

Propiedades hídricas de algunos granitos ornamentales de la península ibérica con distintos acabados superficiales: interpretación petrofísica

Hydric properties of some iberian ornamental granites with different superficial finishes: a petrophysical interpretation

A. ROJO, F. J. ALONSO, R. M. ESBERT
Dpto. de petrología. Univ. de Oviedo

Fecha de recepción: 13-VIII-02
Fecha de aceptación: 8-XI-02

ESPAÑA

RESUMEN

El estudio analiza las diferencias en el comportamiento hídrico de tres granitos con diferentes acabados superficiales: pulido, corte de sierra y chorro de fuego. Estos granitos se comercializan con los nombres de Rosa Porriño, Rosavel y Blanco Alcázar. Las propiedades determinadas han sido: densidad, porosidad abierta, absorción libre de agua, absorción de vapor de agua, absorción de agua por capilaridad, evaporación y permeabilidad al vapor de agua. Los valores de las propiedades hídricas determinadas dependen fundamentalmente de las características texturales; tamaño de grano, microfisuras y porosidad abierta y, en menor medida, de los acabados superficiales.

SUMMARY

Some physical properties of three ornamental granites with different superficial finishes (polished, sawn and flamed) were quantified by standard tests. These granites are commercially known as Rosa Porriño, Rosavel and Blanco Alcázar. The determined properties were: density, open porosity, water absorption, capillarity, evaporation, vapour absorption and water vapour permeability. The values of the hydric properties in the studied granites fundamentally depended on their textural characteristics, mainly grain size, micro cracking network and open porosity, and, to a lesser extent, on their superficial finish.

PALABRAS CLAVE: rocas ornamentales, granitos ornamentales, propiedades hídricas, acabado superficial de la piedra, petrofísica.

KEYWORDS: ornamental stone granite, hydric properties, stone surface finish, petrophysic.

1. INTRODUCCIÓN

Muchos monumentos y edificios histórico artísticos han utilizado el granito como material de construcción, fundamentalmente en aquellas zonas donde había afloramientos de este material y la geología hacía posible su explotación para la obtención de sillares y bloques. Actualmente, el desarrollo de las técnicas

1. INTRODUCTION

Many historic and artistic monuments and buildings have used granite as construction material, especially in areas where the condition of the outcrops and the geological peculiarities have facilitated the extraction of blocks or slabs. The current development of transport and construction techniques has led to the

constructivas y la facilidad en el transporte de mercancías permiten que los granitos comiencen a usarse en forma de losetas de revestimiento en zonas a veces muy alejadas de las áreas de producción.

Al mismo tiempo y por la demanda de los mercados se ha desarrollado una amplia gama de acabados superficiales: pulido, apomazado, flameado, abujardado, etc. (1,2). Esto se traduce en un amplio abanico de posibilidades a la hora de utilizar estos materiales en construcción y decoración.

Aunque en comparación con otras rocas el granito es resistente al deterioro, con el paso del tiempo también sufre procesos de alteración. Las propiedades hídricas de cada variedad juegan un importante papel en los procesos de alteración ya que condicionan los movimientos del agua en el seno de la roca. El acabado superficial puede influir en la capacidad de su superficie para absorber y retener agua y, por tanto, en su respuesta frente al deterioro.

2. GRANITOS SELECCIONADOS: CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS, ACABADO SUPERFICIAL E IMPORTANCIA INDUSTRIAL

Con el fin de estudiar la influencia que las características mineralógicas y texturales y los acabados superficiales tienen en las propiedades hídricas de rocas graníticas ornamentales, se han seleccionado tres tipos de granitos con tamaños de grano diferentes y tres tipos de acabados superficiales.

Los granitos seleccionados se conocen comercialmente con los nombres de Rosa Porriño, Rosavel y Blanco Alcazar. Se trata de rocas posthercénicas pertenecientes a la zona Centro Ibérica (3) las dos primeras proceden del sur de Galicia (noroeste de España) y la tercera del nordeste de Portugal. Todos ellos son granitos calcoalcalinos, con diferencias texturales, fundamentalmente variaciones de tamaño de grano.

El granito Rosa Porriño se localiza entre Vigo y Tuy (Pontevedra), en el macizo de Porriño, y es una de las tres facies que se encuentran en dicho macizo. Es un granito de grano grueso (5 a 30 mm), heterogranular, con tendencia pegmatítica (Fig. 1a). La producción anual de este granito es superior a las 500 t/año. Representa la mayor producción de granito de Europa y numerosos edificios, en todo el mundo, están contruidos con este granito: "Círculo de Bellas Artes" (Madrid-España), "La Domus" (La Coruña-España), "Torre Atlantic Center" (Atlanta-EE.UU), "Torre California" (San Francisco-EE.UU).

widespread use of granite in facing tiles, even in areas located far away from the product source.

At the same time, and due to a growing demand in the market, a new range of finishes and surfaces have been developed: polished, flamed, honed, bush hammering, sawn, etc. (1, 2). These new developments have led to a wider range of decorative possibilities for cladding.

Although granite is a rock that shows a relative resistance to deterioration when compared to other rocks, it is also altered by the passing of time. The hydric properties of each variety of granite play a definitive role in the process of its alteration, since they determine the water movements in the stone. The surface finish may also influence the surface capacity to absorb and retain water and, therefore, its long-term durability.

2. SELECTED GRANITES: PETROGRAPHIC CHARACTERISTICS, SURFACE FINISH AND INDUSTRIAL SIGNIFICANCE

Three different types of granites of diverse grain sizes and three different surface finishes have been selected in order to study the influence of mineral and texture characteristics and surface finishes on the hydric properties of ornamental granite rocks.

The selected granites are commercially known as Rosa Porriño, Rosavel and Blanco Alcazar. They are rocks of the postvariscan age from The Central Iberian Tectonic Area (3). The first two come from the South of Galicia (Northwest of Spain), whereas the third one is originated from the Northeast of Portugal. They are all calcoalcaline granites with different textural characteristics, mainly grain size variations.

Rosa Porriño Granite is one of the three facies of the Porriño Massif, located between Vigo and Tuy, in the Province of Pontevedra. It is coarse grained (5 to 30 mm), and it generally presents a pegmatitic texture (Fig. 1a). The production of this granite is higher than 500.000 t/year. This granite production is the greatest in Europe and numerous buildings around the world are constructed with Rosa Porriño: "Círculo de Bellas Artes" (Madrid-Spain), "La Domus" (La Coruña-Spain), "Atlantic Center Tower" (Atlanta-USA.), "California Tower" (San Francisco-USA.).

El granito Rosavel procede del pequeño macizo de Crespos en la localidad de Padrenda (Orense), muy próxima a la frontera con Portugal. En dicho macizo corresponde a la facies porfídica; es un granito de grano muy grueso y porfídico con cristales mayores de 30 mm (Fig. 2b).

El granito Blanco Alcázar procede de la región de Guarda (Portugal), se localiza al norte de Almeida, muy cerca de Ciudad Rodrigo (Salamanca, España). Aunque forma parte de los granitos porfídicos de Guarda, este granito corresponde a una facies no porfídica con tamaño de grano de fino a medio (2-5 mm) (Fig. 1c).

En todos los casos se trata de rocas similares con textura hipidiomórfica y heterogranular. Están compuestas esencialmente por cuarzo, feldespatos (microclina y plagioclasas) y micas (biotita y moscovita), con pocas diferencias en cuanto a sus porcentajes (Tabla I) y a su grado de alteración. Su porosidad es debida fundamentalmente a microfisuras. También se observan algunos microporos al microscopio electrónico de barrido (SEM). Los microporos se sitúan mayoritariamente en el núcleo de las plagioclasas (4) y las microfisuras son generalmente de tipo intergranular. La observación de la red fractográfica de estos granitos permite afirmar que el granito Blanco Alcázar es el que presenta fisuras de mayor recorrido y mayor apertura.

Rosavel Granite is originated from the porphyritic facies of the small Crespos Massif situated in Padrenda, Province of Orense, near the Portuguese border. It has a heterogranular texture and a very coarse grain size (more than 30 mm) (Fig. 2b).

Blanco Alcázar Granite comes from the Guarda Region (Portugal), in the North of Almeida, near the Spanish border. This granite shows important texture variations, the porphyritic being the dominant facies. The studied granite shows a fine to medium grained texture (2-5 mm) (Fig. 1c).

All the aforementioned rocks show a heterogranular and hypidiomorphic texture. They are mainly composed of quartz, feldspars (K feldspars-microcline and plagioclases) and micas (biotite and moscovite), displaying little differences with regard to mineral percentages and degrees of alteration (Table I). Their porosity is mainly due to microcracks. Micropores are also observed by Scanning Electronic Microscopy (SEM). These micropores are mostly situated in the core of the plagioclase crystals (4) and microcracks are generally intergranular. Blanco Alcazar is the granite that presents larger cracks with wider apertures.

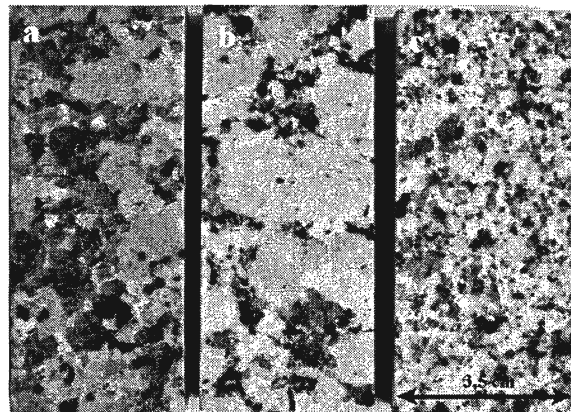


Figura 1.- Aspecto macroscópico de la textura de los granitos estudiados. a) Rosa Porriño, b) Rosavel, c) Blanco Alcázar. Obsérvense las diferencias texturales en relación al tamaño de grano.

Figure 1.- Macroscopic aspect of the texture of the studied granites. a) Rosa Porriño, b) Rosavel, c) Blanco Alcázar. Note the textural differences in relation to the grain size.

TABLA I/TABLE I

Composición mineral: análisis modal/(Mineral composition: modal análisis)

| GRANITO GRANITE | Cuarzo Quartz | Feldespato K Feldspar K | Plagioclasa Plagioclase | Biotita Biotite | Moscovita Moscovite |
|--------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|------------------------|
| Rosa Porriño | 33 % | 44 % | 19 % | 4 % | -- |
| Rosavel | 21 % | 49 % | 19 % | 11 % | -- |
| Blanco Alcázar | 34 % | 44 % | 13 % | 5 % | 4 % |

Los acabados superficiales seleccionados han sido: pulido, corte de sierra y chorro de fuego, acabados con los que se comercializan muy frecuentemente. Dichos acabados han sido obtenidos industrialmente, en plantas de elaboración de granito situadas en la zona de Porriño, de donde proceden las muestras analizadas.

Las superficies pulidas son sumamente planas y lisas, con ligeras variaciones en el grado de pulido alcanzado que guardan relación con la naturaleza de los minerales: el cuarzo es el que pule mejor y las micas peor. En este tipo de acabados destacan de forma nítida las fisuras y los poros. Mediante microscopía electrónica de barrido puede constatarse el resultado del proceso de pulido, y observar en detalle la disposición de los minerales y la red fractográfica (Fig. 2).

El corte de sierra produce superficies de aspecto rugoso, con una topografía escalonada, que afecta de modo similar a todos los componentes minerales. En este tipo de acabados son difíciles de distinguir fisuras y poros (Fig. 3): no obstante, pueden observarse, en los tres granitos, algunas fisuras intergranulares.

El chorro de fuego induce superficies más o menos onduladas, con las micas en las cumbres, los cuarzos en los valles y los feldspatos en posiciones intermedias. La microrrugosidad también es variable y guarda relación con la composición mineral (Fig. 4a y 4b). Las micas muestran formas redondeadas con señales de fusión en superficie, que dan lugar a la aparición de poros esféricos. El feldspato es mucho más anguloso (rompe por los planos de exfoliación) (Fig. 4c). El cuarzo presenta superficies con fractura concoidea y estrías en superficie (Fig. 4d). En todas estas superficies

The finish surfaces selected for testing are the following: polished, sawn, and flamed. These are the most common finishes that are commercially used with these granites. They have been manufactured in granite production plants situated in the Porriño area, where the samples were also collected.

The polished finish is almost totally flat and smooth, with only slight variations that depend on the final phase of the polishing process. Such variations are closely related to different mineral characteristics: quartz polishes up better than micas. Pores and cracks are visible in this kind of finish. Scanning Electronic Microscopy (SEM) is useful to check the effects of the finishing process and to observe the mineral arrangement in detail (Fig. 2).

The sawn finish leads to uniform rough surfaces, which are "steeped" depending on the mineral composition. Cracks and pores are hardly noticeable in this type of finish due to the high degree of surface roughness (Fig. 3). Nevertheless, it is possible to observe some intergranular cracks.

The flamed finish leads to more or less undulating surfaces: micas show positive relief, quartz shows negative relief and the feldspars are situated in intermediate positions. Micro roughness is also variable and it is closely linked to the mineral composition (Fig. 4a and 4b). Micas usually show a round shape and they may melt on the surface; when this occurs, they show rounded pores. Feldspar is much more angular and it crepitates by the exfoliation plans (Fig. 4c). Quartz shows conchoidal fractures and grooves on the surface, and some micro cracks may

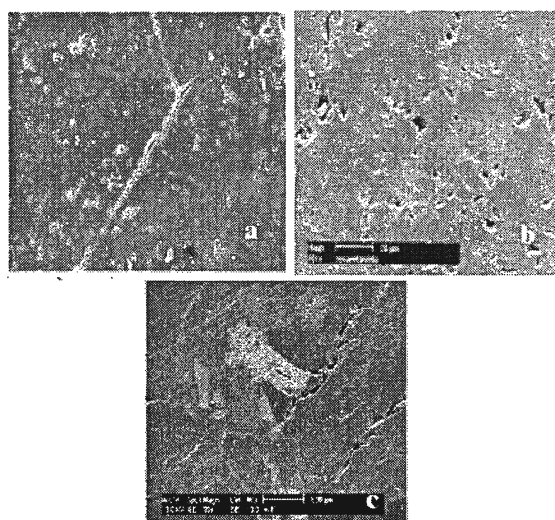


Figura 2.- Aspecto de tres muestras pulidas observadas al microscopio electrónico de barrido (SEM). Pueden observarse los microporos y microfisuras. a) Rosa Porriño b) Rosavel y c) Blanco Alcazar.

Figure 2.- Scanning electronic microscope (SEM) view of three polished samples. Note the micro pores and micro cracks and the different degrees of polish obtained by the different mineral types. a) Rosa Porriño granite, b) Rosavel granite, c) Blanco Alcazar granite.

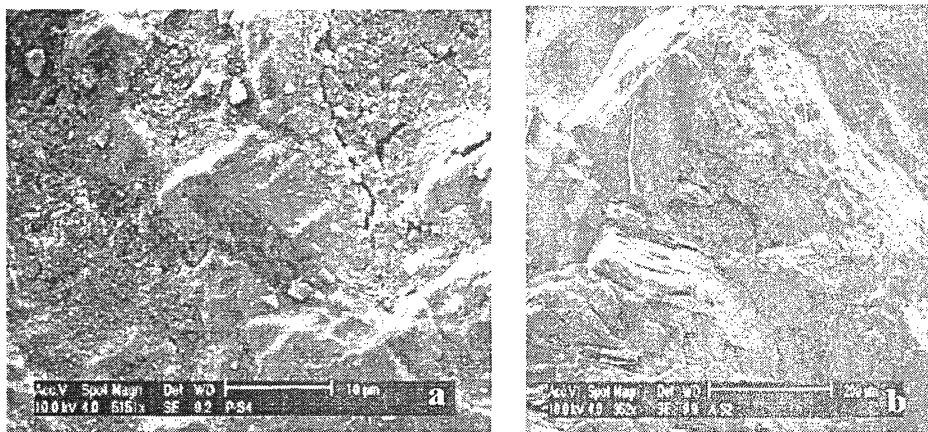


Figura 3.- Aspecto al microscopio electrónico de barrido (SEM) de la morfología de dos muestras cuyo acabado superficial es el corte de sierra. La topografía que induce este acabado hace difícil observar la distribución de los espacios vacíos, no obstante pueden observarse microfisuras intergranulares (granito Rosa Porriño) (a). Destaca el fuerte contraste topográfico entre los diferentes minerales (granito Blanco Alcázar) (b).

Figure 3.- Scanning electronic microscope (SEM) view of the morphology of two samples with a saw-cut finish. The topography induced by this kind of finish makes it difficult to observe the distribution of pore spaces; however, a) intergranular micro cracks can be observed in Rosa Porriño granite, b) note the strong topographic contrast between the different minerals (Blanco Alcázar granite).

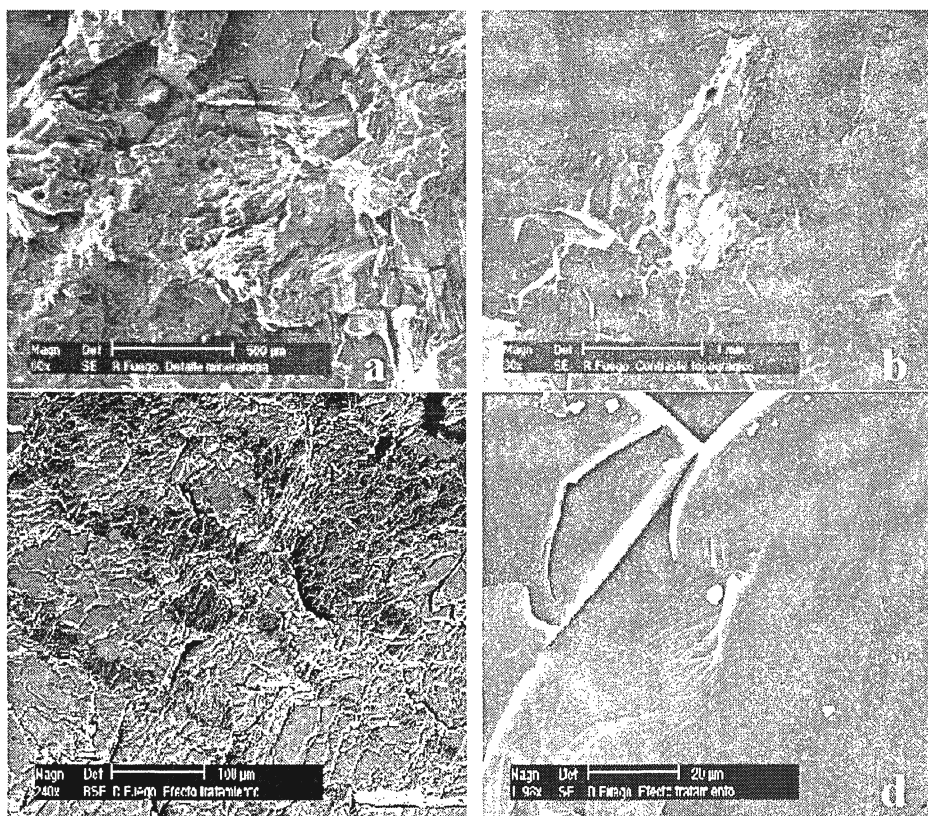


Figura 4.- Aspecto de la superficie de los granitos estudiados sometida a chorro de fuego. a) Puede observarse el contraste topográfico inducido por dicho acabado; las biotitas se presentan en las crestas y los cuarzos en los valles (b). En la micrografía (c) realizada al microscopio electrónico de barrido (SEM) puede observarse el aspecto que presentan los feldespatos sometidos a la acción del dardo de fuego. En (d), detalle de un cristal de cuarzo con sus típicas fracturas concoideas y con las estrías originadas por el choque térmico tras la aplicación del dardo de fuego.

Figure 4.- Aspects of the surface of the studied granites with a flamed finish with the scanning electronic microscope (SEM). Observe the topographic contrast caused by this surface finish; a) and b) biotites at the peaks and quartzes at the valleys. c) aspect of the feldspars submitted to the fire dart action. d) detail of a quartz crystal with its typical conchoidal cracks and with the grooves caused by the thermal crash after applying the fire dart.

puede observarse algunas fisuras, predominando las de tipo intergranular. Todos estos rasgos distintivos se producen por la respuesta de los diferentes minerales a la elevada energía transmitida por el dardo de fuego a la superficie de la roca. Durante el proceso de tratamiento, este fenómeno se asocia con el aspecto incandescente de la superficie sobre la que se aplica el dardo de fuego.

3. PROPIEDADES HÍDRICAS

La caracterización hídrica de una roca tiene por objeto evaluar la capacidad de captar o perder agua, ya sea en forma líquida o de vapor, y presenta gran interés para valorar el comportamiento de la misma frente a la alteración (5). Además, algunas rocas graníticas puestas en obra, pueden presentar manchas de humedad. Cuando las condiciones ambientales son desfavorables sobre estas rocas se generan problemas estéticos a corto plazo y a más largo plazo se favorecen los procesos de alteración diferencial, por ej., implantación y crecimiento de organismos vivos. La cuantificación de dichas propiedades hídricas en estas rocas de edificación es un aspecto importante que se documenta en este estudio.

Los ensayos hídricos realizados, junto a los parámetros obtenidos en cada caso, y las normas utilizadas para su determinación se recogen en la Tabla II. Se han ensayado 4 muestras para cada acabado y, por tanto, 12 para cada tipo de granito. En la Tabla III se presentan los valores obtenidos para los diferentes parámetros, en condiciones próximas al equilibrio. Los valores obtenidos para los distintos tipos de granitos y de acabados son muy similares y con frecuencia es difícil determinar si estas diferencias son significativas. Para ello se ha realizado un tratamiento estadístico de los datos. Se ha utilizado el análisis de varianza (test

also be observed (Fig. 4d). Intergranular fractures are the most common in all types of superfaces. All these features are the response of every mineral to the heat energy transmitted in the form of a crash (fire dart against the stone surface). During the treatment process, this phenomenon is associated to the glowing look of the stone surface on which the fire dart is applied.

3. HYDRIC PROPERTIES

The hydric characterization of a stone allows for the evaluation of its capacity to retain or lose water or water vapour, and it is a key element in evaluating the alteration behaviour of the stone (5). Furthermore, some granite samples may show humidity stains. When exposed to unfavourable weather conditions, they will generate aesthetic problems in the short term, and in the long term they will favour differential alteration processes such as the growth of living organisms. The quantification of the hydric properties of building stones is a key aspect in this process.

Table II shows the hydric tests carried out, together with the parameters obtained and the standards used to obtain the results. 4 sample tests for different superficial finishes and 12 for different granites are carried out. Table III shows the results obtained under near equilibrium conditions. Different granites and finish types gave very similar or equal results. To obtain a better view of the results, these were analysed statistically. Variance analysis was performed (Anova test) after checking that the samples represent the population and fulfil the conditions required for the test. A Kurskal Wallis test was applied when the mean

TABLA II/TABLE II

Propiedades hídricas: ensayos, parámetros y normas/Hydric properties: tests, parameters, and standards

| ENSAYO TEST | PARÁMETRO PARAMETER | NORMA STANDARD |
|--|--|-------------------|
| Absorción de agua al vacío <i>Vacuum water absorption</i> | - Contenido en agua en saturación (w_s) - <i>Water content in saturation (w_s)</i> | RILEM (1980) [6] |
| Absorción de agua <i>Water absorption</i> | - Contenido en agua (w) - <i>Water content (w)</i> - Grado de saturación (S) - <i>Saturation degree (S)</i> | NORMAL 7/81 [7] |
| Absorción de vapor de agua <i>Water vapour absorption</i> | - Contenido en agua (w) - <i>Water content (w)</i> - Grado de saturación (S) - <i>Saturation degree (S)</i> | |
| Desorción de agua <i>Evaporation</i> | - Contenido en agua (w) - <i>Water content (w)</i> - Grado de saturación (S) - <i>Saturation degree (S)</i> | NORMAL 29/88 [9] |
| Succión capilar <i>Capillary water absorption</i> | - Coeficiente de capilaridad (C) - <i>Capillary absorption coefficient (C)</i> | NORMAL 11/85 [10] |
| Permeabilidad al vapor de agua <i>Water vapour permeability</i> | - Coeficiente de permeabilidad al vapor (K_v) - <i>Permeability coefficient (K_v)</i> | NORMAL 21/85 [11] |

Anova) tras comprobar que la muestra es representativa de la población y que cumple las condiciones requeridas para este test, y se ha aplicado la prueba de Kruskal Wallis cuando dentro de cada grupo la media no presenta una distribución normal o la varianza no es homogénea. El nivel de significación elegido es del 0,05%, es decir, la probabilidad de que las variaciones se deban al azar es del 5%.

El ensayo de *absorción de agua al vacío* (absorción forzada) tiene por objeto calcular la cantidad máxima de agua que admite la roca, denominada "contenido en agua en saturación". Este valor permite obtener el grado de saturación en posteriores ensayos de sorción. También se han calculado (siguiendo recomendaciones de la RILEM (6)) la "densidad de la roca seca" y la "porosidad abierta" o porosidad accesible al agua, íntimamente relacionadas con la capacidad sortiva de los materiales. En la Tabla IV se recogen los valores obtenidos para los tres tipos de granito y los respectivos acabados superficiales.

did not stand for the normal distribution of a group of values or when the variance was not homogeneous. The chosen signification level is 0.05%, therefore, the probability of random variations is 5%.

The vacuum water absorption test (forced absorption) is used to calculate the maximum water volume that a rock can admit, that is, the "water content in saturation". The saturation degree in further sorption tests may be obtained from this value. The test (RILEM recommendations (6)) also calculates the "dry rock density" and the "open porosity", or the porosity accessible to water. These values are closely related to the materials sorption capacity. Table IV shows the values obtained for the three types of granite with three different superficial finishes.

TABLA III/TABLE III
Propiedades hídricas: contenidos en agua y grados de saturación
(Hydric properties: values in water content and saturation degrees)

| GRANITO GRANITE Acabado superficial Finish surfaces | Absorción forzada Vacuum water absorption | Absorción de agua (7 días) Water free absorption (7 days) | | Absorción de vapor de agua (7 días) Water vapour absorption (7 days) | | Desorción de agua (7 días) Evaporation (7 days) | |
|---|---|--|--------------|--|--------------|--|--------------|
| | w _s (%) | w (%) | S (%) | w (%) | S (%) | w (%) | S (%) |
| Rosa Porriño Pulido/Polished | 0,49 ± 0,02 0,47 | 0,37 ± 0,02 0,35 | 75 ± 3 74 | 0,28 ± 0,01 0,28 | 57 ± 3 60 | 0,10 ± 0,01 0,09 | 20 ± 3 19 |
| Sierra/Sawn | 0,48 | 0,37 | 77 | 0,29 | 61 | 0,11 | 23 |
| Fuego/Flamed | 0,51 | 0,38 | 75 | 0,28 | 56 | 0,09 | 17 |
| Rosavel Pulido/Polished | 0,60 ± 0,03 0,56 | 0,45 ± 0,03 0,42 | 75 ± 2 74 | 0,31 ± 0,02 0,30 | 53 ± 2 54 | 0,12 ± 0,02 0,10 | 19 ± 3 20 |
| Sierra/Sawn | 0,63 | 0,47 | 75 | 0,33 | 53 | 0,14 | 22 |
| Fuego/Flamed | 0,60 | 0,46 | 76 | 0,30 | 50 | 0,10 | 16 |
| Blanco Alcázar Pulido/Polished | 0,62 ± 0,03 0,64 | 0,43 ± 0,03 0,46 | 68 ± 4 72 | 0,29 ± 0,01 0,29 | 46 ± 3 46 | 0,05 ± 0,01 0,05 | 8 ± 2 7 |
| Sierra/Sawn | 0,59 | 0,42 | 72 | 0,29 | 49 | 0,06 | 10 |
| Fuego/Flamed | 0,64 | 0,41 | 64 | 0,28 | 44 | 0,05 | 8 |

TABLA IV/TABLE IV
Densidad y porosidad/Density and porosity values

| GRANITO GRANITE Acabado Superficial Finish surfaces | DENSIDAD DE LA ROCA SECA (kg/m ³) DRY ROCK DENSITY (kg/m ³) | POROSIDAD ABIERTA (%) OPEN POROSITY (%) |
|---|--|--|
| R. Porriño Pulido/Polished | 2602 ± 1 2602 | 1.26 ± 0.05 1.23 |
| Sierra/Sawn | 2603 | 1.25 |
| Fuego/Flamed | 2600 | 1.32 |
| Rosavel Pulido/Polished | 2593 ± 6 2596 | 1.55 ± 0.09 1.46 |
| Sierra/Sawn | 2596 | 1.64 |
| Fuego/Flamed | 2586 | 1.56 |
| Blanco Alcázar Pulido/Polished | 2602 ± 3 2601 | 1.63 ± 0.07 1.67 |
| Sierra/Sawn | 2605 | 1.55 |
| Fuego/Flamed | 2599 | 1.66 |

Los valores obtenidos de “contenido en agua en saturación” son bajos, oscilan entre 0,49 y 0,62%, acordes con lo previsible en este tipo de rocas de baja porosidad abierta (entre 1,26 y 1,63%). El contenido en agua en saturación más bajo corresponde al granito Rosa Porriño y el más alto al Blanco Alcázar. Analizados estadísticamente todos estos valores, a pesar de ser las diferencias existentes muy pequeñas, resultan significativas cuando se considera el tipo de granito y no significativas para los acabados. En consecuencia, el acabado superficial no parece que influyan en la porosidad del material ni en el contenido en agua en saturación, en losetas de 2 cm de espesor.

En el ensayo de *absorción de agua* se determina el “contenido en agua” en función del tiempo. Atendiendo a los distintos granitos se observa que Blanco Alcázar y Rosavel muestran valores similares aunque el granito Rosavel absorbe más agua (Tablas III y IV). En cuanto a los acabados el pulido absorbe menos agua siendo las diferencias encontradas significativas. Las “curvas de absorción de agua” muestran la cinética de este proceso (Fig. 6). El comportamiento cinético es similar en todas las muestras: la absorción inicial es muy rápida (a la hora de ensayo el grado de saturación es del 51%) y después se hace cada vez más lenta (67% a los dos días y 73% a la semana).

La *absorción de vapor de agua* se ha realizado en una cámara a 25 °C de temperatura y 95% de humedad relativa y como en el caso anterior se ha determinado el “contenido en agua” en función del tiempo (Tabla III). Entre los granitos, Rosavel es el que absorbe más vapor de agua, Porriño y Blanco Alcázar muestran valores similares. En cuanto a los acabados las diferencias encontradas también son significativas, en este caso el corte de sierra tiende a absorber más vapor de agua y el chorro de fuego menos, en todos los granitos. El comportamiento cinético también es similar en todas las muestras, y parecido al que presenta el agua líquida (Fig. 5). La absorción inicial es muy rápida al inicio y disminuye enseguida (el grado de saturación alcanzado es del 41% a la hora de ensayo, 49% a los dos días, 52% a la semana y 54% a las dos semanas).

La *desorción de agua o evaporación* se ha realizado, a partir de muestras saturadas a 20 °C de temperatura y 60% de humedad relativa y se ha determinado el “contenido en agua” en función del tiempo (Tabla III). El granito Blanco Alcázar es el que seca mejor: el agua retenida al final del ensayo es siempre menor. Rosavel retiene más agua que Rosa Porriño. Respecto al acabado las muestras con corte de sierra retienen más agua, siendo esta diferencia estadísticamente significativa, también se observa cierta tendencia del

The obtained values of “water content in saturation” are low, ranging from 0.49% to 0.62 %, which is characteristic of this kind of rock of low open porosity (between 1.26 and 1.63%). The lowest value corresponds to Rosa Porriño granite and the highest is attributed to Blanco Alcázar granite. Once these values were statistically analysed, although the differences were very small, they were well correlated with the granite type but they didn’t show a dependency upon the type of surface finish. Therefore, the superficial finish for 2 cm-thick floor tiles does not significantly depend on either the water content at saturation or the material porosity.

The water absorption test determines the “water content”, depending on the duration of the test. According to the different granite types, Table III shows that, Rosavel absorbs more water. Regarding the surface finish, the polished samples absorb less water, with significant differences found. The kinetics of this process is shown using the “water absorption curves” (Fig. 6). All samples behave in a similar manner showing a high initial absorption (saturation degree rises up to 51% in an hour) that gradually becomes slower (67% after two days and 73% seven days after).

In the water vapour absorption test, the “water content” is determined according to time (Table III). Of all granites, Rosavel is the one that absorbs most water vapour, whereas Porriño and Blanco Alcázar show values similar to each other. With regard to the finishes, in all granites, the saw-cut finish gives the highest values of vapour absorption whereas the flamed finish shows the lowest, with significant differences found. The kinetic behaviour is also similar in all the samples and it is analogous to that of the liquid water absorption test (Fig. 5). The initial absorption is also fast and it then decreases rapidly (the saturation degree amounts to 41% after 1 hour, 49% after two days, 52% one week later, and 54% two weeks later).

The evaporation test is carried out on the saturated samples at 20 °C and 60% Hr, and it determines their “water content” according to time (Table III). Blanco Alcázar granite is the one that dries the most, giving the smallest volume of retained water. Rosavel granite retains some more water than Porriño granite. As for the surface finish, saw-cut samples retain more water, presenting significant differences when compared to other surface finishes. Fireblast finishes have a tendency to dry better. The kinetic behaviour is

chorro de fuego a secar mejor. El comportamiento cinético es similar en todas las muestras (Fig. 6). El secado rápido inicial se mantiene a ritmo constante 9 horas, después la pendiente disminuye en seguida, alcanzando valores de equilibrio a la semana. La

similar in all samples (Fig. 6). The initial drying curve presents a constant slope during the first 9 hours, then the slope decreases, reaching equilibrium values after one week. The slope of the initial drying stage of kinetic

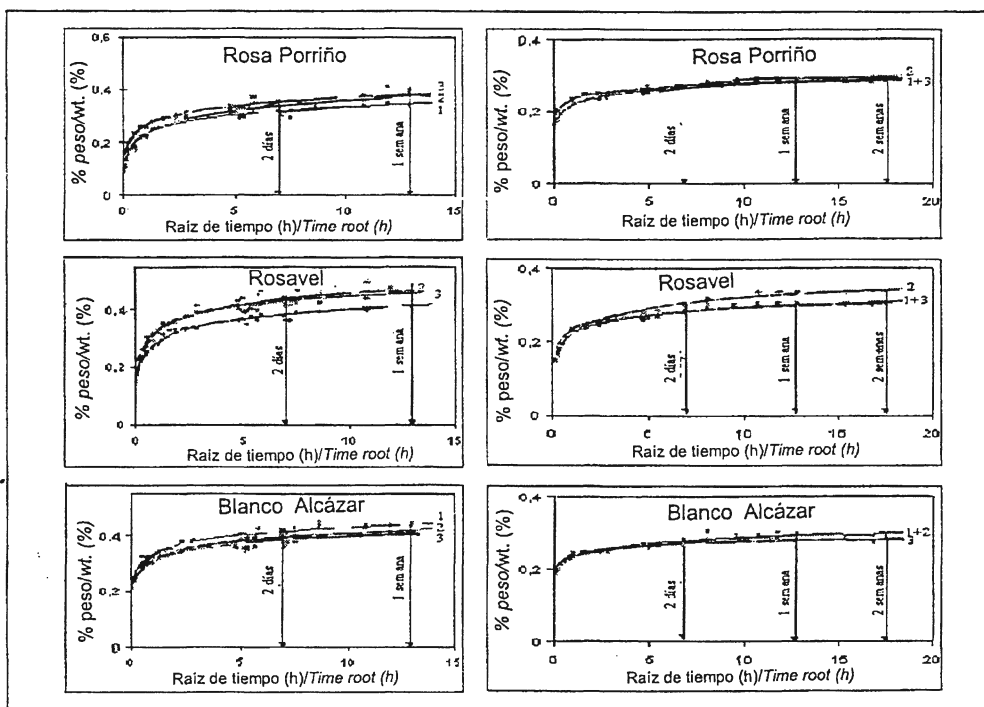


Figura 5.- Izqda.: Curvas de absorción de agua por inmersión total, en los tres granitos con distintos acabados superficiales: variación del contenido en agua en función del tiempo de inmersión. Dcha.: Curvas de absorción de vapor de agua en los granitos con distintos acabados superficiales (T: 25 °C, HR: 95%): variación del contenido en agua en función del tiempo [1 pulido, 2 sierra, 3 chorro de fuego].

Figure 5.- Right: Water absorption curves by total immersion, in three granites with different finishes surfaces: there is a variation of the water content depending on the time of immersion. Left: Water vapour absorption curves in the same granites (T: 25 °C, RH: 95%): there is a variation on the water content on time [1 polished; 2 sawn; 3 flamed].

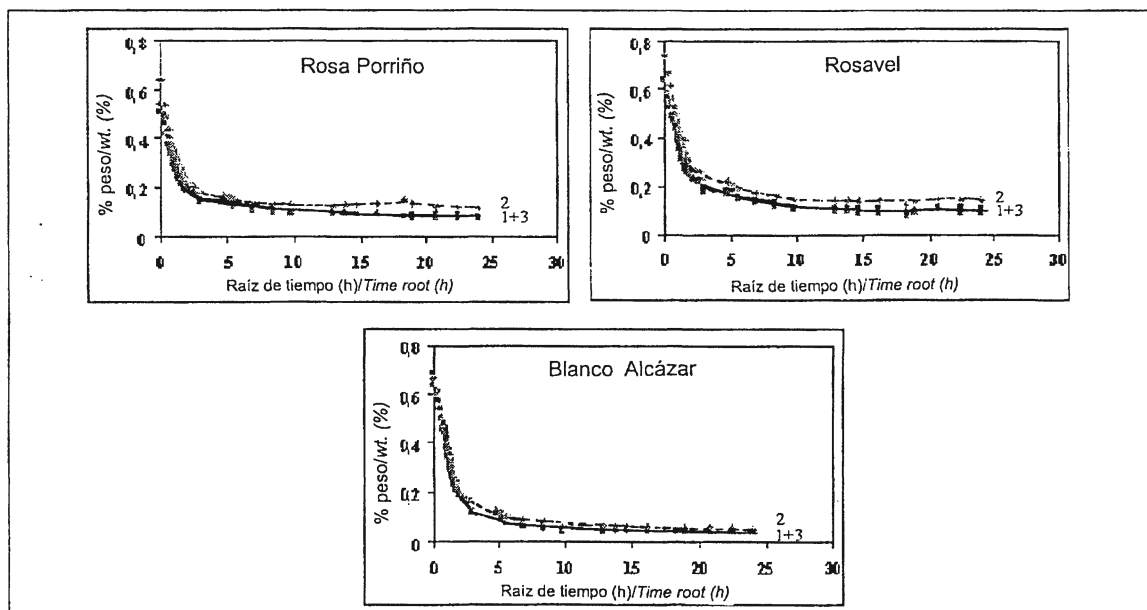


Figura 6.- Curvas de evaporación de agua de los granitos con distintos acabados superficiales (T: 20 °C, HR: 60%): variación del contenido en agua en función del tiempo de secado [1 pulido, 2 sierra, 3 chorro de fuego].

Figure 6.- Evaporation curves of menciónated granites with different finishes surfaces (T: 20 °C, HR: 60%): there is a variation of the water content on the drying time [1 polished; 2 sawn; 3 flamed].

pendiente del tramo recto inicial de las curvas de secado (coeficiente cinético, Tabla V) es mayor para el granito Blanco Alcázar, lo que concuerda con el mejor secado del mismo.

La absorción de agua por capilaridad se mantiene lineal durante casi una hora, determinándose en ese intervalo el “coeficiente de absorción capilar”. El ascenso del agua es difícil de observar y se ha calculado teóricamente el “coeficiente de penetración capilar”: altura que asciende el agua por unidad de tiempo (8). Los coeficientes obtenidos muestran diferencias significativas entre los granitos (Tabla V). El coeficiente de absorción capilar es menor en Rosa Porrino y mayor en Blanco Alcázar de acuerdo con la porosidad de los granitos. En cuanto a los acabados no se encuentran diferencias significativas.

En cuanto a la permeabilidad al vapor de agua las diferencias encontradas son muy pequeñas y no son significativas (Tabla V). No obstante, el “coeficiente de permeabilidad” tiende a aumentar con la porosidad.

4. INTERPRETACIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis de los valores de las propiedades hídricas en los tres granitos seleccionados, pone en evidencia que las características texturales inciden en los valores obtenidos. En todas las muestras analizadas, la cantidad de agua tomada, sea cuales fueren las condiciones de absorción (libre, capilar, higroscópica), depende fundamentalmente de la cantidad de espacios vacíos que presentan los distintos granitos (porosidad) y, en menor medida, de su tamaño y forma. Los granitos más porosos (Rosavel y Blanco Alcázar) muestran mayores

curves (kinetic coefficient, Table V) is higher for the Blanco Alcázar granite variety, proving its better drying quality.

Capillary water absorption follows a constant rate for almost one hour. During this period of time, the “capillary absorption coefficient” is determined. It is difficult to observe the water columns, so the “capillary penetration coefficient” (increase of the water height per time unit) has to be theoretically calculated [8]. The coefficients obtained show significant differences among the three granites (Table V). Rosa Porrino has the lowest capillary absorption value, whereas Blanco Alcázar shows the highest in accordance with its porosity. As for the finishes, no significant differences have been found.

Water vapour permeability (Table V) shows low values for all samples. Due to these results, no correlation can be established for the values of different granite and finish types. However, the “permeability coefficient” tends to increase along with porosity.

4. INTERPRETATION AND CONCLUSIONS

After studying the hydric behaviour of the three granite types that were selected, it is confirmed that textural characteristics influence the resulting values. In all the studied samples, the amount of water taken in, regardless of the absorption conditions depends mainly on the amount of voids (porosity) and, to a lesser extent, on the void size and shape. The higher the porosity (Rosavel and Blanco Alcázar), the higher the water contents, coefficients of capillary and vapour permeability. When differences in porosity between

TABLA V/TABLE V
Propiedades hídricas. coeficientes cinéticos/Hydric properties: kinetic coefficients

| GRANITO GRANITE Acabado Superficial Finish surfaces | Evaporación: tramo rápido inicial Evaporation: first part of the curve | Succión capilar Capillarity water absorption | | Permeabilidad al vapor de agua Water vapour permeability |
|---|---|--|---|--|
| | | Coeficiente de absorción: C Absorption coefficient: C (kg/m ² ·h ^{1/2}) | Coeficiente de penetración: A Penetration coefficient: A (cm/h ^{1/2}) | |
| | Coeficiente Coefficient (h ^{1/2}) | | | Coeficiente: K _v Coefficient: K _v (g/m ² ·24 h) |
| Rosa Porrino Pulido/Polished | 0,160 ± 0,025 | 0,039 ± 0,001 | 0,31 ± 0,01 | 11 ± 1 |
| Sierra/Sawn | 0,137 | 0,039 | 0,32 | 12 |
| Fuego/Flamed | 0,156 | 0,039 | 0,31 | 11 |
| | 0,187 | 0,039 | 0,30 | 9 |
| Rosavel Pulido/Polished | 0,179 ± 0,014 | 0,059 ± 0,001 | 0,38 ± 0,06 | 13 ± 2 |
| Sierra/Sawn | 0,165 | 0,054 | 0,37 | 12 |
| Fuego/Flamed | 0,182 | 0,054 | 0,33 | 11 |
| | 0,192 | 0,070 | 0,45 | 15 |
| Blanco Alcázar Pulido/Polished | 0,222 ± 0,003 | 0,075 ± 0,005 | 0,47 ± 0,04 | 14 ± 3 |
| Sierra/Sawn | 0,225 | 0,078 | 0,48 | 18 |
| Fuego/Flamed | 0,222 | 0,078 | 0,50 | 11 |
| | 0,226 | 0,070 | 0,42 | 14 |

contenidos en agua y coeficientes de capilaridad y de permeabilidad al vapor de agua más altos. Cuando las diferencias de porosidad entre los granitos son pequeñas influye también el tamaño de los espacios vacíos y la tortuosidad de los mismos. Así, el granito Rosavel -a pesar de ser algo menos poroso-, absorbe más agua y vapor de agua, debido respectivamente a la menor tortuosidad y menor tamaño de sus espacios vacíos. La evaporación depende fundamentalmente de la apertura de las fisuras, siendo mayor y más rápida al aumentar ésta. En este sentido, el granito Blanco Alcázar es el que seca mejor (Fig. 7).

En cuanto al comportamiento cinético puede afirmarse que los procesos sorptivos presentan una cinética similar en todos los granitos, con tres etapas diferenciadas: una de absorción rápida seguida de un cambio gradual de la curva durante el cual la sorción disminuye hasta que finalmente se alcanzan valores de equilibrio. Cabe resaltar que en el ensayo de desorción una vez alcanzado el equilibrio las muestras retienen un cierto contenido en agua.

En cuanto al tipo de acabado superficial las diferencias de comportamiento encontradas son muy pequeñas, no obstante, pueden resaltarse algunas tendencias significativas. Así la menor absorción de agua por parte de las muestras pulidas puede ser debida a que durante el proceso de pulido los espacios vacíos se rellenan con material procedente de la propia roca o de los abrasivos utilizados (Fig. 8). Las muestras cortadas con sierra absorben más vapor de agua y durante el secado retienen más agua; ambos hechos indican una mayor cantidad de espacios vacíos de pequeño tamaño, que se

granites are small, the void size and tortuosity still influence on the final results. Therefore, although Rosavel granite is not so porous, it absorbs more water and water vapour due to the winding of its voids and to the smaller size of its cracks. Evaporation depends mainly on the size of the cracks: the bigger the cracks, the higher the level of evaporation. Thus, Blanco Alcázar granite is the one that dries best in accordance with its large crack aperture (Fig.7).

The kinetic behaviour confirms that the sorptive processes display similar kinetics in all granite types, showing three different stages: an initial fast phase, followed by a gradual change of slope during which the sorption becomes slower, and a final stage where the equilibrium values are reached. It should be underscored that, when desorption tests are carried out, once equilibrium is reached the samples retain a certain amount of water.

As for superficial finish surfaces, the behavioural differences that have been found are very small; however, it is interesting to point out some significant tendencies. The reason why polished samples absorb less water may be that, during the polishing process, the voids are filled with crushed material coming from the rock itself or from the abrasive materials used (Fig. 8). The samples cut with a saw absorb more water vapour and retain more water during the drying process; both facts are due to the larger numbers of small voids that originate in the cutting process. The

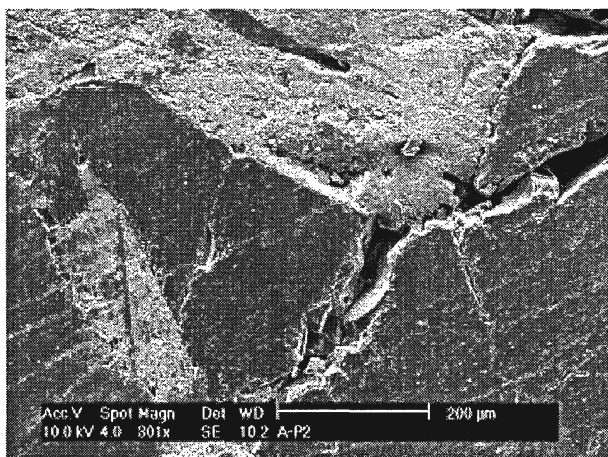


Figura 7.- Aspecto al microscopio electrónico de barrido (SEM) que presentan las fisuras del granito Blanco Alcázar. La apertura de éstas es mayor al que se observa en el granito Rosa Porriño o en Rosavel.

Figure 7.- Cracks in polished sample of Blanco Alcázar granite observed by scanning electronic microscope (SEM). The opening of microfissures is higher than that observed in other granites.

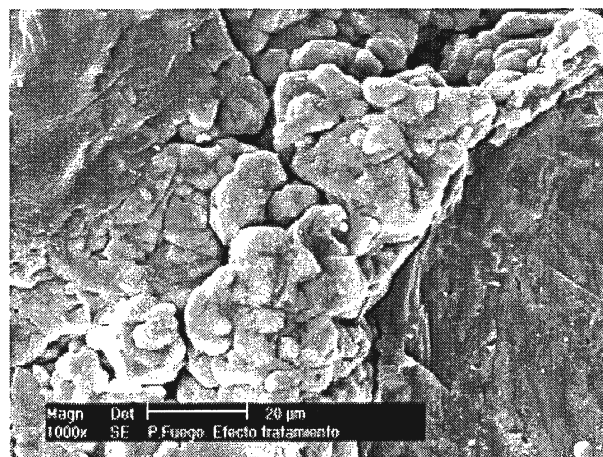


Figura 8.- Detalle del relleno de una fisura en un granito con acabado de corte de sierra al microscopio electrónico de barrido (SEM).

Figure 8.- Detail of a crack filling in Rosavel granite with the sawn finish surface by scanning electronic microscope (SEM).

atribuyen a un incremento de la microfisuración durante el corte. Las muestras tratadas con chorro de fuego secan mejor. Este hecho se atribuyen a la disminución de la microfisuración, a la apertura de las fisuras preexistentes y a la creación de pequeños microporos provocada por este tratamiento (Fig. 9). Finalmente señalar que las diferencias entre los distintos acabados superficiales son menores que entre los distintos granitos.

samples treated with flame dry better. This fact is attributed to the decrease in micro cracking, to the opening of the existing cracks and to the creation of small micro pores as a result of this treatment (Fig. 9). However, the divergences among superficial finish surfaces are less noticeable than those among different granites.

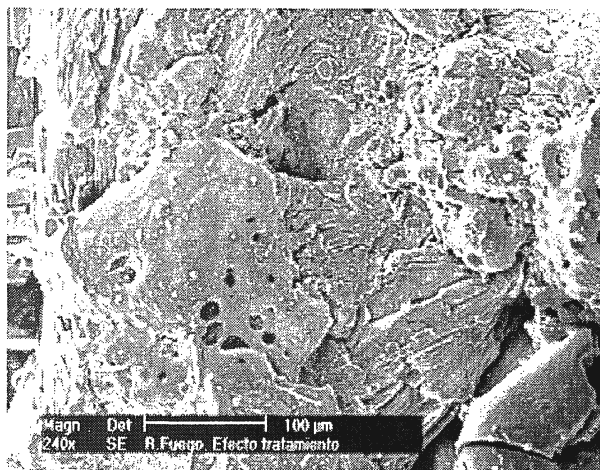


Figura 9.- Aspecto de detalle de una biotita al microscopio electrónico de barrido (SEM) con los microporos inducidos en su superficie tratada con dardo de fuego (granito Rosavel).

Figure 9.- Aspect of the biotite detail by scanning electronic microscope (SEM), with micro pores induced on the flamed surface (Rosavel granite).

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT), proyectos: 1 FD 97-0331-C03-01 y CICYT SEC 95-0501. También dar las gracias a Víctor Terente por el apoyo prestado en lo referente a la versión inglesa de este artículo.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to acknowledge the support of the Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología-Spain (CICYT), project: 1 FD 97-0331-C03-01 and CICYT SEC 95-0501. We are also grateful to Victor Terente for his assistance with the english version of this paper.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Roc Máquina, 1998. Anuario: "Piedras naturales de España". Ed. Roc Máquina SA, Bilbao. 678 p.
- (2) López Jimenez, C., 1996. editor. "Manual de Rocas Ornamentales". Entorno Gráfico S. L., Madrid.. 696 p.
- (3) Julivert, M., Fonbote, J. M., Ribeiro, A., Conde, L., 1972. "Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares". I.G.M.E.
- (4) Rojo A., Alonso, F. J., Eibert, R. M., 2000. "Influencia de las características mineralógicas y texturales en el comportamiento hídrico de rocas graníticas". Geotemas, V Congreso Geológico de España, Alicante, España julio 10-14, 2000.
- (5) Eibert, R. M., Ordaz J., Alonso F. J., Montoto M., Gonzalez, T., Alvarez del Burgo, M., 1997. "Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos". Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona, 126 p.
- (6) RILEM, 1980. "Essais recommandés pour mesurer l'altération des pierres et évaluation l'efficacité des méthodes de traitement / recommended test to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods". Matériaux et Constructions. Bull. RILEM, 13 (75): p. 216-220.
- (7) Normal 7/81, 1981. "Assorbimento d'acqua per immersione totale e capacità d'imbibizione", CNR – ICR, Roma.
- (8) Alonso, F. J., Eibert, R. M., Ordaz, J., 1984. "Comportamiento hídrico de calizas y dolomías". Boletín Geológico Minero, p. 555-576.
- (9) Normal 29/88, 1988. "Misura della perdita per evaporazione dell'acqua assorbita dal materiale", CNR-ICR, Roma.
- (10) Normal 11/85, 1985. "Assorbimento d'acqua per capillarità. coefficiente di assorbimento capillare", CNR-ICR, Roma.
- (11) Normal 21/8, 1985. "Permeabilità al vapor d'acqua", CNR-ICR, Roma.

* * *