



# Deterioro en el granito de Cadalso de los Vidrios bajo condiciones de Hielo/Deshielo

## *Damage in the Cadalso de los Vidrios Granite under water freeze/thaw conditions*

David Martín Freire Lista <sup>(1)</sup>, María José Varas Muriel <sup>(1)(2)</sup> y Rafael Fort González <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto de Geociencias (CSIC-UCM). C/José Antonio Novais 2. 28040, Madrid. [dafreire@geo.ucm.es](mailto:dafreire@geo.ucm.es); [rafort@geo.ucm.es](mailto:rafort@geo.ucm.es)

<sup>(2)</sup> Departamento de Petrología y Geoquímica. Universidad Complutense de Madrid. C/José Antonio Novais 2. 28040, Madrid. [mjvaras@geo.ucm.es](mailto:mjvaras@geo.ucm.es)

### ABSTRACT

*The repeated action of simulated freeze-thaw cycles on Cadalso de los Vidrios Granite, promotes differential micro-cracking and loss of crystals at the surface and therefore decay. It is possible to establish a relationship between the evolution of the ultrasound waves velocity ( $V_p$ ) with the number of freeze-thaw cycles and the generation of microcracks. Intergranular cracks are formed during the first cycles and these propagate towards the inner part of each individual crystals as the freeze-thaw cycles advance. Therefore, after 280 freeze-thaw cycles different patterns of microcracking can be observed depending on the mineralogy. Quartz is the mineral displaying more intense cracking while biotite shows less cracking, in part due to its more ductile behaviour. Micro-cracks appear preferentially at the surface of the samples with a maximum length and depth of 1 cm. Thus, these samples showed limited decay highlighting the good performance of Cadalso de los Vidrios granite against freeze-thaw.*

**Key words:** Granite, micro-cracking, stone decay, freeze-thaw, dimension stone.

*Geogaceta*, 49 (2010), 55-58  
ISSN: 2173-6545

Fecha de recepción: 15 de julio de 2010  
Fecha de revisión: 3 de noviembre de 2010  
Fecha de aceptación: 26 de noviembre de 2010

### Introducción

Este trabajo se centra en el estudio de las microfisuras y sus tipos en el granito de Cadalso de los Vidrios, material de construcción tradicional en la Comunidad de Madrid, en respuesta al envejecimiento acelerado por acción de ciclos de hielo y deshielo. De esta forma, se pretende entender cómo la porosidad inicial, mineralogía y tamaño de grano determinan los cambios en el sistema fisural producido por la acción de ciclos de hielo y deshielo.

Cadalso de los Vidrios es una localidad de la Sierra Oeste madrileña, ubicada a escasos kilómetros de los límites provinciales con Toledo y Ávila. Se enmarca en el extremo suroccidental del dominio hercínico de la Comunidad de Madrid. El granito de Cadalso de los Vidrios se define como leucogranito de grano fino-medio equigranular, fractura subplana y áspera al tacto. Presenta una textura aplítica, combinada con la micropegmatítica y sin fenocristales. Por orden de abundancia, se compone de ortosa, cuarzo, biotita y plagioclasa. Tiene color claro (blanco-grisáceo) con una pequeña proporción de ferromagnesianos, aunque se pueden observar variaciones en cuanto a la textura,

el tamaño de grano, la coloración del feldespato y la homogeneidad espacial de la roca. (García *et al.*, 2004).

Esta zona tiene gran actividad extractiva, habiendo un gran número de canteras antiguas abandonadas. Actualmente se explotan de manera comercial diversas variedades del granito de Cadalso de los Vidrios (García *et al.*, 2004), siendo la más importante la variedad Blanco Cristal que es la que ocupa este estudio.

Dada la relación existente entre el grado de fisuración y la velocidad de propagación de ondas de ultrasonido ( $V_p$ ) (Sousa *et al.*, 2002), puede utilizarse este parámetro para cuantificar los cambios producidos en la red fractográfica de los minerales por el efecto del hielo y deshielo (Alonso *et al.*, 2008). Además, la medida de la anisotropía, que en estos granitos no se observa a simple vista y el análisis petrográfico, contribuirán a establecer el grado de durabilidad de los materiales pétreos (Fort *et al.*, 2008).

### Metodología

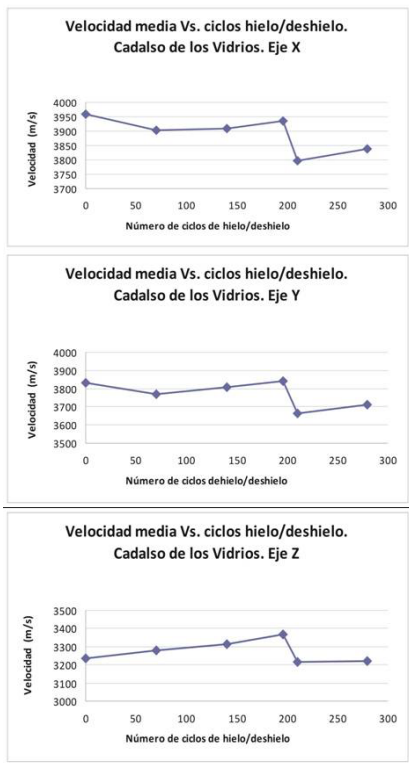
Se ha seleccionado este granito por tener una amplia representación en el pa-

trimonio construido de la Comunidad de Madrid, donde se producen anualmente heladas. Se han muestreado afloramientos donde este granito se encontraba fresco y sin fisuras, cerca de antiguas canteras que suministraron piedra de construcción.

Los bloques se cortaron en probetas cúbicas de 5x5x5 cm y se midió la  $V_p$  en las tres direcciones ortogonales, realizando tres medidas consecutivas y calculando la media para cada eje.

El cálculo de la anisotropía se ha realizado mediante los índices propuestos por Guydader y Denis (1986), a partir de los valores obtenidos de velocidad de propagación de los ultrasonidos en los tres ejes  $V_{px}$ ,  $V_{py}$  y  $V_{pz}$  (siendo x el eje de mayor velocidad y z el de menor). La anisotropía total (dm%), considera los tres ejes del espacio, mientras que la anisotropía relativa (dm%), sólo considera dos de ellos (x, y), excluyendo el eje de menor velocidad (z).

A continuación, se efectuó un proceso de clúster (k-medio, Euclidiano) con el fin de establecer diferentes clases de anisotropía para cada tipo de material (Fort, *et al.*, 2008). Se utiliza la información de las variables dm% y dM% para



**Fig. 1.- Evolución media de Vp del granito de Cadalso de los Vidrios en cada uno de los ejes ortogonales desde el comienzo del ensayo hasta el último ciclo de hielo y deshielo (280).**

*Fig. 1.- Vp evolution of the of Cadalso de los Vidrios granite in each of the orthogonal axes from the beginning until the last cycle.*

cada probeta y conforme la similitud entre ellas se agrupan, definiendo así 5 clases de anisotropía. Las clases I y II las de menor anisotropía y las clases IV y V, las de mayor.

Para conocer la evolución de los índices con este ensayo de envejecimiento, se han seleccionado dos probetas de cada una de las clases, desestimando la clase I por tener unos índices dm% muy parecidos a la clase III.

Después, se procedió al ensayo de hielo/deshielo, siguiendo la Norma UNE-EN 12371, con ciclos de congelación en aire y de deshielo en agua hasta un total de 280 ciclos, tomando datos de Vp en los ciclos 0, 70, 140, 196, 210 y 280 como se muestra en la figura 1. De la probeta patrón se realizaron láminas delgadas después de cada grupo de ciclos. Estas láminas delgadas han sido teñidas con cobalto-nitrito para discriminar los feldespatos con el microscopio óptico y embutidas con fluoresceína para observar la evolución de las distintas familias de fisuras y su localización en las muestras analizadas con el microscopio de fluorescencia (Fig.2).

Las observaciones petrográficas con los microscopios óptico y de fluorescencia se centraron en la composición mineralógica de los materiales, en la detección de la fisuración primaria, producto de la naturaleza del propio material, y de su manipulación durante la elaboración de las láminas delgadas y, por último, en la observación, discriminación, comparación e interpretación de la fisuración secundaria generada en los sucesivos ciclos de hielo/deshielo ensayados.

**Discusión**

La variación de la Vp no es continua a lo largo de los ciclos de hielo/deshielo, se registra una caída de Vp entre los ciclos 196 y 210 (Fig. 1) y la mayoría de las microfisuras, detectadas con el microscopio óptico y de fluorescencia, aparecen a partir del ciclo 196 (Figs. 1 y 3). Esto indica que la pendiente de las curvas de Vp está relacionada con la aparición de microfisuras y que el deterioro no se genera en los primeros estadios del ensayo, ni en todos los minerales por igual.

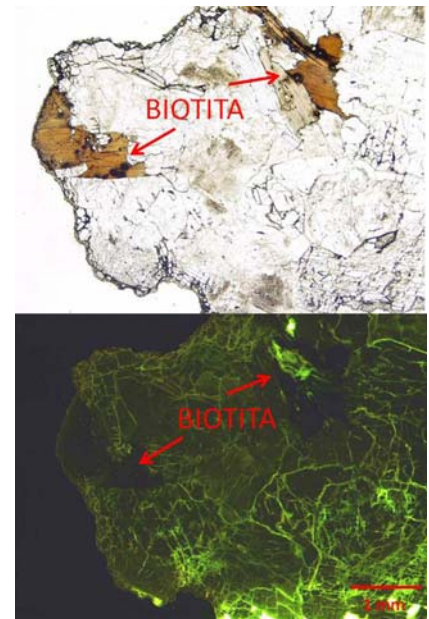
ANISOTROPÍA CADALSO DE LOS VIDRIOS		
CLASE	$\Delta\% dm$	$\Delta\% dM$
II	4,3	0,57
	-5,71	-0,98
III	-1,58	0,83
	-0,75	2,38
IV	1,22	-2,45
	0,51	0,38
V	0,64	1,63
	-0,75	0,03

**Tabla I.- Variación ( $\Delta\%$ ) sufrida en las anisotropías relativas (dm%) y totales (dM%).**

*Table I.- Variation ( $\Delta\%$ ) on relatives anisotropies (dm %) and total anisotropies (dM%).*

Las diferencias existentes entre la anisotropía relativa inicial y final ( $\Delta\% dm$ ) y total inicial y final ( $\Delta\% dM$ ), para cada clase del granito de Cadalso de los Vidrios, se ha representado en la tabla 1. (Inicial, antes del ensayo de envejecimiento y final, después del ensayo).

Cuando se trata de una roca poliminerálica, como es el granito, los cambios de volumen de sus distintas fases minerales generan tensiones entre los



**Fig. 2.- Imagen del granito de Cadalso de los Vidrios después de someterse a 280 ciclos de hielo/deshielo. A: Nicols paralelos, B: Fluorescencia.**

*Fig. 2.- Image of the Cadalso de los Vidrios Granite after 280 cycles frozen/thaw. A. Parallel Nicols, B. Fluorescence.*

mismos, pudiendo producirse la rotura y el desprendimiento de los granos. En una roca, estos cambios de volumen son debidos a los contrastes térmicos y/o la presencia de agua y dependen de varios factores, como la distribución de espacios vacíos, la mineralogía, el tamaño de grano y la orientación de los cristales (Gascón y Balbas, 1994; Rodríguez Rey *et al.*, 1985; Castro de Lima y Paraguassú, 2004).

En este caso, las tensiones se generan por el aumento de volumen que experimenta el agua al congelarse y producen microfisuras entre los cristales del granito, como se puede observar en la figura 3, donde el granito sin ningún ciclo de hielo/deshielo (Figs. 3A y 3A') no presenta microfisuras, mientras que en el ciclo 140 (Figs. 3B y 3B') comienzan a aparecer microfisuras intercristalinas. A los 196 ciclos se inician las microfisuras intracristalinas, especialmente en el cuarzo. En las figuras 3D y 3D' se observa un grano de cuarzo rodeado de feldespatos, con algunos cristales de biotita. El grano de cuarzo ha experimentado una severa microfisuración intracristalina, mientras que la biotita no muestra microfisuras.

El tamaño de los minerales influye en la generación de microfisuras debidas a los ciclos de hielo/deshielo. La superficie específica de contacto entre granos es

mayor al disminuir el tamaño de grano y estos son de naturaleza diversa por lo que puede llegar a producirse mayores presiones diferenciales entre los cristales, generando microfisuras que comienzan en el borde del grano y avanzan hacia el interior del mismo.

A su vez, el tamaño de grano puede condicionar la porosidad: a menor tamaño de cristales, las microfisuras serán menores y el efecto del aumento de volumen del agua al congelarse en ellas será mayor. Esto explicaría el por qué el granito de Cadalso de los Vidrios, con pequeño tamaño de cristales, genera microfisuras a lo largo de los ciclos de hielo/deshielo. La porosidad inicial media accesible al Hg del granito de Cadalso de los Vidrios es de 1,03 %, constituyendo las microfisuras ( $< 5 \mu\text{m}$ ) el 24,3 % y las macrofisuras ( $> 5 \mu\text{m}$ ) el 75,7%.

La estructura cristalina de los minerales también va a condicionar la aparición de fisuras, de este modo la biotita es el mineral que menor figuración desarrolla, debido a un comportamiento más flexible frente a la deformación, ya que su estructura favorece la acomodación ante la tensión (Fig. 2).

También se produce un deterioro diferencial similar en los minerales de otros granitos de la Comunidad de Madrid cuando se someten a ciclos envejecimiento por cristalización de sales (López-Arce *et al.* 2010).

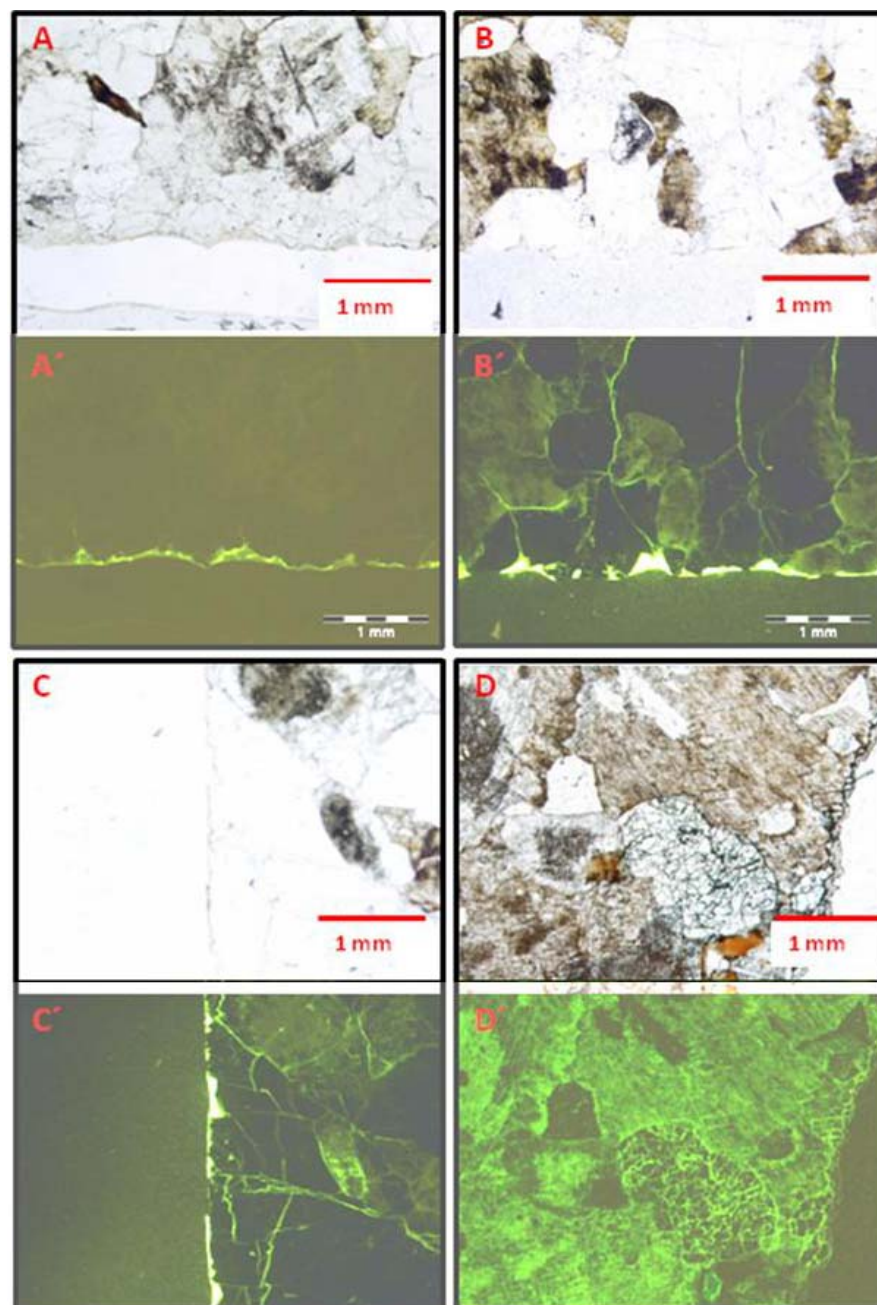
## Conclusiones

Los ciclos de hielo/deshielo han generado microfisuración y pérdida de cristales en la superficie del granito y por tanto deterioro.

Es posible establecer una relación entre la pendiente de la  $V_p$ , el número de ciclos de hielo/deshielo y la génesis de fisuras y microfisuras ligadas a su deterioro.

Se observa una clara evolución en la aparición de las microfisuras. En los primeros ciclos no se producen microfisuras.

Hacia la mitad del ensayo (140 ciclos) aparecen microfisuras intergranulares, que se propagan a lo largo de los bordes de los cristales, en el límite entre cristales, y a medida que evolucionan, con la sucesión de ciclos de hielo/deshielo, las microfisuras se desarrollan por el interior de los granos de forma individualizada. Así, a los 280 ciclos de hielo/deshielo se observa una microfisuración diferencial dependiendo de la mineralogía. Los granos de cuarzo son los que sufren una mayor microfisuración, mientras que las biotitas al comportarse de forma más dúc-



**Fig. 3.- Imagen al microscopio óptico (A, B, C y D luz natural) y de fluorescencia (A', B', C' y D'), mostrando la evolución de las microfisuras en el granito de Cadalso de los Vidrios a 0, 140, 196 y 280 ciclos de hielo/deshielo (A y A', B y B', C y C' y D y D' respectivamente).**

*Fig. 3.- Image with optical microscope (A, B, C and D natural light) and fluorescence (A', B', C' and D'), showing the microfissures evolution of the granite of Cadalso de los Vidrios. 0, 140, 196 and 280 cycles frozen/thaw (A and A', B and B', C and C' and D and D' respectively).*

til, se deforman sin llegar a fisurarse.

Las microfisuras se han producido en la superficie de las probetas, alcanzando una profundidad máxima de 1 cm., por lo que el deterioro de las muestras ha sido moderado, reflejando su buena calidad frente al envejecimiento por ciclos de hielo/deshielo.

La velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas para caracterizar el deterioro de granitos por ciclos de hielo/

deshielo (microfisuración), resulta muy eficaz como técnica no destructiva y es complementada por la microscopía óptica y de fluorescencia.

## Agradecimientos

Al programa Geomateriales (S2009/MAT-1629), financiado por la Comunidad de Madrid y al Programa Consolider-Ingenio 2007 (CSD2007-0058), financiado por



el Ministerio de Ciencia e Innovación. El trabajo forma parte de las actividades del grupo de investigación de la UCM «Alteración y Conservación de los Materiales Pétreos del Patrimonio» (ref. 921349).

### Referencias

- Alonso, F. J., Vázquez, P., Esbert, R.M. y Ordaz, J. (2008). *Materiales de Construcción*, 58, 191-201.
- Castro de Lima, J.J. y Paraguassú, A.B. (2004). *Bulletin of Engineering and Geological Environment*, 63, 215-220.
- Fort, R., Fernández-Revuelta, B., Varas, M.J., Álvarez de Buergo, M. y Tabor-da-Duarte, M. (2008). *Materiales de Construcción*, 58, 289-290.
- García, G., González, G. y Bueno, A. (2004). *Bocamina*, 14, 12-46.
- Gascón, F. y Balbas, M. (1994). *Boletín Geológico y Minero*, 105, 289-290.
- Guydader, J., Denis, A. (1986). *Bulletin of Engineering Geology*, 33, 49-55.
- Rodríguez Rey, Calleja Escudero, L. Ruíz Argandéña, V. G. y Suárez del Río, L. M. (1985). *Boletín Geológico y Minero* 96 (3), 310-315.
- López-Arce, P. Varas Muriel, M. J., Fernández-Revuelta, B., Álvarez de Buergo, M. Fort, R. y Pérez-Soba, C. (2010) *Catena*, 83, 170-185.
- Norma UNE-EN 12371. (2001). Determinación de la resistencia a la heladicidad, CEN, 8-17.
- Sousa, L. M. O., Calleja, L., Suárez del Río, L. M. y Rodríguez Rey, A. (2002). *8º Congreso Nacional de Geotecnia, Lisboa*, 507-516.