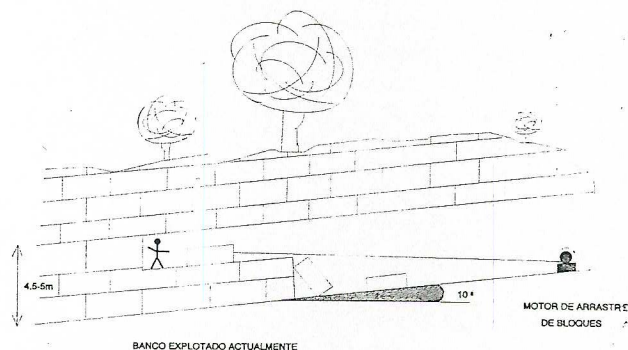


Figura 5.—Esquema de la cantera actualmente en explotación.

servada en algunas variedades es debida a un fino moteado que se localiza en la periferia de los espacios vacíos, debida a óxidos de hierro.

Macroscópicamente la roca presenta un aspecto masivo granudo, más o menos grosero, de tamaño medio de grano alrededor de 2 mm, variando de unas muestras a otras. En este sentido pueden diferenciarse variedades de grano grueso y heterogéneo —en las que destacan grandes fósiles, sobre todo valvas de moluscos de más de 1 cm— y otras de grano más fino (entre 2 y 0,5 mm) y sobre todo más homogéneo, que suele mostrar tonos más amarillos o rosados y a veces aspecto más cristalino.

Las variedades de grano grueso son las que muestran un color blanco más neto y corresponden a la piedra actualmente explotada en cantera, aunque también se encuentran con frecuencia en la Catedral de Burgos. En la figura 6 se presentan dos sillares contiguos en una zona del cimborrio de la catedral de Burgos, donde pueden observarse ambas variedades.

La piedra de Hontoria actualmente explotada, en superficie de fractura fresca, presenta algunos cristales de tamaño próximo a 1 mm (esparita),

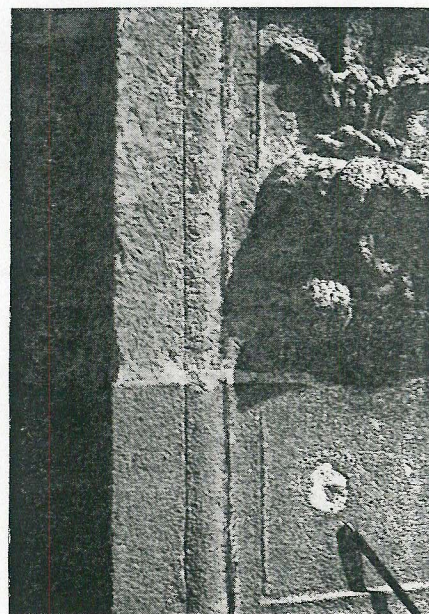


Figura 6.—Variedades texturales de la Caliza de Hontoria en dos sillares contiguos del cimborrio de la Catedral de Burgos. El sillar superior corresponde a una variedad de grano grueso y el inferior a una de grano fino.

a veces agrupados formando núcleos cristalinos de mayor tamaño. También destaca la presencia de espacios vacíos, con grandes poros de disolución —de tamaño superior a 1 mm—, si bien la mayoría son poros de tamaño mucho menor y a veces de formas elongadas (fig. 7).



Figura 7.—Aspecto macroscópico de la variedad de cantera mostrando una superficie de corte de sierra. Pueden observarse las características de los granos (bioclastos) y de los poros. En la parte inferior aparece un poro de gran tamaño tapizado por calcita.

Composición

La roca está constituida fundamentalmente por carbonato cálcico puro, según los análisis de difracción de rayos X, no llegando a detectarse ningún otro mineral. No obstante, la observación de láminas delgadas y las determinaciones de residuo insoluble, indican que algunas muestras pueden contener hasta un 2 por 100 de componentes terrígenos, mayoritariamente cuarzo. Los óxidos de hierro no son significativos cuantitativamente, aunque como se indicó, pueden dar coloración a la roca. También señalar que tanto de las observaciones petrográficas realizadas como por consideraciones genéticas, puede descartarse la presencia de minerales arcillosos en esta variedad pétreo.

Textura

La roca presenta una textura granuda cementada, grano-soportada, tipo «grainstone» (DUNHAM, 1962), con cementación casi generalizada entre

sus granos. Los granos están constituidos mayoritariamente por restos fósiles (bivalvos y crinoideos), también abundan los peloides —sobre todo en las variedades extremas: de grano más grueso y más fino— y en menor proporción se observan intraclastos y otros tipos de fósiles (algas rojas, briozoos, corales). La cementación entre los granos está bien desarrollada en general, aunque no siempre es completa (fig. 8). En consecuencia, la roca es una «bioesparita» (FOLK, 1962), siendo de destacar un cierto grado de recristalización, puesto de manifiesto en los peloides con la presencia de microesparita (fig. 9).



Figura 8.—Aspecto microscópico de una variedad de la piedra de Hontoria de grano medio, tomada en las actuales canteras en explotación. Se observan distintos bioclastos (1), cemento (2) y poros (3). (M.O.P. x10 NC).

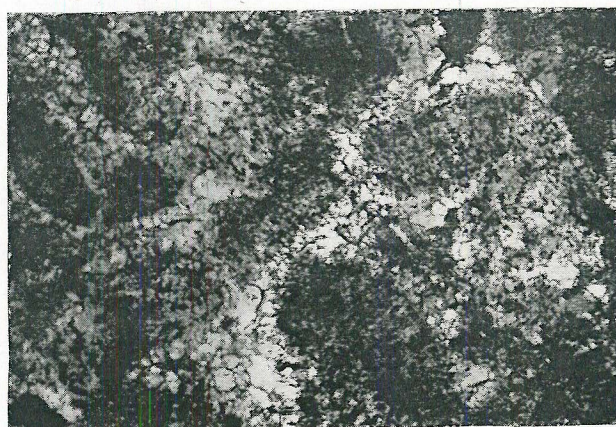


Figura 9.—Micrografía de un detalle de la textura donde resalta el grado de recristalización alcanzado por los peloides. Muestra procedente de la Catedral de Burgos. (M.O.P. x100, NC).

El tamaño de los granos y sus variaciones es el rasgo textural más significativo, permitiendo establecer variedades. Así, tal como se ha indicado previamente, pueden distinguirse:

- *Variedades de grano medio*, equigranulares, constituidas mayoritariamente por bioclastos (moluscos y crinoideos), su tamaño puede situarse alrededor de 2 mm (fig. 8).
- *Variedades de grano grueso*, heterogranulares, con restos de moluscos de más de 1 cm, junto a granos más equidimensionales (crinoideos, peloides) en torno a 1 mm (fig. 10).
- *Variedades de grano fino*, equigranulares, formadas por bioclastos y peloides de tamaño ligeramente inferior a 0,5 mm. Algunas de



Figura 10.—Variedades de grano grueso de la caliza de Hontoria: a) procedente de una muestra tomada en cantera; b) procedente de una muestra de la Catedral de Burgos. (M.O.P. x10, NC).

estas variedades presentan cementación completa y recristalización —con abundante microesparita—, mostrando la roca un aspecto más cristalino (fig. 11).



Figura 11.—Variedades de grano fino: a) procedente de una muestra de las canteras «militares», b) procedente de una muestra de la Catedral de Burgos. En ambas resalta su completa cementación y el elevado grado de recristalización. (M.O.P. x10, NC).

El cemento es mayoritariamente de tipo espático y sintaxial, este último en continuidad óptica en crinoideos y valvas de moluscos. El tamaño más frecuente de los cristales de cemento espático se sitúa alrededor de 50 μm , aunque a veces, en grandes poros y microgeodas, se alcanzan tamaños de varios mm.

Finalmente, resaltar que —también a nivel microscópico— pueden observarse todos los tipos texturales intermedios entre los tres indicados, en cuanto a variaciones de tamaño de grano y grado de cristalinidad, y esto ocurre tanto en piedras de cantera como en las procedentes de los monumentos.

4. ANALISIS DE LOS ESPACIOS VACIOS

Los espacios vacíos —poros y fisuras— constituyen uno de los componentes texturales más importantes de las rocas desde el punto de vista de su comportamiento alterológico y, en consecuencia, condicionan de forma esencial su durabilidad (ESBERT y MONTOTO, 1990).

El análisis del sistema poroso de la piedra de Hontoria incluye la observación directa de la misma mediante microscopía óptica de polarización y electrónica de barrido, y la cuantificación de los diferentes parámetros del sistema poroso mediante porosimetría por inyección de mercurio.

Como resultado de dichos análisis cabe señalar que el volumen ocupado por los espacios vacíos es relativamente importante, la porosidad abierta se sitúa alrededor del 20 por 100. Los espacios vacíos más abundantes se localizan entre los granos —poros intergranulares—, los cuales guardan relación con la cementación incompleta de los granos. También destaca la presencia de espacios vacíos en el lugar que ocupaban los granos minerales —poros móldicos—, en relación con fenómenos de disolución diagenéticos más o menos tardíos. El tamaño más frecuente del conjunto de estos poros es relativamente grande, ligeramente menor al de los granos (figs. 7 y 8).

Excepcionalmente se observan grandes poros milimétricos y conductos cilíndricos, generados por disolución a gran escala. Dichos poros a veces se presentan tapizados por calcita, formando microgeodas (fig. 7). Mucho más frecuentes son los pequeños poros intragranulares, cuyo tamaño no supera las 100 μm (fig. 12), generados por disolución selectiva de los granos.

Mediante porosimetría por inyección de mercurio en la roca se ha obtenido la curva de distribución de los radios de acceso a los poros com-

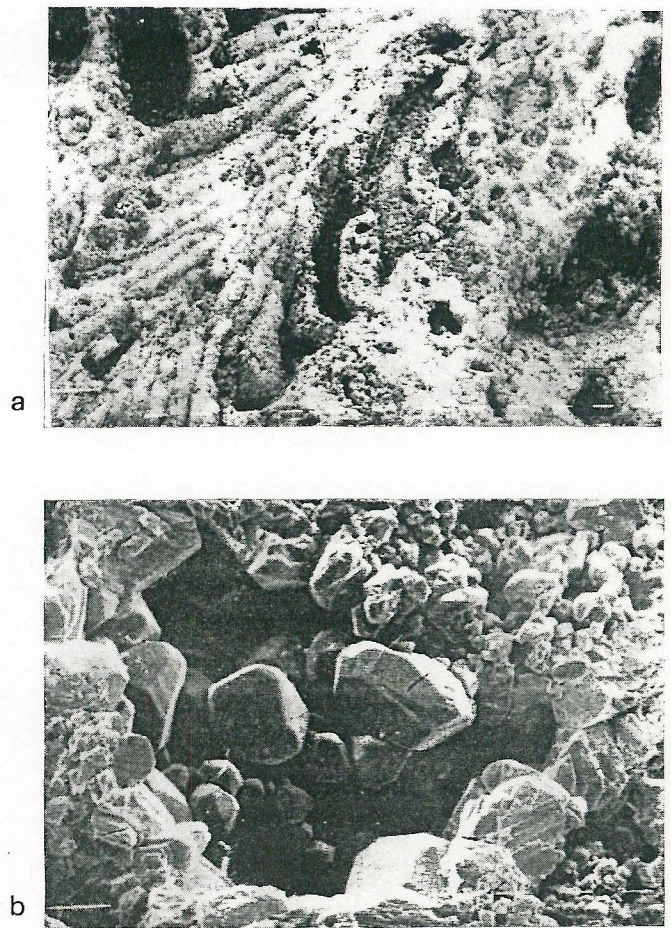


Figura 12.—Aspecto al M.E.B. de la textura y porosidad de una muestra de cantera. Pueden observarse: en a) poros intragranulares (1 marcador = 100 μm), en b) poros rodeados por cristales de calcita (1 marcador = 10 μm).

prendidos entre 70 y 0,004 μm , y el correspondiente histograma de frecuencias (fig. 13). En la tabla I se indican los principales parámetros obtenidos a partir de este ensayo; porosidad accesible al Hg, volumen poroso por unidad de masa, macroporosidad (poros con radios de acceso $> 7,5 \mu\text{m}$), microporosidad (poros de acceso $> 7,5 \mu\text{m}$), porosidad atrapada, radio medio de acceso de poro y superficie específica.

Los datos anteriores confirman que se trata de una roca porosa y con relativamente buena comunicación entre los poros. En este sentido cabe señalar que su porosidad atrapada no supera el 50 por 100, el radio medio de acceso de poro es

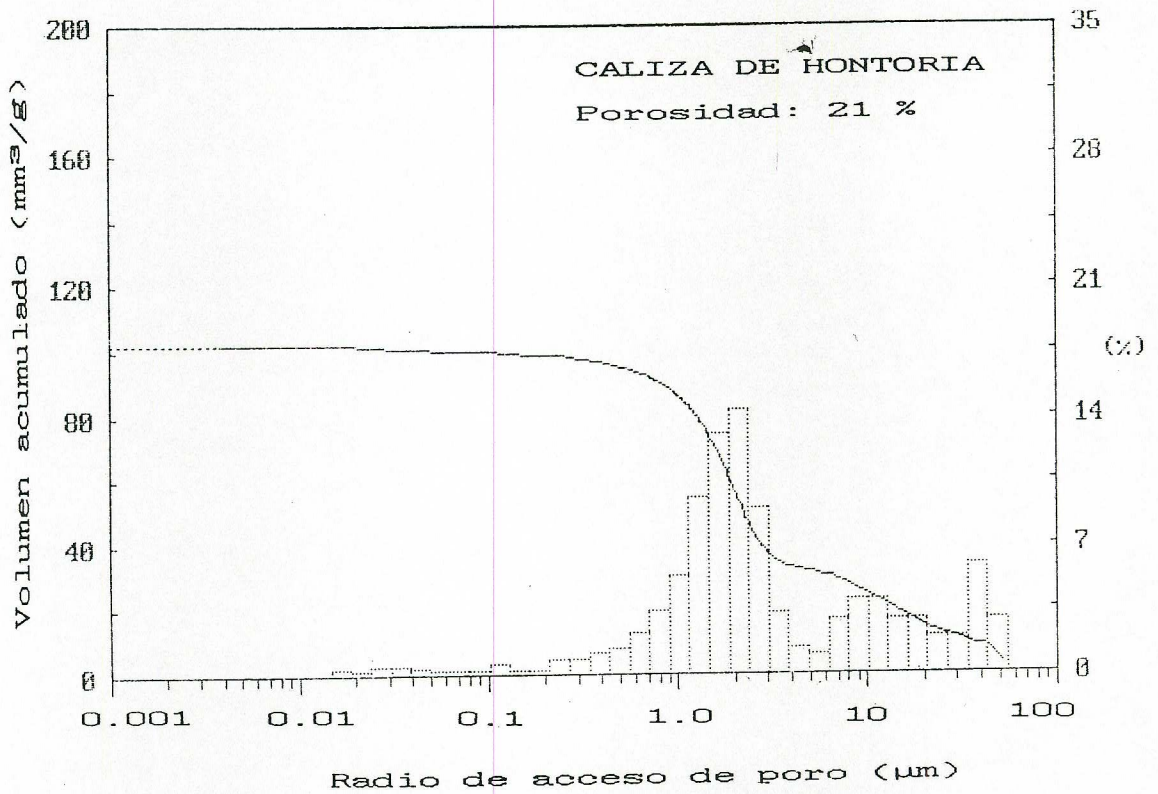


Figura 13.—Curva de distribución e histograma de frecuencia de los tamaños de acceso de poro de la caliza de Hontoria.

TABLA I

Parámetros del sistema poroso obtenidos mediante porosimetría por inyección de mercurio

Porosidad abierta (accesible al Hg)	20,7 %
Volumen poroso	101,8 mm ³ /g
Macroporosidad	6,2 %
Microporosidad	14,5 %
Porosidad atrapada	10 %
Radio medio de acceso de poro	2 µm
Superficie específica (modelo cilíndrico).	0,27 m ² /g

relativamente elevado —situándose alrededor de las 2 µm— y la macroporosidad representa 1/3 del volumen poroso.

Finalmente, destacar que existe una notable diferencia entre el tamaño de los poros observados a simple vista y en microscopía, y tamaño determinado mediante porosimetría de inyección

de mercurio. Este hecho pone de manifiesto algunas características del sistema poroso; en concreto, cabe pensar que está formado por grandes poros —de centenares de micras—, comunicados mayoritariamente por accesos mucho más pequeños, de unas pocas micras.

5. PROPIEDADES FISICAS

Son, junto con la petrografía y los espacios vacíos, las características propias del material poroso que condicionan su comportamiento frente a los principales agentes exógenos tales como agua, contaminantes ambientales, viento, insolación, etc. También juegan un papel relevante a la hora de predecir los daños que las acciones cíclicas de los agentes antes mencionados infligen a la piedra, así como aquellos ocasionados por los cambios de fase —sólida, líquida, vapor— que puede experimentar el agua, y que la piedra

puesta en obra tiene que soportar (ALONSO, 1987; VALDEON et al., 1992).

En este trabajo, y en relación con lo antes expuesto, se han determinado un conjunto de propiedades que caracterizan la piedra de Hontoria, agrupadas dentro de los siguientes apartados:

- Constitución física de la roca: color, densidad (ρ_d) y porosidad abierta o accesible al agua (n_o).
- Captación y transferencia de agua y de vapor por el seno de la piedra: contenido en agua en saturación (W_s), absorción libre de agua, desorción o evaporación, succión capilar (C) y permeabilidad al vapor de agua (K_v).
- Comportamiento mecánico: resistencia a la compresión (R_c) y umbral de microfisuración mecánica (UMM).

El color se ha determinado mediante una carta de colores basada en la escala Munsell (GODDARD et al., 1979). La densidad (ρ_d) y la porosidad abierta (n_o) se han calculado mediante normas ISRM, 1979. Sin embargo, hay que hacer notar que el secado se realizó a 60° C para evitar la inducción de daños en la roca, y el tiempo de inmersión de las rocas en agua al vacío fue de dos días. A partir del mismo ensayo en el que se determinaron las propiedades anteriores, se ha calculado el contenido en agua en saturación (W_s).

El coeficiente de capilaridad (C) se ha calculado siguiendo la norma francesa NFB-10.502 (MAMILLAN, 1981), con algunas modificaciones tomadas de la norma italiana CNR-ICR, NORMAL 11/82, 1983. Para la determinación de la permeabilidad al vapor (K_v) se ha seguido la norma CNR-ICR, NORMAL 21/85, 1985.

La resistencia a la compresión uniaxial se ha llevado a cabo según normas ISRM, 1981; determinándose al mismo tiempo el umbral de microfisuración mecánica, mediante la auscultación de la emisión acústica a lo largo del citado ensayo de compresión (HARDY, 1972). Se define dicho umbral como el nivel de carga a partir del cual comienzan a generarse y propagarse fisuras, debido a los esfuerzos compresivos aplicados.

El valor medio de las propiedades enumeradas se recoge en la tabla II. Como puede observarse, la densidad de la roca es relativamente baja, lo

que está de acuerdo con el elevado valor de la porosidad abierta —alrededor del 20 por 100— y el alto contenido en agua en saturación. El coeficiente de capilaridad es también relativamente elevado, mientras que la permeabilidad al vapor de agua no es muy alta, considerada siempre en términos relativos.

TABLA II
Propiedades físicas

Color	10YR 9/2
Densidad, ρ_d	2.10 g/cm ³
Porosidad abierta, n_o	21.0 %
Contenido en agua en saturación, W_s	10.0 %
Coefficiente de capilaridad, C_{x100}	155 Kg/m ² · min ^{0.5}
Permeabilidad al vapor, K_v	7.0 g/m ² · 24h
Resistencia a la compresión uniaxial, R_c	24 MPa
Umbral de microfisuración mecánica, UMM	44 - 58 %

En las figuras 14 y 15 se representa la cinética de absorción libre de agua y de evaporación de este tipo rocoso. Se observa que absorbe toda el agua de que es capaz en unos pocos minutos y la pierde mucho más lentamente; no obstante, al final del ensayo de evaporación el contenido en agua es sumamente bajo.

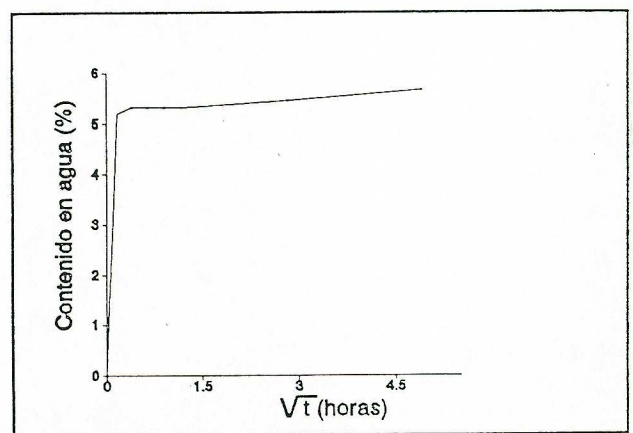


Figura 14.—Curva de absorción libre de agua por inmersión total: contenido en agua en función del tiempo.

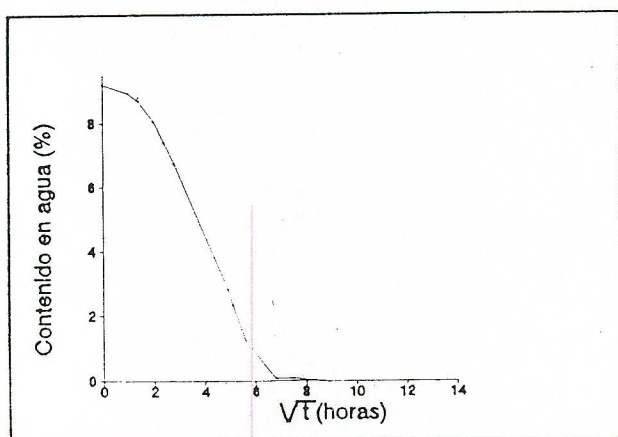


Figura 15.—Curva de evaporación: contenido en agua en función del tiempo. (Humedad del ambiente: 75 por 100).

Todas estas propiedades guardan relación con las características del sistema poroso, constituido por grandes poros comunicados por conductos mucho más pequeños, lo que retrasa la pérdida de agua y dificulta la transferencia de vapor de agua. La ausencia de poros con radios de acceso inferiores a $0,1 \mu\text{m}$ guarda relación con su baja capacidad higroscópica.

6. CONCLUSIONES

Entre las características significativas de la piedra de Hontoria, en su empleo como material de edificación, cabe destacar su color sumamente blanco, y su aspecto granudo y poroso. Sin embargo, al contacto con la intemperie, adquiere en poco tiempo una pátina de coloración gris, que se va intensificando por la acción de la contaminación atmosférica (polvos y hollines).

Desde el punto de vista composicional, se trata de una caliza muy pura, por lo que una vez puesta en obra, el proceso de alteración predominante es la disolución. En edificaciones construidas con esta piedra puede observarse que las zonas sometidas de forma permanente a la acción de la lluvia, resaltan por conservar el color blanco primitivo y por acentuar su aspecto granudo, como consecuencia de la disolución selectiva de sus componentes texturales.

La relación espacial entre los componentes de la roca —textura— es variable, pudiéndose distinguir variedades heterogranulares de grano grueso —tamaño de grano entre 1 cm y 1 mm—, de grano medio —tamaño medio alrededor de 2 mm—, y de grano fino —tamaño medio inferior a 0,5 mm—. Entre estos tipos texturales definidos pueden observarse todos los intermedios. En las edificaciones monumentales en las que se ha utilizado esta piedra, por lo general, se encuentran varios de los tipos texturales mencionados, siendo difícil encontrar una relación entre el tipo de textura y el período de edificación.

La configuración de su sistema poroso —formado por grandes poros conectados por accesos más pequeños—, explica el comportamiento de la roca frente a los procesos de sorción de agua y transferencia de vapor de agua, así como el valor de los parámetros que los definen (tabla II). A pesar de tratarse de una roca de elevada porosidad, la configuración tridimensional de sus espacios vacíos hace que expuesta a la intemperie, en climas no excesivamente húmedos, el agua que llega a ella difícilmente colmate todos sus espacios vacíos, por lo que la piedra de Hontoria va a tener un comportamiento aceptable frente a su acción, ya sea en fase líquida, sólida o de vapor.

Desde el punto de vista mecánico, es una roca de muy baja resistencia a la compresión uniaxial —24 MPa—, comparada con otras rocas sedimentarias similares utilizadas en edificación.

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Internacional de Ciencia y Tecnología (CICYT), Proyecto PAT91-1093-CO3-01: «Modelos de interacción piedra-ambiente para el diagnóstico del deterioro de la piedra monumental».

A la Consejería de Cultura y Turismo de la Junta de Castilla y León, Contrato B1-038-92: «Incidencia del ambiente en el deterioro de la piedra monumental».

REFERENCIAS

ALONSO, F. J. (1987): *Comportamiento hídrico de calizas y dolomías*. Boletín Geológico y Minero, 98-IV, pp. 555-576.

DE LOS RIOS, D. (1895): *La Catedral de León*. Monografía, tomos I y II, Biblioteca del «Resumen de Arquitectura» (Ed.: D. Antero de Oteyza), Madrid, 215 + 249 pp.

DUNHAM, R. J. (1962): *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.

ESBERT, R. M., y MONTOTO, M. (1990): *La petrografía y su aplicación a los estudios de las patologías de la piedra*. Curso de patología, conservación y restauración de edificios, tomo 1, Serv. Publ. Colegio de Arquitectos, Madrid, pp. 211-229.

FOLK, R. L. (1962): *Spectral subdivisión of limestone types*. Classification of carbonate rocks, W. E. Ham (Ed.), Symp. Am. Ass. Pet. Geol., 1, pp. 62-84.

GRANDSON CONSTRUCCIONES, S. A. (1947): *Piedra caliza de Hontoria, Burgos*. Grandson Construcciones, S. A., Madrid, 7 pp.

GODDARD, E. N.; TRASK, P. D.; FORD, R. K.; ROVE, O. N.; SINGEWALD, J. T., y QUERBECK, R. M. (1979): *Rock-Color Chart*. The Geological Society of America, Boulder, Co. U.S.A.

GOMEZ MORENO, G., y MUÑOZ DE LA NAVA, P. (1989): *La elección de los métodos de arranque de las rocas ornamentales*. Canteras y Explotaciones, 226, 52-60.

HARDY, H. R. (1972): *Application of acoustic emission techniques to rock mechanics research*. Acoustic Emission, A.S.T.M., S.T.P. 505, pp. 41-83.

ITGE (1970): *Mapa geológico E. 1:200.000, hoja n.º 20, Burgos*.

ISRM (1979): *Comission on Standarization of Laboratory and Fields Test*. Int. Journal Rock Mech. and Mining Sciences Geomech. Abstrats, vol. 16, núm. 2, Pergamon Press.

ISRM (1981): *Rock Characterization, Testing an Monitoring*. Int. Soc. Rock Mat. Suggested Methods, E. T. Brown (Ed.), 211 pp.

MAMILLAN, M. (1981): *Connaissances actuelles des problèmes des remontées d'eau par capillarité dans les murs*. The Conservation of Stone II. Proc. of the Int. Simp., Bologna, R. Rossi Manaresi (Ed.), pp. 59-72.

MARCOS, R. (1992): *Tratamientos de conservación aplicados a rocas carbonatadas: Catedral de León*. Tesis doctoral, Dpto. de Geología, Univ. de Oviedo, 273 pp.

NORMAL 7/81, C.N.R.-I.C.R. (1981): *Assorbimento d'acqua per immersione totale. Capacità d'imbibizione*. Roma, 5 pp.

NORMAL 21/85, C.N.R.-I.C.R. (1985): *Permeabilità al vapor d'acqua*. Roma, 5 pp.

OBIES, J.; TOLEDO, J. M., y LOPEZ, C. (1989): *Situación actual y perspectivas de desarrollo de las técnicas de extracción de piedras naturales*. Roc. Máquina, 1 t., pp. 15-29.

VALDEON, L.; ESBERT, R., y GROSSI, C. (1992): *Hidric properties of some spanish building stones: A petrophysical interpretation*. Mat. Res. Soc. Symp. Proc., vol 267, pp. 911-916.

Original recibido: Agosto de 1993.

Original aceptado: Agosto de 1993.