

Título: Influencia de la alteración sobre las propiedades mecánicas de calizas, dolomías y mármoles. Evaluación mediante estimadores no destructivos (ultrasonidos).

Influence of weathering on mechanical properties of limestones, dolostones and marbles. Evaluation by means non-destructive estimators.

Autor: Javier Martínez-Martínez

Directores: Dr. David Benavente García y Dra. M^a Ángeles García del Cura.

Centro: Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante.

Fecha de lectura: 23 de Septiembre de 2008

Tribunal: Dr. Salvador Ordóñez Delgado (Presidente), Dr. José Pedro Calvo Sorando (Vocal), Dr. Rafael Fort González (Vocal) y Dr. Eduardo Sebastián Pardo (Vocal), Dr. Juan Carlos Cañaveras Jiménez (Secretario).

Calificación: Sobresaliente "Cum Laude"

Influencia de la Alteración sobre las Propiedades Mecánicas de Calizas, Dolomías y Mármoles. Evaluación Mediante Estimadores no Destructivos (Ultrasonidos).

/ JAVIER MARTÍNEZ-MARTÍNEZ *

(*) Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. Carretera San Vicente del Raspeig s/n, San Vicente de Raspeig, 03690 Alicante

RESUMEN

Esta Tesis Doctoral presenta una forma no destructiva de predecir tanto la resistencia mecánica como el comportamiento elástico de diferentes variedades de roca ornamental. El carácter no destructivo de los estimadores se ha conseguido mediante el empleo de la técnica de ultrasonidos.

Los estimadores deben ser eficaces y precisos. Para garantizar estos requisitos ha sido necesario abordar dos objetivos secundarios:

a) Obtener una amplia variedad de fábricas petrológicas sobre las que desarrollar el estudio. Además, con el fin de aumentar la heterogeneidad de las fábricas, los materiales seleccionados se han sometido a ensayos de alteración por cristalización de sales y choque térmico. De esta forma garantizamos que los resultados obtenidos son válidos y aplicables en una elevada variedad de rocas (estimadores eficaces).

b) Conocer detalladamente la influencia que ejerce cada una de las variables petrológicas (porosidad, fracturas, tamaño de cristal, etc) sobre el comportamiento mecánico de la roca, así como sobre la propagación de los ultrasonidos a través de ella. Sólo de esta forma podremos obtener una buena aproximación a los

parámetros mecánicos a partir de los parámetros ultrasónicos (estimadores precisos).

CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA DE LAS ROCAS. ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE ALTERACIÓN

Dada la elevada importancia que poseen las rocas carbonáticas en el sector industrial de la roca ornamental, se han estudiado nueve tipos de calizas, dolomías y mármoles actualmente explotados y comercializados. Las rocas escogidas son (fig. 1): Ambarino (dolomía brechoide), Amarillo Triana (mármol dolomítico con abundantes fisuras), Blanco Alconera (caliza cristalina), Beige Serpiente (dolomía brechoide), Blanco Tranco (mármol calcítico con un bandeo metamórfico difuso), Crema Valencia (caliza micrítica con abundantes estilolitos), Gris Macael (mármol calcítico con bandeo metamórfico marcado), Marrón Emperador (dolomía brechoide) y Rojo Cehegín (caliza fosilífera con abundantes vênulas y estilolitos).

Las nueve variedades poseen diferentes grados de complejidad estructural, variando desde rocas homogéneas, hasta rocas con texturas clásticas.

Por otra parte, han sido sometidas a

ensayos de cristalización de sales y choque térmico. El seguimiento de la degradación se ha realizado tanto a escala microscópica, como mesoscópica. Los resultados a microescala han mostrado un comportamiento muy diferenciado entre texturas dolomíticas y texturas calcíticas. Estas últimas muestran microfisuración térmica y

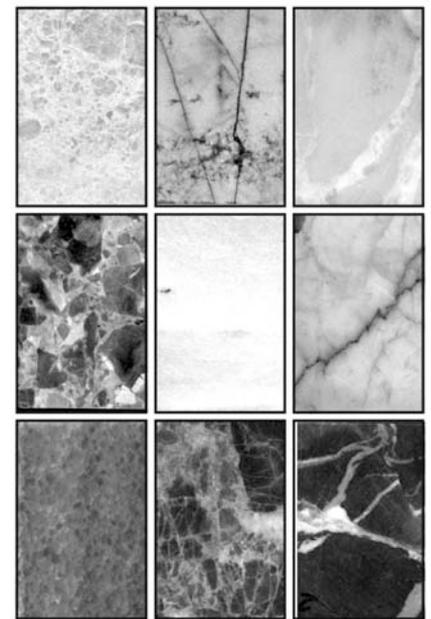


fig. 1. Materiales estudiados. De izquierda a derecha y de arriba abajo: Ambarino, Amarillo Triana, Blanco Alconera, Beige Serpiente, Blanco Tranco, Crema Valencia, Gris Macael, Marrón Emperador y Rojo Cehegín.

palabras clave: : Roca Ornamental, Mecánica de Rocas, Durabilidad, Técnica No-Destructiva

key words: : Ornamental Stone, Rock Mechanics, Durability, Non-Destructive Test.

disolución química, mientras que las texturas dolomíticas permanecen inalteradas.

A mesoescala se observan comportamientos semejantes: procesos de fisuración térmica en las calizas y mármoles calcíticos, mientras que las dolomías y mármoles dolomíticos permanecen estables. Los daños asociados a la cristalización de sales se han centrado en las texturas más porosas. Los estilolitos han resultado especialmente susceptibles a estos procesos de degradación.

INFLUENCIA DE LA FÁBRICA EN LA PROPAGACIÓN DE LOS ULTRASONIDOS, LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y EL MÓDULO ELÁSTICO

En primer lugar se ha realizado el análisis en dominio temporal de la señal ultrasónica recibida tras su propagación por los materiales. Se han obtenido numerosos parámetros: velocidad de las ondas P, S, y la proporción vp/vs, la energía con la que recibe la señal, así como la atenuación espacial y temporal que sufre. Los parámetros ultrasónicos más interesantes han resultado ser la velocidad de propagación de ondas P y la atenuación espacial.

Se ha analizado detalladamente la influencia del tamaño de cristal, la porosidad, la presencia de fisuras y la mineralogía (calcita/dolomita) en los ultrasonidos, en la resistencia a compresión y en el módulo elástico. Se ha concluido que la atenuación espacial constituye el parámetro más sensible a la fábrica de las rocas, ya que se encuentra influenciada por el espaciado intercrystalino, el

tamaño de cristal, la porosidad y la presencia de fisuras y defectos puntuales en la roca (la velocidad de propagación de las ondas P no es sensible a la mayoría de estos parámetros). A su vez, la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad de las rocas se ven condicionados igualmente por estos parámetros. Por ello, se puede afirmar que la atenuación espacial es el parámetro más interesante para estudiar las características petrográficas de las rocas, su grado de alteración o su respuesta mecánica.

Por último, destacar que la atenuación espacial de la señal ultrasónica presenta la gran ventaja de estar acotada entre 0 y 20 dB/cm. Un valor próximo a 0 indica un material que prácticamente no atenúa la señal, y corresponde a materiales muy homogéneos, con baja porosidad y nula presencia de fisuras.

Sin embargo, una atenuación próxima a 20 dB/cm está asociada a materiales muy heterogéneos, con un importante espaciado intercrystalino, elevada porosidad o presencia de fisuras. Este aspecto hace que la atenuación espacial resulte mucho más interesante que la velocidad de propagación de las ondas P, ya que ésta (V_p) no se encuentra acotada, ni existe una relación cuantitativa clara entre variaciones en la velocidad y modificaciones en la fábrica de la roca.

ESTIMADORES NO DESTRUCTIVOS

Se han obtenido dos estimadores no destructivos, con los cuales es posible predecir tanto la resistencia mecánica

de las rocas como su comportamiento elástico. Las ventajas de estos estimadores se centran en dos puntos: (a) tienen un carácter no destructivo; y (b) son válidos para cualquier tipo de roca carbonática con una porosidad inferior al 10%, independientemente de la presencia de fracturas, vénulas, bandeado metamórfico, etc.

El estimador de la resistencia a compresión de las rocas se muestra en la fig.1. Los valores que debemos conocer de la roca son su porosidad (eje X) y la atenuación espacial de las ondas ultrasónicas (eje Y). El punto correspondiente a estas coordenadas se encuentra entre dos límites de resistencia mecánica, que corresponden a la de la roca en cuestión.

El estimador del módulo elástico se resume en la ecuación 1. Esta ecuación se basa en la definición general del módulo elástico estático, pero introduce un factor corrector que mejora su capacidad predictiva. Este factor corrector se expresa en función de la atenuación espacial.

$$E_{est} = \frac{1}{3.8 \cdot \alpha_e^{-0.68}} \cdot \rho \cdot V_p^2 \cdot \frac{(1-2\nu)(1+\nu)}{(1-\nu)} \quad (ec. 1)$$

donde: E_{est} es el módulo elástico estático, ρ es la densidad de conjunto, V_p es la velocidad de propagación de las ondas P, α_e es la atenuación espacial y ν es el coeficiente de Poisson.

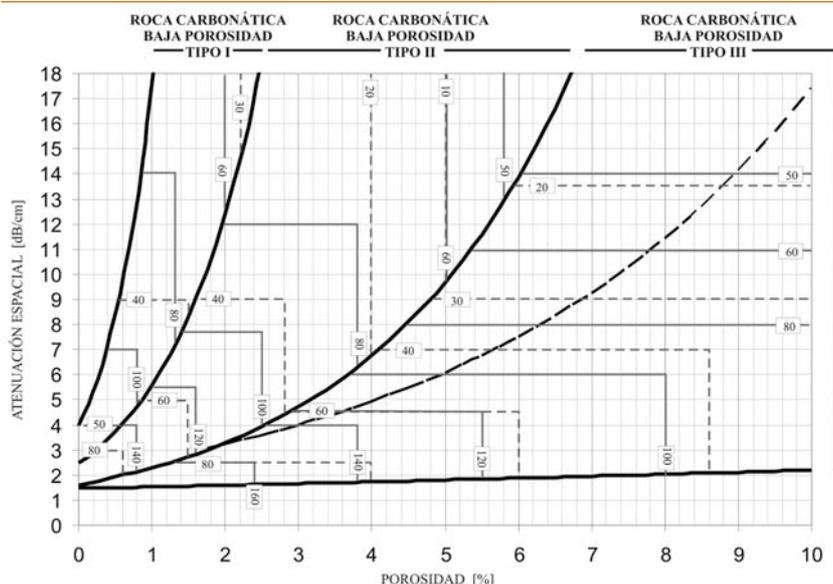


fig 2. Estimador no destructivo de la resistencia mecánica de rocas carbonáticas