

Dioritas y rocas graníticas del Sistema Central usadas en el adoquinado histórico de la ciudad de Madrid. Valoración según la normativa europea de pavimentos

Diorite and granitic rocks from the Spanish Central System used in historic pavers around the city of Madrid. Assessment carried out in accordance with European standards for paving setts

M.A. García-del-Cura^{1,2}, C. Pérez Soba^{2,3}, D. Benavente^{1,4}, A. Bernabéu^{1,4},
J. Martínez-Martínez^{1,4} y R. Fort^{1,2}

1 Laboratorio de Petrología Aplicada. Unidad Asociada, CSIC-UA. Ap 99. 03080 Alicante. angegcura@ua.es

2 Inst° Geología Económica. CSIC-UCM. Facultad de Ciencias Geológicas. c/ José Antonio Novais 2. 28040. Madrid

3 Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas. UCM. psoa @geo.ucm.es

4 Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Universidad de Alicante. Ap 99. 03080 Alicante

Resumen: En la primera mitad del siglo XX en Madrid se utilizaron en bordillos y adoquines dioritas procedentes de diques de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central Español). Su textura era principalmente microporfídica, de ahí su antigua denominación como pórfidos y lamprófidos. Otras litologías, utilizadas también actualmente en las tareas de restauración urbanística, provienen de diques aplíticos y diferentes variedades de granitos con texturas equigranulares de grano medio a fino. En este trabajo se estudian las características de algunos de dichos materiales con la actual normativa europea de piedra natural para pavimentos (adoquines) (Norma UNE- EN 1342: 2003). Se han estudiado microdioritas de diques explotados en Colmenar Viejo y en La Pedriza de Manzanares, monzogranito biotítico de Zarzalejo (Granito Blanco Rafaela) y leucogranito aplítico del propio adoquinado antiguo de Madrid. La resistencia a compresión varía en los tres tipos de rocas citados dentro de unos amplios límites. Las dioritas presentan una mayor resistencia al desgaste, seguidas del leucogranito aplítico. La resistencia al deslizamiento, sobre acabado de corte de sierra, es mayor en el granito. Sometidas a ensayo de envejecimiento normativo por hielo – deshielo las rocas dioríticas son las que muestran un mejor comportamiento. Los tres tipos de rocas cumplen ampliamente los requisitos de la normativa europea para pavimentos de altas prestaciones.

Palabras clave: pavimentos de piedra, adoquines, granito, diorita, Sierra de Guadarrama.

Abstract: In Madrid, throughout the first half of the 20th Century, diorite was used for kerbstones and setts. This diorite was extracted from dykes located in the Sierra de Guadarrama (Spanish Central System). The texture of diorite is mainly micro-porphyrific, hence it was known in the past as porphyry or lamprophyre. Other stone setts, which are currently used in paving restoration work, contain different varieties of granite with equigranular textures and grain sizes ranging from fine to medium. Samples of microdiorite were studied from dykes in Colmenar Viejo and La Pedriza in Manzanares, along with biotitic monzogranite from Zarzalejo (also known as 'Blanco Rafaela' Granite), and aplitic leucogranite found in historic paving around Madrid. The samples were characterised in accordance with European standards for paving setts (UNE- EN 1342: 2003). The results revealed a wide range of values in the compressive strength of the rocks studied. Diorite displayed the greatest resistance to abrasion, followed by aplitic leucogranite. The slip resistance was determined with a sawn finish. The highest slip resistance values were found in granite. Diorite suffered the least damage in the freeze-thaw cycles. In conclusion, the rocks analysed clearly meet the requirements of European standards for high-performance paving.

Keywords: Stone pavers, setts, granite, diorite, Sierra de Guadarrama.

INTRODUCCIÓN

Los primeros pavimentos de Madrid (empedrados) estaban constituidos por cantos de río “*empedrados de morrillo*” preferentemente de cuarzo y procedentes fundamentalmente de sedimentos fluviales próximos. Posteriormente se utiliza el sílex del Neógeno de la Cuenca de Madrid, que pasa a formar parte de

empedrados de cuña (Martín Moreno y Sánchez Lázaro, 1999). A partir del siglo XIX, el pavimento más utilizado es el adoquinado de granito, de piezas relativamente grandes (28 x 20 x 12 cm). Dicho granito era predominantemente de grano grueso, mientras que el granito utilizado para bordillos era de grano medio: el denominado granito de Villalba, así como granito de Moralzarzal, (Hernández Pacheco, 1954).

Dimensiones y peso de los adoquines más empleados en Madrid.

TIPO DE ROCA	PROCEDENCIA	DIMENSIONES EN CMS.			PESO EN EGS.		
		Cara	Altura	Base	Medio	Máximo	Mínimo
Granito normal..	Villalba, Madrid.	11 × 19	12	10 × 16	5,25	6,50	3,75
Granito normal micaceo	Alpedrete, Madrid.	11 × 20	14	11 × 18	7,25	10,50	5,50
Microgranito....	Zarzalejo, Madrid.	11 × 20	11,5	10,5 × 17	6,80	10,50	5,00
Microgranito....	La Cabrera, Madrid.	11 × 18,5	12	9 × 17	6,25	8,50	4,50
Pórfido granítico.	Alpedrete, Madrid.	11 × 19	13	8,5 × 17	7,30	11,0	5,25
Diabasa.....	Pedriz del Manzanares, Madrid.	11 × 19	12	10,5 × 18	8,00	11,50	6,50
Pórfido diabásico.	Colmenar Viejo, Madrid.	11,5 × 19	12,5	10 × 17	7,80	10,50	5,50
Basalto nefelínico	Villamayor de Calatrava, Ciudad Real	11 × 19	12	11 × 16	7,50	9,50	6,50

TABLA I. Procedencia y características dimensionales de los adoquines más utilizados en Madrid, según Hernández Pacheco, 1954.

Diferentes granitos de varias zonas próximas a la ciudad de Madrid han sido utilizados históricamente para su adoquinado, siendo una de las zonas más importantes la de Alpedrete, junto con la de Villalba, el paraje de El Berrocal, y Zarzalejo (Hernández-Pacheco, 1954 op.cit.).

Hernández-Pacheco, 1954 op.cit., recopila los datos que se muestran en la Tabla 1 acerca de la procedencia y dimensiones de los adoquines más empleados en Madrid, en la primera mitad del siglo XX.

Las dioritas procedentes de filones del Sistema Central, con texturas porfídicas (pórfidos diabásicos, según Hernández Pacheco, o lamprófidos) o más equigranulares (diabasas), fueron materiales utilizados en muchos puntos de la ciudad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales estudiados, pertenecientes al Sistema Central, en el sector NW de Madrid (Fig. 1) han sido:

- Dioritas procedentes de filones microdioríticos de la Zona de Colmenar Viejo: diorita 1, porfídica (Fig. 2A) y de La Pedriz de Manzanares (El Jiralón): diorita 2 clasificable como diabasa (Fig. 2B).
- Granitos de la zona de El Escorial, comercializados actualmente como granito Blanco Rafaela y también conocidos como Granito de Zarzalejo y/o Gris Escorial (Fig. 3A).

Se ha completado el trabajo con el estudio de un leucogranito aplítico (Fig. 3B) muestreado en el adoquinado de la calle González Tejedor esquina a la Calle de Alcalá, en el Barrio de Ventas. Este material, presumiblemente pertenece también al Sistema Central. El estudio petrográfico se ha realizado mediante microscopía óptica de luz transmitida (MOP) (secciones delgadas y microscopio Zeiss, Assioscop) y microscopía electrónica de barrido (MEB) en modo de electrones retrodispersados (MEB de presión variable Hitachi S-3000N).

Para la caracterización de los materiales se han seguido las Normas UNE-EN 13755:2002 y UNE-EN 1925: 1999, cuyo protocolo también se describe en García-del-Cura *et al.*, 2008 y los Anexos B y C de la Norma UNE-EN 1342:2003. El acabado de la superficie estudiada es el correspondiente al aserrado por lo que puede definirse como “corte de sierra”.



FIGURA 1. Mapa geológico de la Sierra del Guadarrama (Sistema Central), modificado de Huertas y Villaseca, 1994, mostrando la situación de algunos materiales estudiados en este trabajo: 1) Dique microdiorítico de El Jiralón (La Pedriz del Manzanares), 2) Dique microdiorítico de Colmenar Viejo, 3) Monzogranito de Zarzalejo. A) Sedimentos y rocas sedimentarias postpaleozoicas. B) Diques microdioríticos. C) Rocas plutónicas. D) Rocas metamórficas.

Las velocidades ultrasónicas han sido medidas mediante el método de transmisión-recepción usando transductores polarizados Panametric (1 MHz). La anisotropía de las muestras se ha calculado mediante el

coeficiente de anisotropía (A). Este coeficiente se ha obtenido a partir del cociente entre el valor mínimo y el valor máximo registrado en cada probeta. El parámetro A puede oscilar entre 0 y 1. Si el cociente es igual a 1, la muestra puede ser considerada perfectamente isotrópica, mientras que conforme el valor desciende de 1, la anisotropía de la muestra aumenta (Martínez-Martínez *et al.*, 2008).

Para estudiar la durabilidad se han seleccionado los ensayos de resistencia a hielo-deshielo por considerar que se trata de un proceso que puede llegar a afectar a estos materiales en la ciudad de Madrid. Estos ensayos se han realizado según la Norma UNE 22-174-85(1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La diorita de Colmenar Viejo (Diorita 1) es una diorita porfídica de grano fino, con alrededor de un 10% de fenocristales, siendo sus componentes principales hornblenda, plagioclasa y biotita, y accesorios ilmenita, apatito, titanita, monacita y alanita. (Fig. 2a).

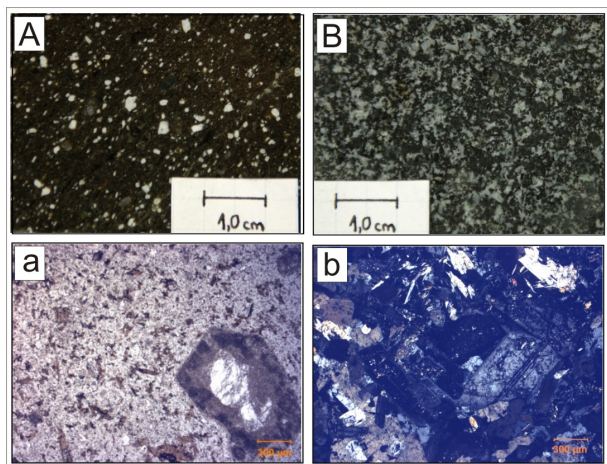


FIGURA 2. Microdioritas. Microdiorita porfídica (A y a): fotografía a mesoescala (A) y Fotomicrografía de MOP con nicóles paralelos (a). Microdiorita diabásica (B y b): fotografía a mesoescala (B) y fotomicrografía de MOP con nicóles cruzados (b).

La diorita estudiada de La Pedriza corresponde al dique de El Jaralón. Es una roca mesocristalina, que por su textura podríamos denominar diabasa (Fig. 2B). Está constituida principalmente por plagioclasa con diferentes grados de sausrización y hornblenda. Los accesorios más abundantes son augita, ilmenita y titanita.

El granito estudiado (Granito B.R.) puede definirse petrologicamente como monzogranito inequigranular de grano medio a grueso, con plagioclasa, feldespato potásico (ortoclasa y microclina), cuarzo y biotita titanífera, que aparece concentrada de forma irregular; como minerales secundarios destacan clorita y moscovita y como minerales accesorios monacita, circón e ilmenita (Fig. 3a). El granito estudiado a veces presenta textura porfídica, constituida por fenocristales de plagioclasa, que pueden llegar a alcanzar 3 cm, y

ocasionalmente presenta enclaves microgranulares más básicos. Su isotropía, determinada mediante ultrasonidos, es de 0,86, la menor de todos los materiales estudiados en ese trabajo.

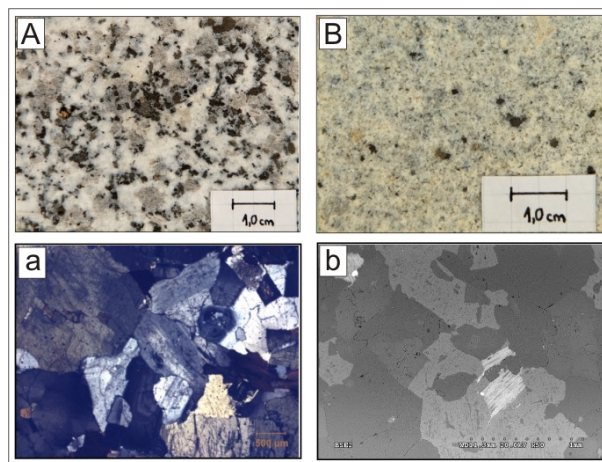


FIGURA 3. Granitos. Monzogranito de Zarzalejo (A y a): fotografía a mesoescala (A) y fotomicrografía de MOP con nicóles cruzados (a). Leucogranito aplítico (B y b): fotografía a mesoescala (B) y fotomicrografía de MEB en modo de electrones retrodispersados (b).

En cuanto al leucogranito aplítico podríamos definirlo como un granito de grano fino (microgranito) inequigranular con cuarzo, plagioclasas y feldespato potásico como componentes fundamentales y biotita muy cloritzada como componente minoritario. Contiene ilmenita, circón y monacita como minerales accesorios (Fig. 3b).

Los cuatro materiales son bastante isotrópicos, siendo el granito de Zarzalejo el menos isotrópico: $A = 0,86$ y la diorita de Colmenar Viejo el más isotrópico $A = 0,99$. El leucogranito aplítico $A = 0,90$ y la diorita de La Pedriza $A = 0,98$ presentan valores intermedios.

Las características hídricas de los materiales pueden verse en la Tabla II. Las propiedades físicas de interés para su utilización en adoquines según la NORMA UNE- EN 1342:2003 se muestran en la Tabla III, exponiéndose a continuación los intervalos de valores aconsejados por dicha norma para las diferentes categorías de prestaciones.

Respecto a los valores de desgaste hay que tener en cuenta que el valor aconsejado para prestaciones medias es de 23 mm y para altas prestaciones 18 mm. Las rocas estudiadas tienen una resistencia al desgaste compatible con altas prestaciones.

En cuanto a la resistencia al deslizamiento los requerimientos son de USRV (Unpolished Slip Resistance Value) ≥ 35 para prestaciones medias y ≥ 45 para altas prestaciones (López Mesones *et al.* 2001).

Los valores de compresión deben hacerse constar con vistas a las especificaciones de obra. Del material estudiado, la diorita con textura diabásica es la que presenta una menor resistencia a compresión.

	GRANITO B.R.	DIORITA-1	DIORITA-2	GRANITO APLITICO
Absorción de agua a presión atmosférica (%). UNE-EN 13755	0,60 ± 0,04	0,43 ± 0,02	0,44 ± 0,08	0,60 ± 0,03
Densidad aparente (kg/m ³)	2.640 ± 20	2.620 ± 40	2.790 ± 40	2.550 ± 10
Densidad real (kg/m ³)	2.980 ± 20	3.300 ± 20	3.100 ± 10	3.000 ± 20
Coefficiente de absorción de agua por capilaridad. UNE-EN 1925 (g/m ² .s ^{0.5})	0,58 ± 0,04	0,23 ± 0,01	0,21 ± 0,09	0,70 ± 0,05

TABLA II. *Propiedades hídricas de las rocas estudiadas.*

	GRANITO B.R.	DIORITA-1	DIORITA-2	GRANITO APLITICO
Resistencia compresión (MPa) UNE-EN 1926	166,9 ± 24,4	232,08 ± 46,13	144,52 ± 32,08	173,56 ± 32,23
R. desgaste (mm) (Corte de sierra). UNE-EN 1341. Anexo C	13,9 ± 2,5	15,9 ± 0,5	17,1 ± 1,1	16,6 ± 1,0
R. deslizamiento (USRV) Corte de sierra. UNE-EN 1341. Anexo D	70 ± 2	40 ± 5	47 ± 1	48 ± 1

TABLA III. *Propiedades mecánicas de interés para el uso de la piedra natural como adoquines.*

RESISTENCIA HIELO-DESHELO	GRANITO B.R.	DIORITA-1	DIORITA-2	GRANITO APLITICO
Velocidad propagación ultrasonidos (inicial) (m/s)	4.250 ± 270	5.810 ± 600	6.015 ± 90	5.120 ± 590
Velocidad propagación ultrasonidos (final) (m/s)	3.820 ± 300	5.940 ± 590	6.120 ± 70	4.900 ± 400
% pérdida de masa	0,03	0,15	0,13	0,90

TABLA IV. *Propiedades físicas de las rocas estudiadas después de los ciclos hielo-deshielo.*

Para estudiar la durabilidad del material se consideraron las características climáticas y geológicas de la ciudad de Madrid, por ello se seleccionó el ensayo de resistencia al hielo-deshielo. Los estudios de durabilidad ponen de manifiesto el buen comportamiento de estas rocas cuyas propiedades físicas se ven muy poco afectadas por los ciclos de hielo – deshielo tal y como puede deducirse de la evolución de la velocidad propagación de ultrasonidos, que puede llegar a experimentar ligeros incrementos después de sometidas las rocas a ciclos hielo-deshielo (Tabla IV).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en el Proyecto Maternas (S0505-MAT/000094 de la Comunidad de Madrid). J. Martínez-Martínez ha contado con una beca de formación de doctores en Unidades Asociadas Universidades - CSIC.

REFERENCIAS

- García del-Cura, M. A., Benavente, D., Bernabéu, A. y Martínez-Martínez, J. (2008): The effect of surface finishes on outdoor granite and limestone pavers. *Materiales de Construcción*: 58, 289-290.
- Hernández-Pacheco, F. (1954): Los materiales pétreos empleados en el adoquinado de Madrid. *Las Ciencias XIX*, 4. 1037-1068.
- López Mesones, F., Escribano Villan, J. y Nieves Aguirre, G. (2001): *Manual para el uso de la piedra en la arquitectura*. Informstone. Bilbao. 400 p.
- Huertas, M.J. y Villaseca, C. (1994): Les derniers cycles magmatiques du Système Central espagnol: les essais filoniens calco-alcalins. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 74, 383-401.
- Martín Moreno, S. y Sánchez Lázaro, T. (1999): Pavimentos tradicionales de las calles de Madrid. *Tierra y Tecnología*, 19: 63-69.
- Martínez-Martínez, J., Benavente, D., Ordóñez, S. y García-del-Cura, M.A. (2008): Multivariate statistical techniques for evaluating the effects of brecciated rock fabric on ultrasonic waves propagation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 45: 609–620.
- UNE 22-174-85 (1985): *Granitos Ornamentales. Resistencia a las heladas*. IRANOR (Instituto Español de Normalización), Madrid. 2 p.
- UNE-EN 1925 (1999): *Métodos de ensayo de piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad*. AENOR Madrid. 13 p.
- UNE-EN 1342 (2003): *Adoquines de piedra natural para su uso como pavimento exterior. Requisitos y métodos de ensayo. Anexo B: Determinación de la resistencia al desgaste. Anexo D: Determinación de la resistencia al deslizamiento* AENOR. Madrid. 38 p.
- UNE-EN 13775 (2002): *Métodos de ensayo de piedra natural Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica*. AENOR. Madrid. 10 p.