

Estudio de la potencialidad como roca ornamental de los sills de diabasa en Alburquerque-Villar del Rey-La Roca de la Sierra-Puebla de Obando, NO de Babajoz

F.J. López Moro⁽¹⁾, A. Murciego⁽²⁾, M.A. Rodríguez González⁽²⁾,
M. Suárez Barrios⁽¹⁾ y J.M. Martín Pozas⁽¹⁾

(1) Departamento de Geología, Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca. Plaza de los Caídos, s/n. Salamanca.
E-mail: fjlopez@usal.es

(2) Área de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias. Universidad de Extremadura. Badajoz.

RESUMEN

En el sinclinal de La Codosera se encuentran intercalados con materiales supra-ordovícicos sills de diabasa de dimensiones inusuales en el territorio español (longitud kilométrica y potencia hectométrica). Las dimensiones de estos cuerpos y su color negruzco representan factores muy positivos para su explotación como roca ornamental. Se ha realizado un estudio de la potencialidad de estas rocas en cuatro zonas, seleccionadas por presentar los mejores afloramientos, los cuerpos de mayores espesores, aceptables vías de acceso, localización en pendiente y por la ausencia de posibles impactos ambientales. El estudio de la blocometría refleja un tamaño de bloque promedio extraíble siempre reducido, encontrándose los mayores tamaños en las zonas de Puebla de Obando y Villar del Rey. A partir de sondeos y de cortes realizados en diferentes afloramientos se ha puesto de manifiesto un modelo de zonado diferente para los sills meridionales y septentrionales, con una gran heterogeneidad hacia la parte de techo en este último caso. Las condiciones subsólidas son también diferentes en ambos dominios, con un predominio de texturas cataclásticas en los septentrionales y miloníticas en los meridionales, consecuencia directa de la Cizalla de Badajoz-Córdoba. Asimismo, los estudios petrográficos y de difracción de rayos X indican un espectro de minerales secundarios diferente en ambos dominios, con un predominio de anfíbol verde en el meridional y de clorita y sulfuros en el septentrional. Los ensayos mecánicos realizados revelan en todos los casos la excelente calidad de estas rocas como piedra natural.

Palabras clave: Badajoz, difracción por rayos X, estudio geológico, piedra natural, sill de diabasa

Study of the potentiality as ornamental rock of diabase sills from Alburquerque-Villar del Rey-La Roca de la Sierra-Puebla de Obando, NW of Badajoz

ABSTRACT

In the La Codosera syncline diabase sills with unusual size in the Spanish territory (kilometric length and hectometric width) are interleaved with supra-Ordovician metasediments. The large size of these bodies and their blackish colour are positive factors, thinking about their exploitation as ornamental rock. A systematic study of the potentiality of them as ornamental rock has been carried out in four zones. These areas have been selected for the following reasons: they show the best outcrops, the thickest sills, they outcrop in slopes, there are quite acceptable access roads, not to mention the lack of environmental impact. The study of the quarried-block size reflects a small average size in all cases. So, and bearing in mind this aspect, the most favourable areas are Puebla de Obando and Villar del Rey. According to some drillings and the study of different cross sections, a different model of zoning in the northern and southern sills has been established, with a large heterogeneity at the top of the latter. The subsolidus conditions are also different in both sectors, mainly with cataclastic textures in the northern sills, and mylonitic textures in the southern ones, conditioned in the last case by the Badajoz-Córdoba shear zone. Likewise, the petrographic study and the X-ray diffraction study show, as secondary mineral, a predominance of green amphibole in the southern sills, and chlorite in the northern ones. Different mechanical tests prove the excellent quality of these rocks as natural stone in all cases.

Key words: Badajoz, diabase sill, geological study, natural stone, X-ray diffraction

Introducción

En la actualidad, la región de Extremadura es la mayor productora de granitos negros, en el sentido

comercial del término, del territorio español llegando a comercializar 7 variedades: Negro Extremadura, Negro Fantasía, Negro Nevado, Negro Batalla, Negro Ocho, Negro Ocho Especial y Negro Villar. Los

seis primeros se encuentran en el Macizo de Burguillos del Cerro y de Valencia del Ventoso, siendo rocas plutónicas localizadas en stocks generalmente de geometría circunscrita y cuya composición varía entre dioritas biotítico-hornbléndicas \pm piroxeno y granodioritas biotíticas \pm anfíbol. Por el contrario, la variedad Negro Villar corresponde a un tipo de rocas félicas subvolcánicas que afloran en forma sills de longitud kilométrica y anchura hectométrica, cuyos componentes mineralógicos primarios están fuertemente transformados. Todas estas características justifican su clasificación como diabasas en el sentido utilizado por los autores anglosajones. A pesar de que tanto las diabasas como las doleritas, por sus excelentes características mecánicas, han sido utilizadas con profusión en capas de rodadura o en balasto, no es tan común su beneficio como roca ornamental, principalmente por yacer en cuerpos de dimensiones reducidas, y, sobre todo, por la imposibilidad de extraer bloques comerciales debido a su intenso diaclasado. Aunque fuera de la comunidad extremeña hay constancia de canteras de diabasas explotadas para roca ornamental (i.e. el lacolito de diabasas paleozoicas de Lucillo en León, Junta de Castilla y León, 1994), son las diabasas de la zona comprendida entre Alburquerque-Villar del Rey-La Roca de la Sierra-Puebla de Obando, en la provincia de Badajoz, donde, según nuestras investigaciones, mayor es el número de canteras de roca ornamental sobre diabasas. En la actualidad todas ellas se encuentran abandonadas excepto la que extrae la variedad Negro Villar en el municipio de Villar del Rey. Dicha profusión puede ser debida a las considerables dimensiones y abundancia de estos sills y, en ocasiones, a la gran belleza de alguno de los litotipos. A pesar del aparente gran potencial de estas rocas llama la atención la escasez de estudios geológicos y mecánicos al respecto que permitan evaluar de manera sistemática y objetiva su verdadero potencial como Piedra Natural. Por ello, en este trabajo se realiza una caracterización de las diabasas de este sector desde el punto de vista geológico, petrográfico y mecánico en cuatro zonas seleccionadas por ser más favorables para su posible explotación como roca ornamental.

Encuadre geográfico y geológico

Geográficamente el sector estudiado se encuentra en la provincia de Badajoz, entre las localidades de Alburquerque y las proximidades de Puebla de Obando (Fig. 1).

Desde el punto de vista geológico su adscripción al esquema de zonas en que se ha dividido el Macizo

Hespérico no es fácil ya que la zona estudiada se encuentra en el límite de dos de estas zonas. De hecho, algunos autores consideran este sector como una zona de transición entre la Zona Centroibérica y la Zona de Ossa Morena ya que muestra características propias de Centroibérica al norte y de Ossa Morena al sur (Campos y Gumiel, 1990). No obstante, existe un cierto consenso al considerar ésta como perteneciente a la Zona Centroibérica (entre otros, Farias *et al.*, 1987).

El sector estudiado corresponde a un nivel de observación bastante elevado ya que los materiales aflorantes presentan un metamorfismo de grado bajo que permite el desarrollo de aureolas de metamorfismo de contacto en torno a los granitoides hercínicos emplazados en este nivel.

Las diabasas estudiadas se encuentran en una estructura sinformal constituida por cuarcitas, pizarras y algún nivel de calizas de edad comprendida entre el Ordovícico y el Devónico (Campos y Gumiel, 1990). Esta estructura ha experimentado una intensa deformación dúctil en el flanco sur por el influjo de la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba (Campos y Gumiel, 1990). Con respecto a la edad de las diabasas, han sido consideradas mesozoicas (Junta de Extremadura, 1993), carboníferas (IGME, *in litt.*) o pre a sin-cinemáticas con respecto a las fases principales de la Orogenia Hercínica (Gumiel *et al.*, 2002), sin embargo dataciones recientes parecen sugerir una mayor antigüedad (López Moro y Murciego, en prep.). Asimismo, en la zona aparecen vestigios del dique dolerítico de Messejana-Plasencia (Fig. 1), una estructura Jurásica (Cebriá *et al.*, 2003) que recorre parte de España y Portugal cortando todas las estructuras hercínicas así como a los sills de diabasa considerados en este trabajo.

Metodología y selección de zonas

Dentro de la amplia zona estudiada existe un gran número de sills de diabasa (Fig. 1) pero sólo algunos de ellos presentan un potencial real para su uso como roca ornamental. En efecto, a pesar de que en las cartografías de la zona existen cuerpos de diabasa de gran espesor y corrida, como los de la zona NO y NE (Fig. 1), en realidad, la casi totalidad de ellos están compuestos de multitud de pequeños sills que son inapropiados para su explotación como piedra natural. Otro aspecto que es preciso considerar en su prospección es la falta de afloramientos ya que estas rocas, por su composición, son fácilmente alterables dando lugar, en la mayoría de los sills, a un conjunto de pequeños bolos centimétricos envueltos por una tierra pardo rojiza.

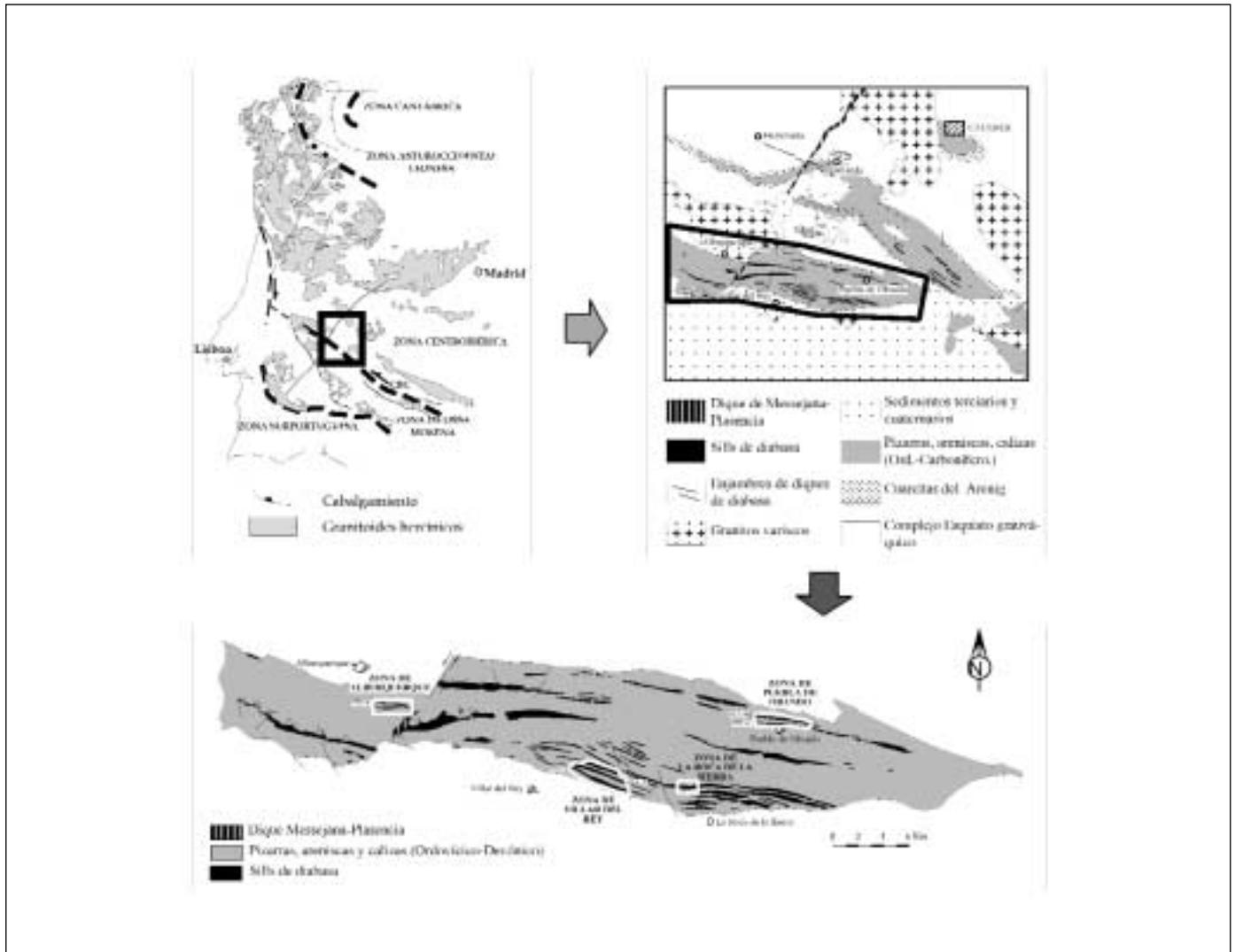


Fig. 1. Localización geográfica y geológica del área de estudio y zonas seleccionadas para el estudio de detalle
 Fig. 1. Geological and geographical location of the studied area and selected zones for the study in detail

A partir de trabajos previos de la zona (Junta de Extremadura, 1994) y de itinerarios geológicos planificados se han descartado multitud de zonas, seleccionándose cuatro, en las que los sills son realmente de gran espesor y donde la calidad de los afloramientos es aceptable. Además, estas zonas presentan generalmente buenas vías de acceso, bajo impacto ambiental en el caso de la apertura de una cantera y están localizadas en pendiente, factor favorable en su explotabilidad. Las zonas seleccionadas son las siguientes: Zona de Alburquerque, Zona de Villar del Rey, Zona de La Roca de la Sierra y Zona de Puebla de Obando (Fig. 1).

Una vez seleccionadas, se ha determinado el tamaño de bloque extraíble. Para ello se ha realizado un estudio de la fracturación, determinándose el

espaciado de cada familia de diaclasas, la dirección y buzamiento de dichos planos, así como de las fábricas planares allí donde aparecen. Se han realizado cortes transversales y sondeos mecánicos para conocer la extensión, el grado de homogeneidad y el atractivo de los diferentes litotipos que constituyen cada sill. Al ser rocas, en general, bastante transformadas, deformadas y fracturadas, se han recogido muestras para estudio petrográfico y difracción por Rayos X, técnicas a partir de las cuales se puede conocer la composición mineralógica, el grado de alteración, de la microfracturación y posibles porosidades. Finalmente, sobre los litotipos más favorables se han realizado diferentes ensayos mecánicos para comprobar si son rocas apropiadas para un posible uso como piedra natural.

Estudio de la fracturación y de la fábrica

Zona de Villar del Rey

En los dos sills estudiados se observan dos direcciones de diaclasado conjugadas prácticamente idénticas, N-10-42°E y N-110-130°E, con buzamiento subvertical (Tabla 1 y Figs. 2-I y 2-II). Los espaciados máximos son moderados (ver nomenclatura de Benito *et al.*, 1995) y varían entre 110 y 180 cm, siendo los mayores de todos los estudiados. El espaciado mínimo es pequeño, 4-5 cm y se obtienen bloques promedio de 37 x 40 cm y de 44 x 40 cm en los sills 2 y 3, respectivamente. Los espaciados promedio son mayores en el sistema N-10-42°E que en su conjugado (Tabla 1). Comparativamente, en el sill 3 predominan más los espaciados comprendidos entre 40 y 60 cm que en el sill 2, fundamentalmente en el sistema nortado (Fig. 2).

En esta zona aparece una fábrica planar postcristalina de dirección predominante N-110-140°E y buzamiento próximo a la vertical, similar, por tanto, a uno de los principales sistemas de diaclasado (Figs. 2-Ia y 2-IIa) lo que hace que no influya en su blocometría.

Zona de Puebla de Obando

A pesar de que en la zona aparecen un total de 6 sills, sólo se han considerado los dos de mayores dimensiones (Fig. 1). Las direcciones de fractura predominantes son similares en ambos sills, no así sus buzamientos (Figs. 3-Ia y 3-IIa; Tabla 1). Ambos sistemas pueden considerarse conjugados. Muestran una des-

viación de unos 10° en sentido antihorario con respecto a los de la zona anterior, al igual que ocurre con la dirección de estos cuerpos en cada zona. Este aspecto es especialmente evidente en el sill 1. Se aprecia que existe una mayor dispersión en las direcciones de fractura en el sill 4 que en el 1 (Figs. 3-Ia y 3-IIa). Los espaciados máximos son generalmente más pequeños (entre reducidos y moderados) que en la zona de Villar del Rey aunque los mínimos y promedios son ligeramente mayores; esto, estadísticamente, se traduce en bloques de mayores dimensiones (57 x 41 cm y 51 x 38 cm), los más grandes de todos los estudiados. Concretamente, el sill 1, desde el punto de vista de su blocometría, es el más favorable de todos los considerados en este trabajo. Por lo que respecta al sill 4, aunque presenta una mayor frecuencia en los espaciados entre 40 y 80 cm que el sill 1 (Figs. 3-IIc y d), sin embargo, los espaciados entre 0 y 20 cm son también mucho más frecuentes que en aquél (Figs. 3-Ib y 3-IIb) debido probablemente a un abanico más amplio de direcciones de fractura que no han sido computadas en los histogramas de las direcciones principales. Estas características hacen que su explotación sea menos favorable. En esta zona los sills considerados muestran un grado de anisotropía mínimo.

Zona de Albuquerque

El sill considerado es el de mayores dimensiones (sill 6) y en él se han diferenciado 3 sistemas de diaclasado, N-0-30°E, N-40-50°E y N-120-130°E (Fig. 4-Ia), pudiéndose considerar los dos últimos como conju-

Zona	Sill	Dirección Diaclasas (°E)	Espaciado Máximo (cm)	Espaciado Mínimo (cm)	Espaciado Promedio (cm)	Desv. estándar
Cant. Villar del Rey	2	10-42	110	5	37	22,7
Cant. Villar del Rey	2	110-120	130	5	40	21,0
Cant. Villar del Rey	3	11-42	180	4	44	28,0
Cant. Villar del Rey	3	110-130	160	5	40	24,9
Puebla de Obando	1	0-30	150	15	57	32,3
Puebla de Obando	1	90-100	94	10	41	24,5
Puebla de Obando	4	0-30	100	9	51	26,9
Puebla de Obando	4	110-120	70	10	38	17,7
Albuquerque	6	0-30	150	5	40	33,7
Albuquerque	6	40-50	100	10	38	33,5
Albuquerque	6	120-130	100	14	35	28,6
La Roca de la Sierra	1	0-10	102	8	31	25,3
La Roca de la Sierra	1	60-80	100	8	41	24,2

Tabla 1. Dirección de las familias de diaclasas y parámetros estadísticos de los espaciados para los sills de las zonas seleccionadas
Table 1. Strike of joints and spacing statistical parameters in the sills of selected zones

gados. Sus espaciados máximos son siempre moderados mientras que los mínimos corresponden a los mayores de las 4 zonas (Tabla 1), con un máximo de frecuencia en el rango 20-40 cm (Fig. 4-l). No obstante, el espaciado promedio es de los más bajos, lo que sugiere altas proporciones de espaciados de escasas dimensiones, sobre todo, en los sistemas conjugados. Es la única zona donde no se han observado anisotropías en la roca.

Desde el punto de vista de su blocometría, es la menos favorable por presentar 3 sistemas de fractura muy frecuentes y por la abundancia de sus espaciados reducidos.

Zona de la Roca de la Sierra

Presenta dos sistemas de fracturación principales que no llegan a ser ortogonales: N-0°-10°E y N-60-80°E (Fig. 4-IIa). El espaciado máximo es de los más bajos y el promedio es el más pequeño (Tabla 1 y figuras 4-IIc, d y e). Aparece una marcada fábrica planar postcristalina con una dirección N-70-80°E y buzamiento subvertical, similar al sistema de fracturación N-60-80°E, y otro oblicuo, más frecuente y no coincidente con ningún sistema de diaclasado (Fig. 4-IIa). Obviamente, esta última dirección de fábrica condicionaría su fracturación y por tanto su blocometría. Por otra parte, en esta zona, al igual que en la Zona de Villar del Rey, esta anisotropía es muy penetrativa y podría estar vinculada a la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba por su proximidad.

Estudio petrológico

Litofacies

En todos los sills considerados existen variaciones mineralógicas, texturales y de tamaño de grano en secciones perpendiculares a su máxima dimensión. Se ha comprobado que estas diferencias mesoscópicas muestran pautas diferentes según las zonas. Así, en los sills de las zonas meridionales la presencia de una facies de tamaño de grano muy grueso (pegmatóide) hacia uno de sus bordes le confiere una distribución asimétrica, por lo que este borde es muy heterogéneo y poco favorable para su explotación. De borde a centro la distribución de facies en estos cuerpos es la siguiente (Fig. 5):

- Facies de tamaño de grano muy fino en ambos bordes y de escaso desarrollo.
- Facies de grano fino con microenclaves de plagioclasa-anfíbol fuertemente alterados.

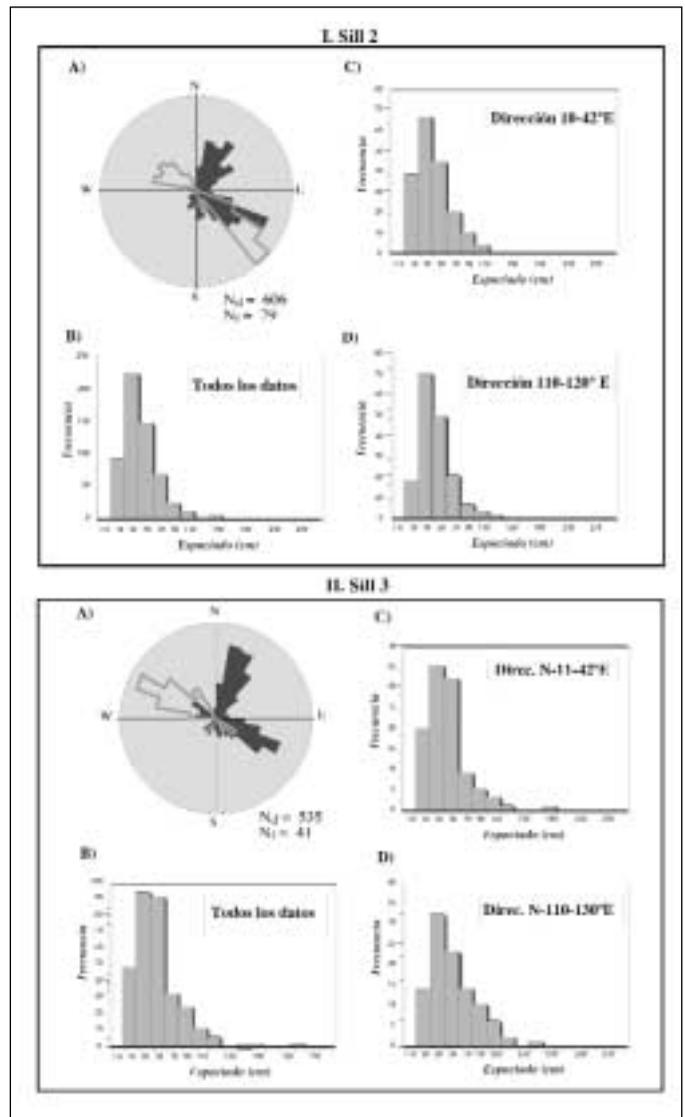


Fig. 2. Direcciones de los planos de diaclasa y fábrica planar, así como el espaciado de los planos de diaclasa en la Zona de Villar del Rey. I. Sill 2: a) Diagrama de rosas con la dirección y buzamiento de los planos de diaclasa (polígonos negros) así como la dirección y dirección de buzamiento de la fábrica (contorno vacío); N_d = número de planos de diaclasa; N_f = número de datos de fábrica planar. b) Histograma de los espaciados de todo el conjunto de espaciados del sill 2. c y d) Histogramas con los espaciados de las principales direcciones de diaclasa. II. Sill 3: idem al sill 2

Fig. 2. Joint and planar fabric strikes as well as joint spacing in the Villar del Rey Zone. I. Sill 2: a) Rose diagram with strike and dip of joints (black polygons) and strike and dip direction of planar fabric (empty outline); N_d = data number of joints; N_f = data number of planar fabric. b) Histogram of the whole spacing data in sill 2. c and d) Histograms of the spacing data for the principal joint strikes. II. Sill 3: idem to sill 2

- Facies pegmatóide a techo, que se corresponde con una zona de tamaño de grano fino en la parte de muro.

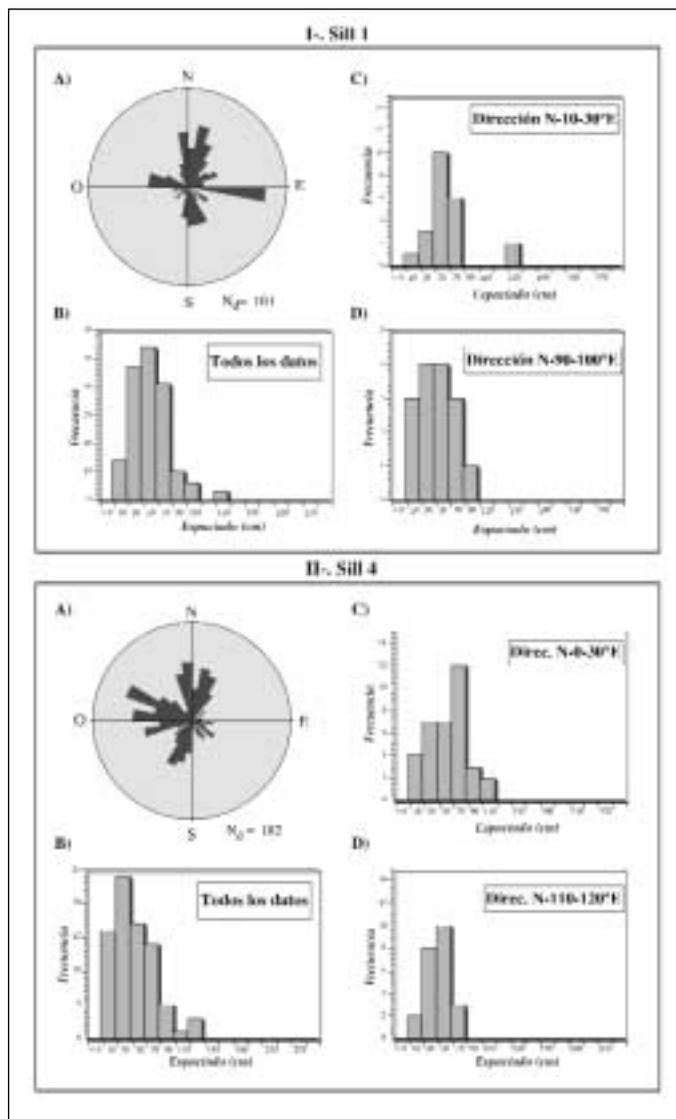


Fig. 3. Direcciones y espaciados de los planos de diaclasa en la Zona de Puebla de Obando. I. Sill 1: a) Diagrama de rosas con la dirección y buzamiento de los planos de diaclasa; Nd = número de datos de planos de diaclasa. b) Histograma con el conjunto de espaciados del sill 1. c y d) Histogramas con los espaciados de las principales direcciones de diaclasa. II. Sill 4: idem al sill 1
 Fig. 3. Strikes and spacing of joints in the Puebla de Obando Zone. I. Sill 1: a) Rose diagram with strike and dip of joints. Nd = data number of joints. b) Histogram of the whole spacing data in sill 1. c and d) Histograms of the spacing data of the principal joint strikes. II. Sill 4: idem to sill 1

d) Facies de tamaño de grano fino a medio, homogénea, con gran continuidad lateral y muy conspicua (Negro Villar) que se corresponde en el otro extremo del sill con una facie de tamaño de grano fino de gran continuidad, homogénea y de tonalidad más marronácea (Negro Encina Fino). Tanto la variedad Negro Villar como Negro Encina Fino son

por su homogeneidad y tonalidad muy vistosas y atractivas.

- e) Facies de tamaño de grano medio en ambos extremos, más heterogénea en el lado de techo.
- f) Facies de grano grueso heterogénea, que contiene una facies de gran belleza, menos hidrotermalizada, de tonos marronáceos (Negro Encina).

Esta zonación representa un carácter primario ya que, cuando los sills se encuentran plegados, esta asimetría de facies se repite en ambos flancos, sin embargo, el desarrollo de alguna de las facies podría estar condicionada por un mayor grado de fracturación, lo que provocaría la entrada de fluidos al sistema con mayor facilidad (Negro Villar vs. Negro Encina Fino).

Por lo que respecta a los sills más septentrionales (Puebla de Obando y Albuquerque), las pautas de variación son similares y conforme al siguiente patrón (Fig. 5):

- a) Facies de tamaño de grano muy fino, situada en los bordes, de escaso desarrollo, que, en ocasiones, se acompaña de una estrecha zona de milonitización.
- b) Facies porfídica, escasamente orientada, de gran continuidad lateral, con una mesostasis de tamaño de grano fino y fenocristales de plagioclasa de hasta 1 cm. Es una facies cuyos fenocristales de plagioclasa le imprimen un aspecto bronco a la roca, siendo estéticamente poco sugerente.
- c) Facies central, de tamaño de grano medio, con una orientación al azar de sus constituyentes mineralógicos principales (plagioclasa, clinopiroxeno, epidota). Esta facies presenta gran continuidad lateral, es muy homogénea y de estética atractiva. El paso de la facies porfídica a la de grano medio es brusco, sugiriendo la inyección de dos pulsos de magmas separados en el tiempo.

Estudio petrográfico

Texturalmente son rocas holocristalinas, faneríticas, equigranulares, a veces inequigranulares, seriadas cuando hay distintas generaciones de plagioclasa, de grano fino a grueso, con textura intersertal (muy frecuente) (Fig. 6a), intergranular y ofítica (Fig. 6b). En las facies de tamaño de grano más grueso de los sills meridionales se observan fuertes recrystalizaciones y orientaciones de sus componentes mineralógicos por efecto tectónico.

Son rocas cuya mineralogía original está constituida por clinopiroxeno (augita), plagioclasa, ilmenita y hornblenda marrón como minerales esenciales.

Como accesorios presentan cuarzo, apatito, circón y xenotima, y como secundarios, magnesiohornblenda, albita, actinolita, clorita, saussurita, epidota, óxidos de hierro, carbonatos, esfena, pirrotina, calcopirita, covellina, esfalerita, hematites, y pentlandita. La secuencia de cristalización de las fases minerales constituyentes queda reflejada en la tabla 2.

En cuanto a su nomenclatura, los términos de grano fino a medio son diabasas cuando están muy transformados y doleritas o microgabros cuando el grado de transformación es escaso, lo cual es poco común. Las facies gruesas son metagabros mientras que las muy gruesas son pegmatoides con gran cantidad de plagioclasa e ilmenita y menor de cuarzo y anfíbol verde. Todas las muestras aparecen retrogradadas en mayor o menor medida. Donde este proceso está más desarrollado el clinopiroxeno y el anfíbol marrón se han desestabilizado a anfíbol verde, la plagioclasa cálcica a saussurita más una nueva plagioclasa tipo albita u oligoclasa y la ilmenita se transforma total o parcialmente a esfena. El grado de transformación depende del porcentaje de fluidos que han circulado durante la historia subsólida que depende de la intensidad de la fracturación

Se ha constatado la existencia de ciertas diferencias texturales y mineralógicas entre los sills septentrionales y meridionales:

- En los meridionales aparecen frecuentemente texturas protomiloníticas o miloníticas siendo estas texturas muy escasas en los septentrionales, donde las texturas cataclástica y/o protocataclástica (de menor temperatura) son las predominantes. No obstante, en cualquiera de los casos, la roca es altamente cohesiva.
- El mineral opaco dominante en los sills meridionales es la ilmenita (fase primaria), mientras que en los septentrionales esta fase se encuentra mayoritariamente transformada fundamentalmente a titanita, sin embargo, son abundantes los sulfuros del tipo pirrotina y, en menor medida, calcopirita y pirita. Aparecen siempre diseminados y asociados a clorita o a haces de actinolita, por lo que todos ellos parecen estar relacionados. Se infiere una relación entre la deformación frágil (baja temperatura) y la aparición de sulfuros.
- En los sills septentrionales la clorita predomina sobre la actinolita (Fig. 6c) mientras que en los meridionales ocurre lo contrario (Fig. 6d).
- Por lo que respecta a los minerales neoformados con Ca, la epidota es más abundante en los septentrionales, mientras que en los meridionales, tanto el anfíbol como el apatito son abundantes. Este es el caso del Negro Villar.

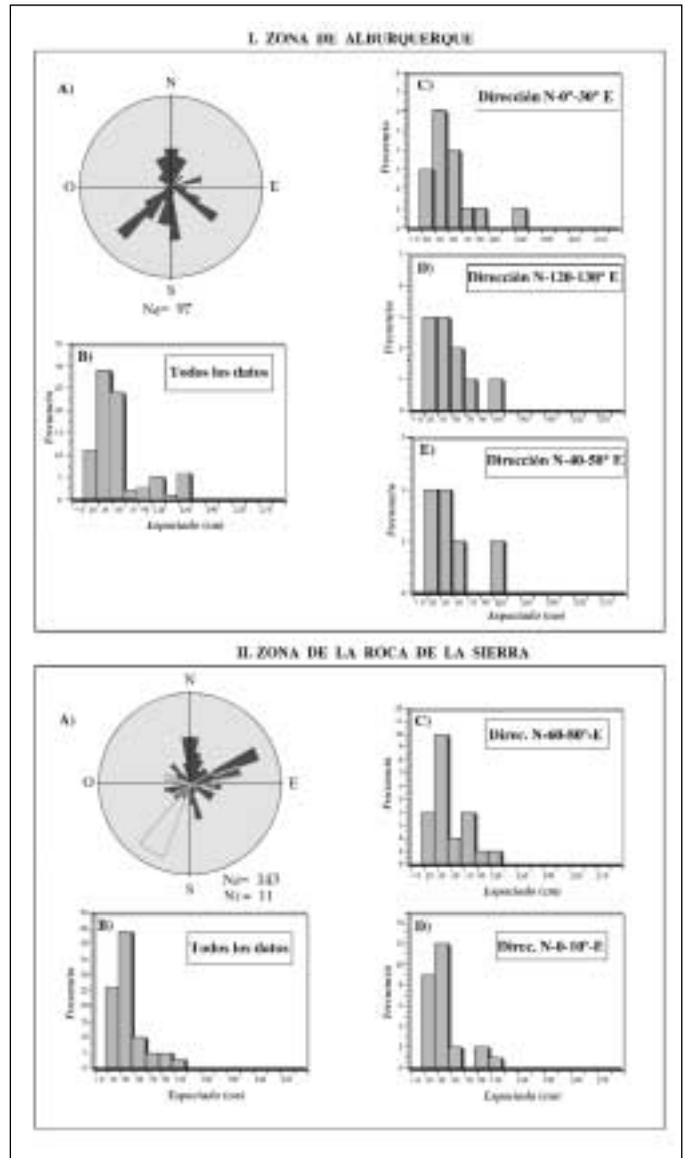


Fig. 4. Direcciones de los planos de diaclasa y fábrica planar, así como los espaciados de los planos de diaclasa en el sill 6 de la Zona de Albuquerque (I) y en la Zona de La Roca de la Sierra (II). I. a) Diagrama de rosas con la dirección y buzamiento de los planos de diaclasas; Nd = número de datos de planos de diaclasa. b) Histograma con el conjunto de espaciados del sill 6. c, d y e) Histogramas con los espaciados de las principales direcciones de diaclasa. II. a) Diagrama de rosas con la dirección y buzamiento de los planos de diaclasas (polígonos negros) así como la dirección y dirección de buzamiento de la fábrica (contorno vacío); Nd = número de datos de planos de diaclasa; Nf = número de datos de fábrica planar. b, c y d) idem a la Zona de Albuquerque

Fig. 4. Joint and fabric strikes as well as joint spacing in the sill 6 from Albuquerque Zone (I) and La Roca de la Sierra Zone (II). I. a) Rose diagram with strike and dip of joints. Nd = data number of joints. b) Histogram of the whole spacing data in sill 6. c, d and e) Histograms of the spacing data for the principal joint strikes. II. a) Rose diagram with strike and dip of joints (black polygons) as well as strike and dip direction of planar fabric (empty outline). Nd = data number of joints; Nf = data number of planar fabric. b, c and d) idem to Albuquerque Zone

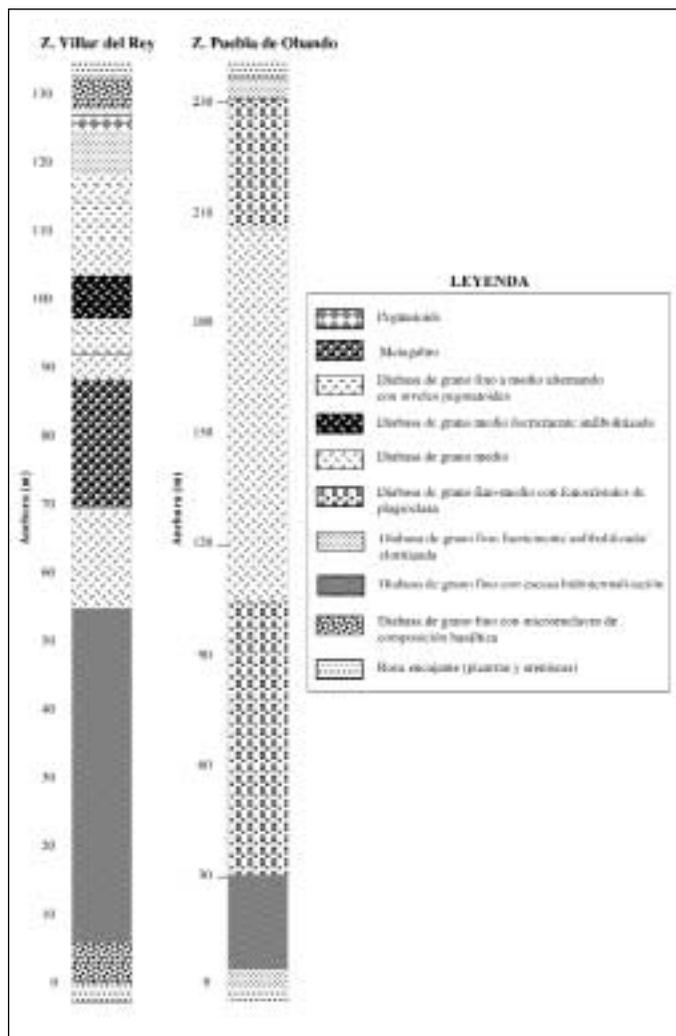


Fig. 5. Distribución de facies en los sills meridionales (a) y septentrionales (b). Para los sills meridionales se han considerado dos sondeos realizados en el sill 2 de la Zona de Villar del Rey. Para los sills septentrionales se han considerado distintos cortes realizados en la zona de Puebla de Obando

Fig. 5. Facies distribution throughout the southern (a) and northern sills (b). For the southern ones, two cored drill holes into the sill 2 in the Villar del Rey Zone have been considered. Different cross sections in the Puebla de Obando Zone were carried out in the northern ones

Estas diferencias parecen apoyar una historia subsólida diferente para ambos grupos de sills, condicionada por un tipo de deformación diferente, más dúctil hacia el sur, por el influjo de la cizalla de Badajoz-Córdoba, y más frágil hacia el norte.

Localmente, tanto el encajante metamórfico como alguno de los sills septentrionales muestran evidencias de haber experimentado metamorfismo térmico, originado por los granitos porfídico-biotíticos hercínicos tardíos cercanos (granito de Albuquerque). El influjo térmico origina en el encajante metamórfico

una blastesis de cordierita y andalucita (incluso de varios centímetros), mientras que en las diabasas queda patente en las fases secundarias, desarrollando agregados de cristales prismáticos de anfíbol y una plagioclasa secundaria más cálcica (oligoclasa ácida) que el resto de plagioclasas secundarias estudiadas. La composición de esta plagioclasa es indicativa de bajo grado metamórfico aunque en la zona de la oligoclasa, siendo, por tanto, de mayor temperatura que la albita.

Por otra parte, la abundancia de ilmenita y ausencia de magnetita primaria indican condiciones de baja fugacidad de oxígeno que, junto con el carácter precoz de la plagioclasa y la escasez o ausencia de olivino, son indicativos de la afinidad toleítica de estas rocas (Hughes, 1982), puesta de manifiesto geoquímicamente (López Moro *et al.*, 2001). Por otra parte, la mineralogía subsólida y la gran abundancia de pirrotina sugieren condiciones reductoras y de baja actividad de S.

Estudio por difracción de rayos X

El estudio por rayos X corrobora el estudio petrográfico aunque presenta serias limitaciones a la hora de establecer diferencias mineralógicas en fases minerales como las estudiadas, mayoritariamente silicatadas, con abundancia de soluciones sólidas, que, muy frecuentemente, constituyen series isomorfas. No obstante, se han observado diferencias claras al estudiar la amplia tipología existente. Gracias a esta técnica se han podido identificar fases minerales que no han sido reconocidas petrográficamente, como olivino y ortopiroxeno. Asimismo, ha permitido constatar en las muestras menos hidrotermalizadas, como las correspondientes a la variedad Negro Encina Fino, la presencia de plagioclasa y anfíbol como fases más abundantes, seguidas de clinopiroxeno y, en menor proporción, clorita. A medida que el grado de alteración hidrotermal progresa, aumenta la clorita, llegando a ser, junto a plagioclasa y anfíbol, minerales esenciales; asimismo desaparece el clinopiroxeno y aparecen trazas de mica y cuarzo. La mica es del tipo mica blanca y, probablemente, constituye un producto de alteración -sericita- de la plagioclasa.

Por otra parte, existe un conjunto de muestras correspondientes a la zona de Puebla de Obando en las que la plagioclasa y la clorita constituyen las fases mayoritarias, relegando a piroxenos y cuarzo a meros accesorios, siendo característica la ausencia o escasez de anfíbol. Otro hecho relevante es la abundancia de plagioclasa observada en algunas facies de tamaño de grano medio de esta zona y que podría indicar un proceso de acumulación.

Fases minerales	Evolución magmática	Evolución subsólidos			Fr. frágil
		G. medio-bajo (Z. Oligoclasa)	G. bajo (Z. Albita)	G. muy bajo	
Plagioclasa	--- -----	-----	---		
Clinopiroxeno	-----				
Apatito	----	---			
Ilmenita	----				
Hornblenda marrón	-----				
Cuarzo	--				---
Anfíbol verde		-----	---		---
Sulfuros		-----	---		----
Clorita		--	-----	--	---
Epidota		---	-----		
Esfena			-----		
Prehnita				-----	
Calcita					----

Tabla 2. Secuencia de cristalización magmática y subsólidos de los sills de diabasa estudiados
Table 2. Magmatic and subsolidus crystallization sequence of the studied diabase sills

Estudio mecánico

Las propiedades mecánicas de las diabasas objeto de estudio han sido determinadas a partir de los siguientes ensayos normalizados: peso específico y coeficiente de absorción, resistencia al desgaste por abrasión, resistencia a las heladas, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, microdureza Knoop y resistencia al choque. Con este fin, un total de 4 muestras se han seleccionado de las diferentes zonas estudiadas: dos de ellas (Negro Villar -NV- y Negro Encina Fino -NEF-) fueron tomadas del frente de cantera del granito Negro Villar y las otras dos

(Puebla de Obando -PO- y Albuquerque -AL-) de muestras de superficie. Las primeras no presentan alteración meteórica, estando escasamente presente en las de superficie, manifestada por una película milimétrica de óxidos. La muestra de Albuquerque corresponde a una diabasa de grano medio con evidencias de influjo térmico. La muestra de Albuquerque es un gabro con abundante epidota y evidencias de deformación frágil. La muestra del Negro Encina Fino y del Negro Villar son diabasas de grano fino y medio respectivamente y una fábrica interna postcristalina muy marcada. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.

Muestra Zona	NV Villar del Rey	NEF Villar del Rey	PO Puebla de Obando	AL Albuquerque
Absorción (%) UNE 22-172-85	0,08	0,05	0,09	0,14
Peso específico aparente (g/cm ³) UNE 22-172-85	3,04	3,03	3,04	3,01
Resistencia al choque (cm) UNE 22-179-85	72,5	90,0	80,0	82,5
Resistencia a la flexión (MPa) UNE 22-176-85	35,53	41,12	27,28	29,86
Resistencia a la compresión (MPa) UNE 22-175-85	205,41	200,06	216,09	337,51
Resistencia al desgaste por abrasión (mm) UNE-EN 1341 2000	17,50	17,00	16,67	15,67
Resistencia a las heladas (%) UNE 22-173-85	0,001	0,001	0,000	0,000
Microdureza Knoop (MPa) UNE 22-178-85	6988,54	4437,49	8102,80	7627,70

Tabla 3. Resultados de los ensayos normalizados en diabasas seleccionadas
Table 3. Results of normalized tests in selected diabases

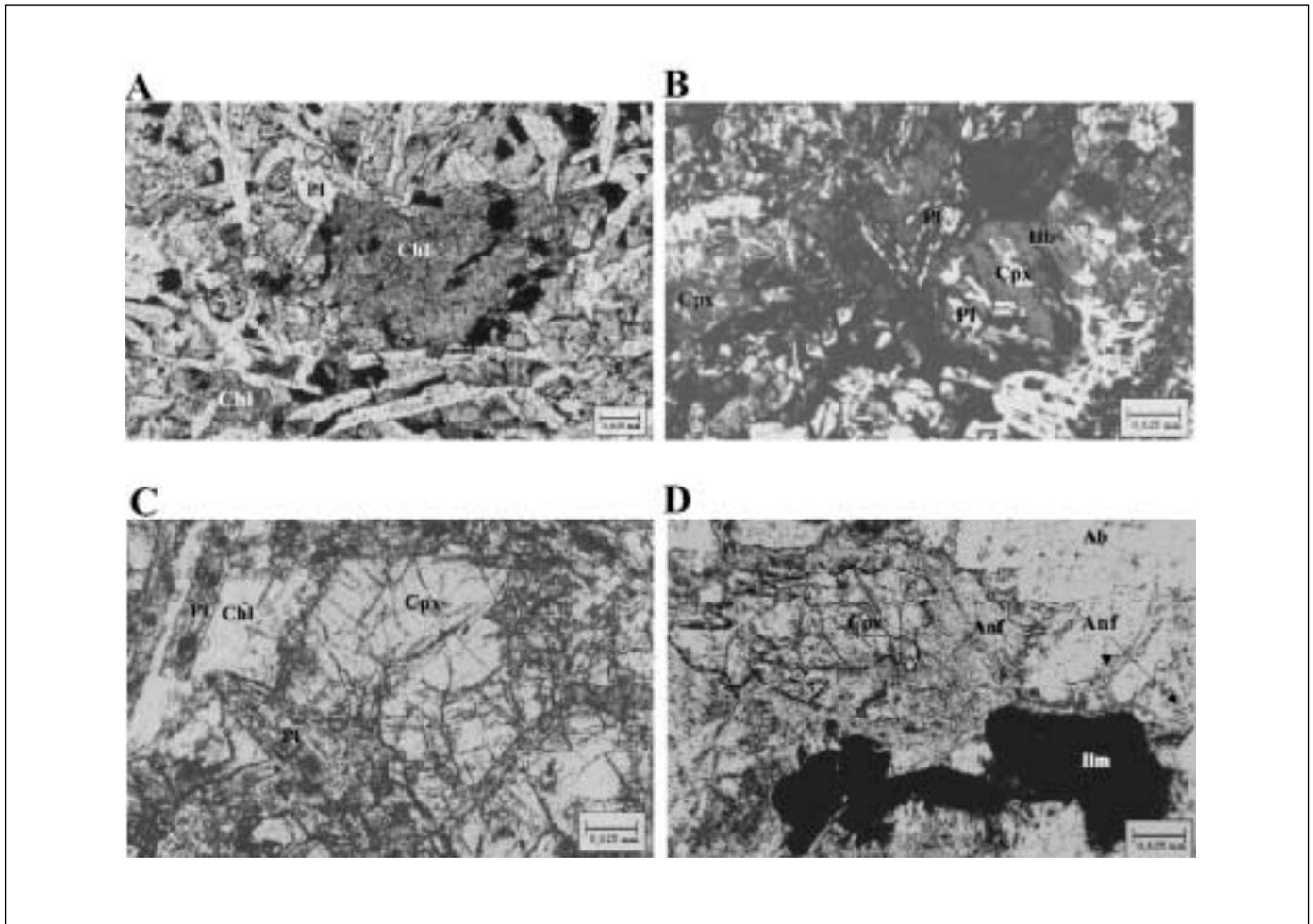


Fig. 6. Microfotografías de láminas delgadas de diabasas de las zonas seleccionadas. A) Textura intersertal en los sills septentrionales (Zona de Puebla de Obando); nicoles paralelos; Chl: clorita, Pl: plagioclasa (albita). B) Textura ofítica en los sills meridionales (Zona de Villar del Rey, facies Negro Encina Fino); nicoles cruzados; Cpx: clinopiroxeno, Pl: plagioclasa (labradorita), Hb: hornblenda marrón. C) Abundante clorita en los bordes de clinopiroxeno y reemplazando a plagioclasa en los sills más septentrionales (Zona de Albuquerque); nicoles paralelos; Chl: clorita, Pl: plagioclasa (albita), Cpx: clinopiroxeno. D) Anfíbol verde bordeando a clinopiroxeno y en grietas de plagioclasa de los sills meridionales (Zona Villar del Rey, facies Negro Villar); nicoles paralelos; Anf: anfíbol verde, Pl: plagioclasa (albita), Cpx: clinopiroxeno

Fig. 6. Thin section photomicrographs of diabases from selected zones. A) Intersertal texture in northern sills (Puebla de Obando Zone); plane-polarized light; Chl: Chlorite; Pl: plagioclase (albite). B) Ophitic texture in southern sills (Villar del Rey Zone, Negro Encina Fino facies); crossed nicols; Cpx: clinopyroxene, Pl: plagioclase (labradorite), Hb: brown hornblende. C) Abundant chlorite as rims around clinopyroxene and replacing plagioclase in northern sills (Albuquerque Zone); plane-polarized light; Chl: Chlorite; Pl: plagioclase (albite), Cpx: clinopyroxene. D) Pale green amphibole as rims around clinopyroxene and filling plagioclase cracks in southern sills (Villar del Rey Zone, Negro Villar facies); plane-polarized light; Anf: amphibole; Pl: plagioclase (albite), Cpx: clinopyroxene

Los resultados de los ensayos indican unas características similares para todas las variedades. Comparativamente, se observa que:

- 1) El coeficiente de absorción varía del siguiente modo: Albuquerque>Puebla de Obando>Negro Villar>Negro Encina Fino. Los mayores valores corresponden, por tanto a las muestras tomadas de superficie, es decir más meteorizadas.
- 2) La resistencia a la compresión es manifiestamente mayor en la muestra de Albuquerque,

seguida de Puebla de Obando, Negro Villar y Negro Encina Fino.

- 3) La microdureza Knoop es más elevada en Puebla de Obando, seguida de Albuquerque, Negro Villar y Negro Encina Fino, condicionado por la mayor o menor proporción de cuarzo.
- 4) La resistencia a la flexión es mayor en Negro Encina Fino, seguida de Negro Villar, Albuquerque y Puebla de Obando. En este caso parece que las muestras que han desarrollado una fábrica pla-

nar presentan los valores mayores debido a que su comportamiento mecánico se asemejaría más al de pizarras y esquistos, rocas de alta resistencia a la flexión.

- 5) La resistencia al choque es mayor en Negro Encina Fino seguido de Alburquerque, Puebla de Obando y del Negro Villar. Los mayores valores de este parámetro parecen corresponder a las muestras sin cuarzo, un mineral frágil.

A pesar de ser rocas transformadas hidrotermalmente, hay que destacar unas características técnicas muy superiores a la gran mayoría de granitos (en el sentido comercial de la palabra) que se comercializan actualmente.

Se constata, a partir de las características técnicas de estas rocas, que todas ellas, entre otras, cumplen las Normas Tecnológicas de la Edificación referente a revestimientos.

Conclusiones

Teniendo en cuenta las dimensiones de cada sill, la calidad de los afloramientos, la topografía y el posible impacto ambiental, se han seleccionado 4 zonas como las más favorables, pensando en una posible utilización como roca ornamental.

Considerando el conjunto de zonas, el tamaño de bloque obtenido es siempre reducido (<1m de arista) y las zonas más favorables, por su tamaño de bloque y por presentar las direcciones de diaclasado casi ortogonales, son las de Puebla de Obando y la de Villar del Rey. Este tamaño de bloque hace que no sea posible destinar este tipo de rocas a todo tipo de usos como roca ornamental. Por otra parte, existe una gran variedad de facies dentro de un mismo cuerpo aunque suelen presentar una relativa continuidad lateral. El modelo de zonación de estos cuerpos es relativamente sencillo en los sills septentrionales y más complejo en los meridionales, siendo las facies de techo poco aprovechables para roca ornamental por la gran variedad de facies. Existen diferencias texturales y de la mineralogía secundaria entre los sills más meridionales y los más septentrionales, debidas a las diferentes condiciones de P y T de la deformación. En base a las asociaciones de minerales secundarios presentes se infieren condiciones de grado metamórfico bajo y muy bajo. Los ensayos mecánicos realizados a las muestras de las zonas seleccionadas ponen de manifiesto la excelente calidad de estas rocas para cualquier tipo de uso como roca ornamental, siendo válidas tanto para interiores como exteriores. No obstante, las diabasas septentrionales, por su abundancia en sulfuros fácilmente oxidables como la pirrotina, su uso se limitaría

únicamente a interiores, sobre todo las facies más leucocráticas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado por el proyecto FEDER 1FD1997-1250. Los autores agradecen al Servicio General de Preparación de Muestras de la Universidad de Salamanca la labor realizada y a la empresa Granito Negro Villar las facilidades dadas.

Referencias

- Benito, A., Bustillo, M., Dinis da Gama, C., Echevarría, M.R., García, P., García, J.I., García del Cura, M.A., Gómez, J., Herrera, J., López, C., López, E., Llopis, G., Mataix, C., Ordóñez, S., Orche, E., Pinzari, M., Romero, T., Santiago, J.C., Santiago, V. y Zuazo, P. 1995. *Manual de rocas ornamentales. Prospección, explotación, elaboración y colocación*. Entorno Gráfico, S.L., 696 pp.
- Campos, R. y Gumiel, P. 1990. Estudio gravimétrico en Extremadura, zona de La Codosera-Alburquerque y Albalá y su aplicación a la exploración de yacimientos minerales. *Boletín Geológico y Minero*, 101 (1), 122-134.
- Cebriá, J.M., López-Ruiz, J., Doblas, M., Martins, L.T. y Munha, J. 2003. Geochemistry of the Early Jurassic Messejana-Plasencia dyke (Portugal-Spain); Implications on the origin of the Central Atlantic Magmatic Province. *Journal of Petrology*, 44 (3), 547-568.
- Farias, P., Gallastegui, G. y González-Lodeiro, F. 1987. Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafía y estructura de Galicia central. *Anais da Faculdade de Ciências, Universidad de Porto, Memórias*, 1, 411-431.
- Gumiel, F., Campos, R., Monteserín, V. y Bellido, F. 2002. *Mapa geológico y de recursos minerales del sector centro-occidental de Extremadura. (Escala 1/100.000)*. Junta de Extremadura.
- Hughes, C.J. 1982. *Igneous petrology*. Elsevier, 551 pp.
- Junta de Castilla y León 1994. Estudio de los recursos naturales de Castilla y León para su empleo en capas de rodadura. *Consejería de Fomento*. 53 pp.
- Junta de Extremadura 1993. *La Minería en Extremadura*. 510 pp.
- Junta de Extremadura 1994. Proyecto de Investigación de rocas básicas ornamentales y para materiales de construcción en Extremadura. *Consejería de Industria y Turismo. Dirección General de Industria, Energía y Minas*.
- López Moro, F.J., Murciego, A. y Rodríguez, M.A. 2001. Aspectos estructurales, petrográficos y geoquímicos de los sills de rocas básicas e intermedias del área de Alburquerque-Villar del Rey, La Roca de la Sierra (Badajoz). *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 24-A; 135-136.

Recibido: junio 2003

Aceptado: enero 2005