

Caracterización mineralógica y físico-mecánica de las serpentinitas de la comarca de Macael (Almería, S de España) para su uso como roca ornamental

Mineralogical, physical and mechanical characteristics of the serpentinites from Macael (Almería, S Spain) region used as ornamental rocks

Rafael Navarro¹, Dolores Pereira², Ana Gimeno³ y Santiago del Barrio³

¹ Instituto Geológico y Minero de España, Urb. Alcázar del Genil, 4, 18006-Granada, España. rafanavarro74@gmail.com.

² Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, 37008-Salamanca, España. mdp@usal.es.

³ Instituto Geológico y Minero de España. C/ La Calera 1, 28760-Tres Cantos, Madrid, España. a.gimeno@igme.es, s.delbarrio@igme.es

ABSTRACT

Serpentinites are rocks which in the ornamental rocks industry have traditionally been included in the group of marbles, without systematic studies of them. In the Macael region outcrops mass of serpentinites with a variable content in carbonates, that are mined by different companies. These serpentinites, frequently transformed into carbonates, have very different characteristics according this carbonatation degree, so that will have different behaviour once emplaced in buildings. They also can be affected by different decay processes. This fact has been demonstrated by the characterization of the main mineralogical, physical and mechanical properties of samples from two different quarries.

Key-words: Serpentinite, antigorite, ornamental rock, carbonatation, physical-mechanical properties.

RESUMEN

Las serpentinitas son rocas que, dentro de la industria de la roca ornamental, han sido tradicionalmente incluidas dentro del grupo de los mármoles, sin que se hayan llevado a cabo estudios sistemáticos de las mismas. En la Comarca de Macael afloran masas de serpentinita, con contenido en carbonato variable, que son beneficiadas por las diferentes empresas del sector. Estas serpentinitas, frecuentemente transformadas a carbonatos, presentan características muy diferentes en función de este grado de carbonatación, por lo que presentarán comportamientos distintos una vez emplazadas en edificios. También se verán afectadas por procesos de alteración diferente. Este hecho se ha puesto de manifiesto mediante la caracterización de las principales propiedades mineralógicas, físicas y mecánicas de muestras procedentes de dos explotaciones mineras distintas.

Palabras clave: Serpentinita, antigorita, roca ornamental, carbonatación, propiedades físico-mecánicas.

Geogaceta, 54 (2013), 47-50.
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 31 de enero de 2013
Fecha de revisión: 25 de abril de 2013
Fecha de aceptación: 24 de mayo de 2013

Introducción

Las serpentinitas son rocas muy empleadas en la industria de la piedra ornamental, tanto en la antigüedad (Harrel, 2009), como en nuestros días. Aunque se han empleado principalmente con fines decorativos (aplacados, cabujones, figuras decorativas, etc), en ocasiones se encuentran también empleadas con propósitos estructurales (columnas) tanto en interiores como en exteriores. La compleja petrogénesis de esta roca, en la que hay gran cantidad de factores que influyen en su evolución (O' Hanley, 1996), va a influir de forma decisiva en su comportamiento como roca ornamental

(Pereira *et al.*, 2012; Ismael y Hassan, 2008). Dependiendo del grado de serpentinitización y de las principales fases minerales que formen la roca, puede presentar comportamientos muy diferentes cuando es usada como roca ornamental (Pereira *et al.*, 2005, 2007). Además, la presencia de minerales accesorios tales como sulfuros de hierro, níquel, cobre o cromo puede causar la formación de sales que favorezcan la degradación de la piedra (Navarro, 2011).

En la industria de la piedra se agrupan bajo la denominación de "Mármol Verde", aunque por sus características mineralógicas, geoquímicas o por sus propiedades físicas no se correspondan con un mármol.

Esto se debe a que algunas de las variedades más importantes que se comercializan en la actualidad, como las denominadas *Rajasthan Green* y *Emerald Green*, de Pakistán o India o incluso el *Verde Macael*, pueden estar en parte o completamente transformadas a carbonatos (Pereira *et al.*, 2005).

En la Península Ibérica hay importantes cuerpos de rocas ultrabásicas localizadas en el noroeste (Cabo Ortegal o Bragança-Morais) y en el sur (Sierra de Ronda, Sierra Nevada, Sierra de los Filabres), con orígenes muy diferentes, y afectados por procesos de serpentinitización muy diferentes también. Estas serpentinitas han sido usadas como

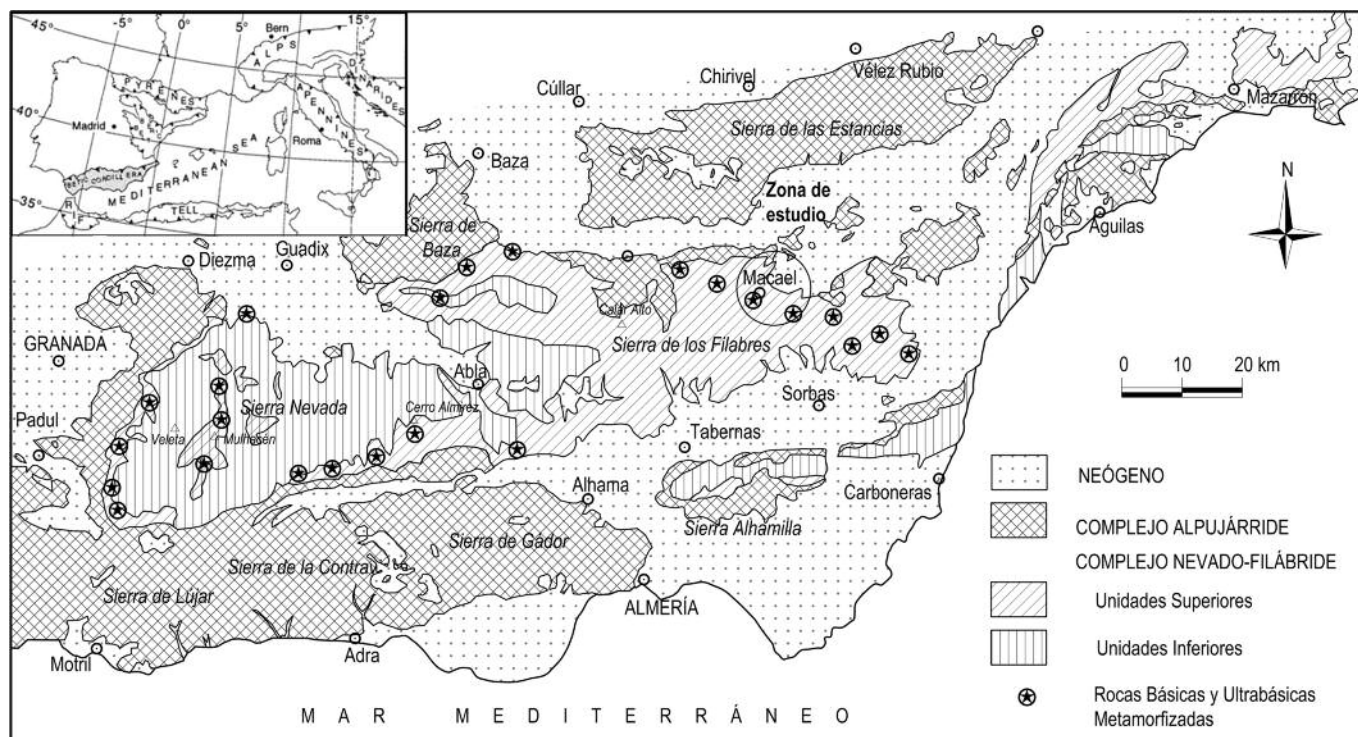


Fig. 1.- Contexto geológico del área de estudio (Modificado de Vera, 2004).

Fig. 1.- Geological context of the studied area (Modified from Vera, 2004).

roca ornamental, tanto en edificios históricos, como las procedentes de Sierra Nevada (Navarro, 2011), como en nueva construcción, como las de la Sierra de los Filabres o Cabo Ortegale, con mayor o menor éxito de resistencia al paso del tiempo.

Para poder determinar el uso adecuado de esta roca y de cualquier otro tipo, es preciso conocer tanto su composición mineralógica y química como sus propiedades físicas y mecánicas características, que son fundamentales a la hora de decidir los posibles usos de la piedra.

En este trabajo se describen las principales características mineralógicas y físico-mecánicas de las serpentinitas procedentes de dos canteras de la comarca de Macael (Almería), que presentan diferente grado de carbonatación y, por tanto, distinto comportamiento en construcción. También se traducen las diferencias en las diferentes respuestas de la roca a la alterabilidad.

Localización geográfica y contexto geológico

La zona de estudio se localiza en la comarca de Macael, en Almería (Sur de España). Se han muestreado dos canteras: "La Milagrosa" (Verde Macael 1) (Long: 2° 01' 55,2"W; Lat: 37° 12' 57,6"N) y "La Ca-

rrasca" (Verde Macael 2) (Long: 2° 7' 51,6"W; Lat: 37° 15' 21,6"N).

Desde el punto de vista geológico, las serpentinitas estudiadas se localizan en el Complejo Nevado-Filábride (CNF), que constituye el manto inferior de las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas, perteneciente al Dominio de Alborán. Una de las peculiaridades del CNF es la presencia de cuerpos de rocas básicas y ultrabásicas de dimensiones variables, total o parcialmente transformadas a eclogitas, anfíbolitas o a serpentinitas (Puga *et al.*, 2002 y referencias allí citadas) y que se encuentran intercaladas tanto en la secuencias de mármoles como de esquistos (Fig. 1).

Materiales y métodos

El análisis mineralógico se ha efectuado por difracción de rayos X (Difractómetro X'pert-Pro de Panalytical: K α del Cu, =1,5405; 40 kV de voltaje y 40 mA de intensidad). Para la identificación de las fases cristalinas se ha empleado el software High-Score de Panalytical y la base de datos PDF-2 (ICDD). Para la cuantificación del porcentaje aproximado de cada fase se empleó el método de los poderes reflectantes (Schult, 1964). Para la

caracterización mineralógica y textural se ha empleado un microscopio de luz polarizada de tipo Zeiss Axio Scope.A1. Además se ha determinado la porosidad abierta, la densidad aparente (UNE-EN 1936), la absorción de agua a presión atmosférica (UNE-EN 13755) y la resistencia a la compresión (UNE-EN 1926). Los ensayos se han realizado en el laboratorio del Instituto Geológico y Minero de España, siguiendo los criterios establecidos en las distintas normas UNE de referencia.

Resultados y discusión

Tras la determinación de las fases principales por difracción de rayos X se observa que la muestra nombrada como "Verde Macael 1" está compuesta mayoritariamente por antigorita seguida en menor medida de magnetita y algo de calcita. Sin embargo, las muestras "Verde Macael 2" presentan una mayor variabilidad composicional, en las que aparece, además de la antigorita, un contenido muy variable en carbonatos (calcita y/o magnesita) y otras fases como augita, clorita, talco o dolomita, en proporciones incluso superiores a las de antigorita en algunas muestras. En la Fig. 2 se muestra un difractograma característico de cada una de las muestras.

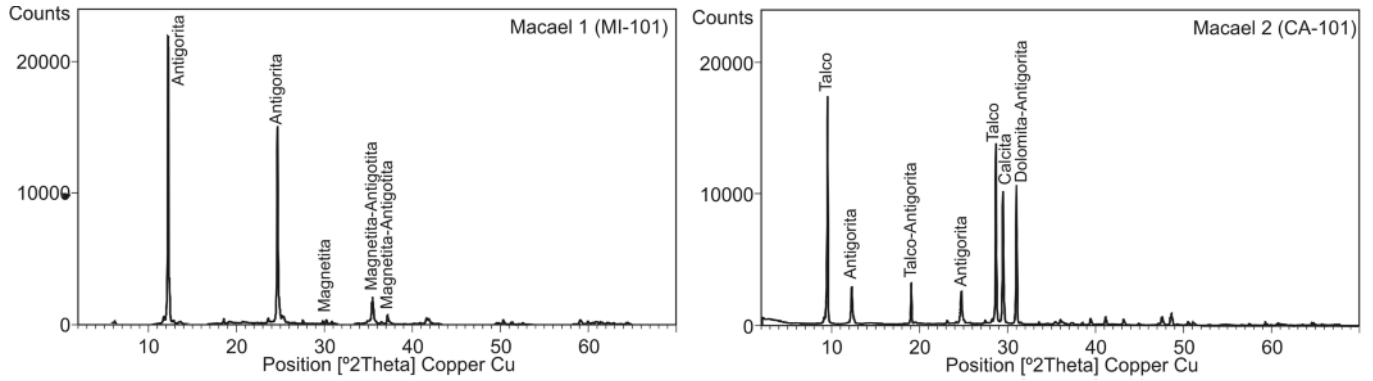


Fig. 2.- Difractogramas de dos de las muestras analizadas.
Fig. 2.- Diffractogram of two of the samples analysed.

Al microscopio óptico se observa como ambas muestras, están principalmente constituidas por antigorita, con abundantes zonas de carbonatos (calcita y/o dolomita), que están tanto reemplazando a la mineralogía serpentínica original (antigorita) (Fig. 3A) como rellenando fracturas (Fig. 3B). Como minerales secundarios y accesorios se observan algunos opacos, así como anfíboles de tipo tremolita-actinolita (Navarro *et al.*, 2013). Presentan en general una textura

no pseudomórfica interpenetrada (Wicks y Whittaker, 1977), con relleno de fracturas, principalmente por carbonatos, aunque también por antigorita. Los minerales opacos tienden a alinearse respecto a la foliación.

En cuanto a los parámetros físico-mecánicos, la tabla I muestra los valores medios de las principales propiedades de las serpentinitas del área de Macael ensayadas para este estudio.

Al observar los valores de densidad se observa como la muestra "Verde Macael 1" presenta valores más bajos que la muestra 2, lo que es coherente con las características mineralógicas, ya que la muestra 2 presenta mayor contenido en carbonatos (densidad media entre 2,71 g/cm³ para la calcita, 2,85 g/cm³ para la dolomita y 3,00 g/cm³ para la magnetita) y en minerales metálicos como la magnetita (5,15 g/cm³), mientras que la muestra 1 está constituida básicamente por antigorita (densidad media 2,54 g/cm³) y algo de magnetita

En lo referente a la porosidad abierta se observa que el valor es superior en la muestra más carbonatada, al igual que la absorción. Los procesos de alteración de la roca, como los procesos de cristalización de calcita u otras transformaciones de fase en el sistema de poros de la roca, así como en pequeñas grietas y fisuras, o incluso procesos de cristalización de sales debido a variaciones en las condiciones de humedad re-

lativa o el contenido en agua de la roca (López-Arce *et al.*, 2008) van a ejercer fuertes presiones en las paredes de los mismos por presión de cristalización. Esto se traduce en el inicio y propagación de fisuras, que ocasionan descamaciones o arenizaciones y que pueden provocar el deterioro de la roca (De la Torre, 2003). Las serpentinitas, en presencia de CO₂ pueden transformarse a talco y carbonatos (magnetita). El talco formado, puede a su vez, transformarse en carbonatos (magnetita) más cuarzo (Hansen *et al.*, 2005 y referencias incluidas). Estos cambios de fase así como la formación de carbonatos por circulación de fluidos por las fisuras, dan lugar a importantes incrementos de volumen en la roca (Hansen *et al.*, 2005), que van a ejercer fuertes presiones en el seno de la roca, lo que va a provocar su desintegración progresiva. Estos procesos de alteración incipientes son observables en forma de escamaciones en el frente de explotación de la cantera "La Carrasca" (Verde Macael 1) (Fig. 4).

En cuanto a los valores de resistencia a compresión, la muestra 2, que es la que tiene un mayor porcentaje de carbonatos, presenta valores superiores con respecto a la muestra 1. Los carbonatos actúan como agente cementante de las otras fases, por lo que incrementan la resistencia mecánica. La transformación se lleva a cabo principalmente por la carbonatación de las fases minerales preexistentes, pero también por la

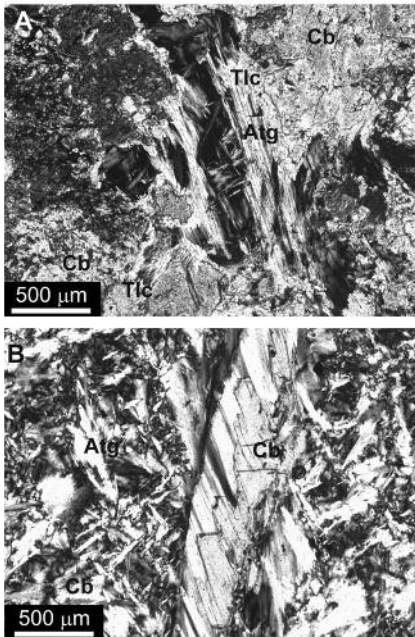


Fig. 3.- Microfotografías con nicóles cruzados de las muestras de la cantera La Carrasca (Macael 2). A) Remplazamiento de antigorita (Atg) por carbonatos (Cb) y talco (Tlc); B) Textura interpenetrada de la serpentinita, con remplazamiento de antigorita por carbonatos en una fractura.

Fig. 3.- Microphotographs with cross nicols of the samples of "La Carrasca" quarry (Macael 2). A) Replacement of antigorite (Atg) by carbonates (Cb) and talc (Tlc); B) Interpenetrated texture of the serpentinites, with carbonates replacing antigorite in a fracture.

Muestra	Densidad aparente (g/cm ³)	Porosidad abierta (%)	Absorción (%)	Compresión simple (seca) MPa
Verde Macael 1	2,68 (±0,02)	0,70 (±0,14)	0,30 (±0,08)	252 (±34)
Verde Macael 2	2,94 (±0,25)	1,40 (±0,24)	0,40 (±0,08)	279 (±84)

Tabla I.- Valores medios y desviación estándar de los principales parámetros determinados de las serpentinitas de Macael.

Table I.- Average values and standard deviation of the main parameters determined of the serpentinites from Macael.



Fig. 4.- Escamas formadas en la superficie del frente de la cantera "La Carrasca".

Fig. 4.- Flakes formed in the face of "La Carrasca" quarry.

precipitación de carbonato en las fracturas y grietas presentes. Como resultado de ello, se produce una mejora en las condiciones de resistencia mecánica de la roca. Este hecho ya lo pusieron de manifiesto Pereira *et al.* (2005), donde se afirmaba que las serpentinitas con mayor contenido en carbonatos, especialmente cuando remplazaban a la mineralogía original de la roca (p.ej. Verde Macael o Rajasthan Green), presentaban un mejor comportamiento mecánico que aquellas serpentinitas compuestas casi exclusivamente por minerales del grupo de la serpentina (p.ej. Verde Pirineos). Por otra parte observaron como las variedades más carbonatadas presentan otros problemas relacionados con la alteración debido especialmente a la presencia de una gran cantidad de venas y fracturas rellenas de calcita, que al perder el material de relleno, pueden dar lugar a un agrietamiento de la roca e incluso a la disgregación de parte de la pieza, además de tener mayor tendencia a la degradación por ataque ácido en ambientes urbanos contaminados (Meirding, 2005).

También Ismael y Hassan (2008) indican que las serpentinitas egipcias estudiadas que presentan mayor contenido en carbonatos, tienen un mejor comportamiento mecánico, aunque sufren mayor degradación física y química. Sin embargo, y según estos autores, hay otros factores que influyen de forma clave en el comportamiento de la roca, como puede ser el contenido en antigorita o lizardita, el tamaño de grano y la distribución y la densidad de las anisotropías (grietas de fracturación).

Conclusiones

La completa caracterización de las serpentinitas que se emplean en la industria

de la roca ornamental se estima como algo imprescindible para el correcto uso de las mismas. En el presente trabajo se han estudiado dos litotipos de serpentinita diferentes, procedentes de dos canteras distintas, y que presentan diferente contenido en carbonatos. Los valores de los parámetros determinados varían entre 2,68 y 2,94 g/cm³ para la densidad, 0,70-1,40% para la porosidad abierta, entre 0,30-0,40% para la absorción y 252-279 MPa para la compresión simple. El que presenta mayor contenido en carbonatos, tiene mayor densidad, mayor porosidad, mayor absorción y mayor resistencia a la compresión.

Se ha puesto de manifiesto que dos rocas similares, procedentes de la misma zona y contexto geológico, pueden presentar características mineralógicas y físicas diferentes, lo que va a influir en su comportamiento y en sus características estéticas una vez empleadas en construcción.

En el caso de las serpentinitas, esta evolución toma especial relevancia, ya que en la industria de la piedra se las ha incluido tradicionalmente dentro del grupo de los mármoles, sin que en Europa, se haya desarrollado una normativa específica. Esto puede llevar a una mala utilización de este tipo de roca, y por tanto a un temprano deterioro, con el perjuicio económico y estético que ello conlleva. Nuestro trabajo en esta línea pretende hacer una llamada de atención a los sectores de la piedra involucrados en la comercialización y uso de este tipo de rocas.

Agradecimientos

Al Dr. Álvaro Rubio y a un revisor anónimo por sus comentarios y sugerencias para ayudar a mejorar este manuscrito.

Este trabajo es una contribución de la Red CONSTRUROCK.

Referencias

- De la Torre, M.J. (2003). En: *Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos* (R. Villegas y E.M. Sebastián-Pardo, Eds.). Granada, Editorial Comares-Junta de Andalucía, 104-111.
- Hansen, L.D., Dipple, G., Gordon, T.M. y Dellet, D.A. (2005). *Canadian Mineralogist* 43, 225-239.
- Harrell, J.A. (2009). <http://www.eeescience.utoledo.edu/egypt/> (Consultado 4/11/2011)
- Ismael, I. y Hassan, M. (2008). *Chinese Journal of Geochemistry* 27, 140-149.
- Lopez-Arce, P., Doehne, E., Martin, W. y Pinchin, S. (2008). *Materiales de Construcción* 58, 125-142.
- Meirding, T.C. (2005). En: *Stone decay in the architectural environment* (A.V. Turkington, Ed.). Geological Society of America, Special Paper 390, 17-25.
- Navarro, R. (2011). *Las serpentinitas de Sierra Nevada y su uso como roca ornamental*. Tesis de Master, Univ. de Granada, 152 p.
- Navarro, R., Pereira, D., Gimeno, A. y del Barrio, S. (2013). *Geosciences* 3, 102-113.
- O'Hanley, D.S. (1996). *Serpentinites: records of tectonic and petrological history*. Oxford University Press, New York, 277 p.
- Pereira, M.D., Blanco, J.A., Yenes, M. y Peinado, M. (2005). *Roc Maquina* 9, 24-27.
- Pereira, M.D., Yenes, M., Blanco, J.A. y Peinado, M. (2007). En: *Building Stone Decay: From Diagnosis to Conservation* (R. Prikryl y B.J. Smith, Eds.). Geological Society of London, Special Publications 271, 55-62.
- Pereira, D., Peinado, M. y Blanco, J.A. (2012). *Journal of Materials in Civil Engineering*. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000689
- Puga, E., Díaz de Federico, A. y Nieto, J.M. (2002). *Geodinámica Acta* 15, 23-43.
- Vera, J.A. (Ed) (2004). En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.). Madrid, SGE-IGME, 345-464.
- Schultz, L.G. (1964). *U.S. Geological Survey Professional Paper* 391(C), 1-31.
- UNE-EN-1926 (2007). *Métodos de ensayo para la piedra natural. Determinación de la resistencia a la compresión uniaxial*. Madrid. 22 p.
- UNE-EN-1936 (2007). *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total*. Madrid. 13 p.
- UNE-EN-13755 (2008). *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica*. Madrid. 12 p.
- Wicks, F.J. y Whittaker, E.J.W. (1977). *Canadian Mineralogist* 15, 459-488.