

Determinación de propiedades físicas de la piedra natural con el dispositivo MSCL Geotek

Título de la comunicación: Physical properties measurement in natural stone by MSCL Geotek device

L. Galán¹, B. Fernández-Revuelta¹, R. Fort² y M.J. Varas^{2,3}

1 Área de laboratorios y Servicios. Instituto Geológico y Minero de España. C/La Calera nº 1 28760 Tres Cantos. b.fernandez@igme.es

2 Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM). Facultad de Ciencias Geológicas, 28040 Madrid. rafort@geo.ucm.es

3 Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas, UCM, 28040 Madrid. mjvaras@geo.ucm.es

Resumen: En este trabajo se comparan los valores de velocidad de propagación del sonido y densidad aparente obtenidos por un equipo de testificación geofísica multiparamétrica para testigos litológicos (Multi-Sensor Core Logger Geotek) y los valores de dichas magnitudes obtenidos con los métodos normalizados (normas UNE EN) para muestras piedra natural. Este equipo constituye un referente a nivel mundial para el análisis de propiedades físicas en testigos de sondeos perforados en materiales sedimentarios, pero no se ha aplicado para la caracterización de materiales pétreos con fines constructivos. Los resultados obtenidos muestran una buena correlación entre los datos que proporcionan ambos procedimientos de medida, especialmente en materiales densos y poco porosos, pero surgen discrepancias cuando se trata de materiales de porosidad elevada. Las determinaciones de susceptibilidad magnética no cuentan hasta ahora con aplicación alguna entre los parámetros de caracterización de piedras naturales. Este trabajo puede servir como pauta para la utilización del testificador MSCL Geotek como herramienta de correlación entre materiales de edificios y canteras originales, dada la fiabilidad de sus medidas y por tratarse de una técnica analítica no destructiva, rápida y económica.

Palabras clave: Testificación geofísica multiparamétrica, piedra natural, susceptibilidad magnética.

Abstract: In this paper are compared *p*-wave and bulk density data from Geotek multi-sensor core logger device and the same parameters obtained with standards methods (EN norms) for natural stone samples. MSCL is a worldwide referring for the physical properties analysis of sediment drill cores but there are no news about natural building rocks logging. The results show a good fit between MSCL and standards data, especially in lower porosity and higher density materials. Deviations between both groups of measurements occur when porosity increases. Magnetic susceptibility data has not been yet used for natural stone characterization studies. Geotek's MSCL may be an interesting tool for correlating rocks forming buildings and its original source quarries because it is a very quick, cheap, non-destroyer and quality controlled way for gathering a lot of physical parameters in natural stone cores.

Key words: Multi-sensor core logging, natural stone, magnetic susceptibility.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se analiza la utilización de un sistema de testificación multiparamétrica (multi-sensor core logger) MSCL-Geotek para registrar propiedades físicas de distintas variedades de piedra natural. Este dispositivo constituye un referente a nivel mundial para análisis de propiedades físicas en testigos de sondeos perforados en materiales sedimentarios (Thouveny *et al.*, 1994; Gunn & Best, 1998; Galán *et al.*, 2007), pero existen escasas referencias de su empleo para la caracterización petrofísica de rocas y más aun, de su empleo para caracterizar y/o identificar materiales pétreos con fines constructivos.

EL EQUIPO

El sistema MSCL Geotek es un dispositivo desarrollado para la medida continua y automática de

determinadas propiedades físicas en testigos de sedimentos y rocas, mediante técnicas no destructivas, con rapidez y a alta resolución (Zolitchka *et al.*, 2001).

La gama de parámetros petrofísicos que se pueden obtener mediante los sensores (Figura 1) incluye la temperatura, la atenuación de rayos gamma, variación de espesor de testigo, el tiempo de tránsito de las ondas P en la transversal del testigo, la resistividad NC (non-contact) y la susceptibilidad magnética.

Mediante el procesado de los datos nativos de los sensores se obtienen, respectivamente, densidad aparente, velocidad ultrasónica, impedancia acústica, diámetro total del testigo, índice de porosidad, resistividad eléctrica y susceptibilidad magnética referida a la masa o al volumen de testigo (en unidades S.I.).

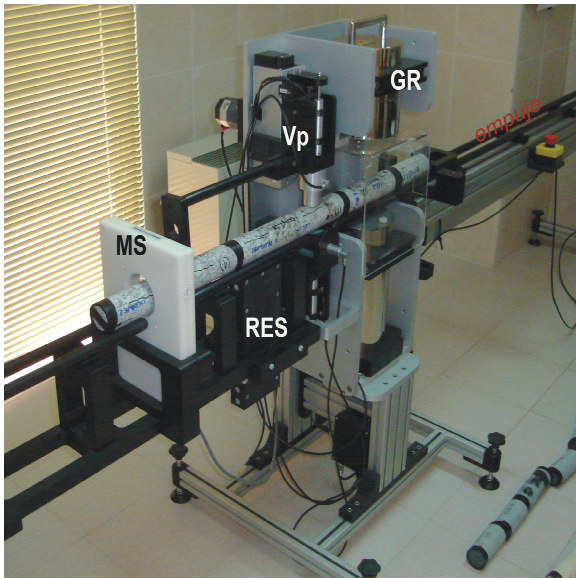


FIGURA 1: Equipo MSCL Geotek con los siguientes sensores: MS: susceptibilidad magnética; RES: Resistividad; Vp: Velocidad sónica (ondas P); GR: Densidad aparente (rayos gamma).

Puede trabajar con testigos enteros o seccionados longitudinalmente, de 50 a 150 mm de diámetro y 1,5 m de longitud máxima, procedentes de sondeos perforados en roca o en materiales no consolidados, y proporciona medidas de forma automática de los parámetros físicos citados con una resolución de 0,01 a 0,1 mm, dependiendo de los sensores y de los requerimientos del trabajo.

Un espaciado óptimo para trabajar con testigos de rocas homogéneas, oscilaría entre 1 y 2 cm. En estas condiciones, la velocidad de trabajo sería de 1 a 2 m/hora (puede alcanzar hasta 12 m/hora). Para análisis más detallados de densidad aparente se puede reducir el espaciado de medida hasta 5 o incluso 1 mm (empuje mínimo del motor).

METODOLOGÍA

Se han muestreado tres variedades de granito, una de caliza y una de pizarra compuestas por varios bloques procedentes de canteras que suministran o han suministrado piedra natural para la construcción. En cada variedad, y para cada bloque se ha extraído un testigo de 50 ± 5 mm de diámetro, con una longitud entre 10 y 40 cm aptos para su registro por todos los sensores del MSCL. En total se han estudiado 18 testigos litológicos y con una longitud total de 4,25 m. De cada variedad litológica se han cortado un número aproximado de 100 probetas cúbicas de 50 ± 5 mm de arista, que se han clasificado en grupos de anisotropía en función de la velocidad de propagación de ultrasonidos.

De estas 100 probetas se han seleccionado ocho de cada una de las clases de anisotropía, lo que supone entre 30 y 40 probetas por variedad, que se han sometido a ensayos de caracterización de densidad aparente y porosidad abierta (UNE EN 1936:1999)

Para este trabajo se han empleado los datos proporcionados por los sensores de rayos gamma para determinar la densidad aparente (GRD), la velocidad ultrasónica (Vp) y la susceptibilidad magnética (MS).

Antes de comenzar el registro (*logging*) se realiza una descripción detallada de cada uno de los testigos, anotándose su longitud y cualquier tipo de irregularidad visible en la superficie del cilindro de roca que pudiese afectar al valor de los parámetros físicos, como diaclasas, venas de cuarzo, cambios en la pizarrosidad, enclaves o pequeñas geodas, con el fin de interpretar correctamente los resultados.

Las medidas se realizan de forma automática, tras activar los sensores que se deseen emplear y establecer el programa de medida: longitud de los tramos de testigo, espaciado entre datos y tiempo para cada sensor. Para este trabajo se ha fijado un espaciado de 2 cm y un tiempo de medida de 10 segundos. Con estas pautas, el mecanismo de empuje va trasladando los diferentes tramos de testigo a través de los sensores sin otra intervención del operador que la de colocar el siguiente, cuando termina el recorrido del segmento anterior.

Densidad aparente (GRD)

La GRD se determina en el equipo *MSCL Geotek* por la atenuación de un haz de rayos gamma transmitido por una fuente radiactiva de ^{137}Cs , que se encuentra alojada en una cápsula especial de acero y plomo. El haz radiactivo llega al testigo a través de un colimador de los dos con que cuenta la cápsula, de 2,5 o de 5 mm de diámetro. Para este trabajo se ha seleccionado el primero de ellos.

Tras atravesar el testigo por su parte central, los rayos gamma son captados por un contador radiactivo. Para el cálculo de densidad a partir de las cuentas por segundo (cps) registradas por el detector, se emplea el software de Geotek, que aplica la ecuación de segundo grado obtenida a partir de la función que relaciona el logaritmo neperiano de la radiación registrada (en cps), con el producto de la densidad por el espesor del material. Las tres constantes de la ecuación de segundo grado se obtienen mediante un método empírico, consistente en hacer pasar la radiación gamma por piezas de aluminio de diferentes diámetros que proporcionan diferentes valores de absorción de rayos gamma, de acuerdo con las piezas estándar definidas en Best & Gun (1999). Para comprobar la posible deriva del sensor, antes de comenzar las medidas en el testigo se verifica su estabilidad testificando una pieza de aluminio cilíndrica ($d = \text{GRD} = 2,71 \text{ g/cm}^3$), con su mismo diámetro.

La determinación de la densidad aparente en las probetas cúbicas se realiza según la norma UNE EN 1936:1999. También se ha determinado siguiendo dicha norma la porosidad abierta. Se ha determinado para cada variedad de piedra natural entre 30 y 40 determinaciones.

Velocidad sónica

Para la medida de V_p , el MSCL dispone de dos transductores verticales que contactan tangencialmente con el testigo (fig. 1). El transductor superior es móvil y dispone de un disco cerámico piezoeléctrico que está alojado en una cápsula de acero. El inferior, dispone de un colchón flexible relleno de aceite sobre el elemento activo y se acopla por presión a la base del testigo. El dispositivo genera un pulso de 500 kHz que es enviado al transductor emisor, el cual emite una onda de choque con la misma frecuencia. Esta se propaga a través del cilindro rocoso hasta el receptor, amplificándose automáticamente. Este sensor se utiliza también para la medida del diámetro de los testigos, ya que detecta variaciones de espesor con una precisión de 0,05 mm.

Para su calibración se ha empleado un cilindro de metacrilato del mismo diámetro que los testigos, con V_p y tiempo de tránsito conocidos. De esta forma se puede conocer, con ayuda del osciloscopio del equipo, el valor de PTO, parámetro de corrección del tiempo de tránsito, mediante la deducción de la parte correspondiente al paso de la onda por los dispositivos de emisión y recepción (Geotek, 2000).

En las probetas cúbicas se han realizado medidas en tres direcciones ortogonales con un equipo PUNDIT (CNS Electronics) con transductores de 1 MHz. El número de medidas realizadas ha sido entre 900 y 1200 determinaciones por variedad de piedra. En el caso de la pizarra de Bernardos, sólo se han tenido en cuenta los valores de ultrasonidos tomados en las dos direcciones paralelas al plano de pizarrosidad, que corresponden con el sentido de medida de los transductores del MSCL Geotek sobre los testigos, con el fin de poder comparar los datos de V_p obtenidos por ambos dispositivos. Los valores de V_p tomados en las probetas en la perpendicular a la pizarrosidad, son notablemente más bajos y tienen una desviación típica muy elevada, por tratarse de la dirección de mayor anisotropía de este material (Fernández-Revuelta *et al.*, 2008), por lo que no son comparables a los obtenidos con el testificador Geotek.

Susceptibilidad magnética

La medida de la susceptibilidad magnética es un procedimiento sencillo y efectivo para caracterizar diferentes tipos de roca a través de su contenido en minerales magnéticos, así como un parámetro importante para correlacionar testigos y series litológicas.

El equipo MSCL lleva incorporado un dispositivo MS2 de Bartington Instruments Ltd., para la medida de susceptibilidad magnética. Se puede utilizar con testigos enteros, como en este caso, o seccionados longitudinalmente. Para los primeros se utilizará un sensor anular MS2C (se dispone de varios diámetros) y otro de contacto puntual MS2E, para los semicilindros. En este trabajo se ha usado un anillo de 72 mm de diámetro interior.

Los resultados de MS2C pueden ser los valores nativos medidos por el sensor directamente o los datos específicos de susceptibilidad referidos al volumen o la masa de la muestra. Para su calibración, cada anillo dispone de una pieza cilíndrica compuesta por granos de magnetita mezclados con cemento epóxico, de susceptibilidad conocida, que se registrará tras un periodo de calentamiento del sensor y estabilización de las medidas. Tiene una precisión del 5%, según el fabricante.

Durante la testificación es importante mantener constante la temperatura del laboratorio, ya que pequeñas variaciones pueden afectar a la estabilidad de los sensores, especialmente al de susceptibilidad magnética, obligando a constantes comprobaciones y puestas a cero del equipo, lo cual ralentiza notablemente el trabajo.

RESULTADOS

Se han efectuado 110 determinaciones de cada uno de los tres parámetros del testificador en los 18 cilindros de roca utilizados en este trabajo, cuyos resultados estadísticos se reflejan en la Tabla I.

Litología	Nº de testigos	Vp (m/s)		GRD (g/cm ³)		MS (unid. SI)	
		M	DT	M	DT	M	DT
Caliza de Redueña	5	3071	202	2,42	0,08	-0,39	0,24
Granito de Zarzalejo	2	2883	184	2,67	0,05	21,55	0,13
Granito de Alpedrete	2	4266	31	2,68	0,04	15,11	0,01
Granitos de Colmenar Viejo	4	5009	131	2,65	0,04	4,96	1,62
Pizarras de Bernardos	5	6022	126	2,75	0,09	13,20	3,60

TABLA I: Medidas continuas con MSCL Geotek. Valores medios (M) y desviaciones típicas (DT).

Los valores de densidad real y porosidad en las probetas cúbicas, son muy similares a los obtenidos con el equipo Geotek (Tabla II).

Litología	Vp (m/s)		GRD (g/cm ³)		Porosidad (%)	
	M	DT	M	DT	M	DT
Caliza de Redueña	2739	326	2,35	0,09	16,40	3,40
Granito de Zarzalejo	3278	276	2,66	0,02	1,64	0,11
Granito de Alpedrete	4657	186	2,67	0,02	0,80	0,11
Granitos de Colmenar Viejo	5164	230	2,61	0,02	0,74	0,13
Pizarras de Bernardos	6469	189	2,75	0,01	0,44	0,07

TABLA II: Valores medios (M) y desviaciones típicas (DT) de los valores obtenidos con el PUNDIT y la norma UNE EN 1936:1999.

Las correlaciones entre los valores se muestran en las Figuras 2 y 3.

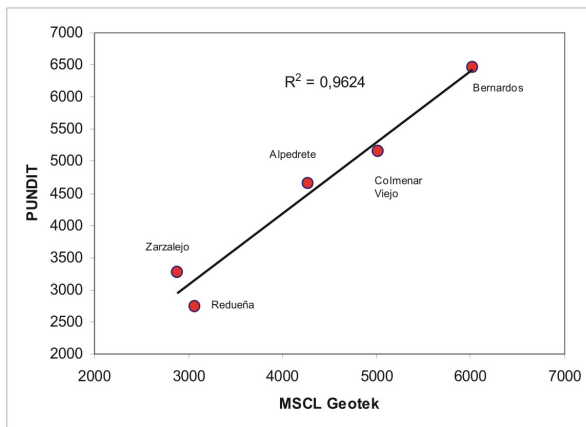


FIGURA 2: Correlación entre los valores de velocidad de propagación del sonido (m/s) obtenidos con el PUNDIT y el MSCL Geotek

Se ha obtenido una correlación buena ($R^2=0.962$) entre los valores de velocidad de propagación medidos con ambos métodos, presentando una diferencia entre ellos en torno al $\pm 10\%$.

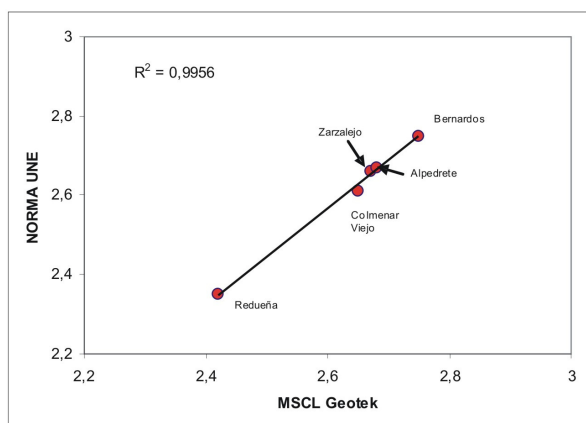


FIGURA 3: Correlación entre los valores de densidad aparente (g/cm^3) obtenidos con la norma UNE EN 1936:1999 y el MSCL Geotek

En cuanto a la densidad aparente, esta correlación es mucho mejor ($R^2=0.996$). En el caso de los granitos y la pizarra se han obtenido valores con una diferencia de 0.01 g/cm^3 , que no puede considerarse significativa. La mayor diferencia de valores se obtiene en el caso de la caliza de Redueña, es decir, en la roca más porosa.

CONCLUSIONES.

Atendiendo a los resultados obtenidos, se puede considerar al MSCL Geotek como un equipo apto para la determinación de propiedades físicas en variedades de piedra natural, con las salvedades hechas para testigos con porosidad más elevada. Estas discrepancias pueden quedar solventadas cuando se perfeccione la técnica de calibración del equipo para este tipo de materiales.

También es posible cambiar la disposición de los sensores de medida rayos gamma y, sobre todo, de los

transductores de velocidad ultrasónica al plano horizontal, con lo que mejoraría notablemente el acoplamiento acústico entre el testigo y los transductores.

Además, de las ventajas mencionadas de fiabilidad, rapidez, no destrucción de muestra y bajo coste de trabajo, el MSCL proporciona los valores de susceptibilidad magnética. La incorporación de los datos de este sensor a los estudios sobre piedra natural puede proporcionar un factor adicional de correlación entre las rocas empleadas en la construcción de edificios y sus semejantes en las canteras originales, así como otras interesantes aplicaciones en desarrollo actualmente.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del Programa de investigación MATERNAS (0505/MAT/0094) financiado por la Comunidad de Madrid y el Programa CONSOLIDER-INGENIO 2010 del MEC (CSD2007-0058).

REFERENCIAS

- Best, A.I. and D.E. Gunn (1999): Calibration of marine sediment core loggers for quantitative acoustic impedance studies. *Marine Geology*, 160, 137-146.
- Fernández-Revuelta B., Galán L., Fort R., Varas M.J. y Álvarez de Buergo M. (2008): Influencia de la anisotropía en la caracterización hídrica de la Pizarra de Bernardos. *VII Congreso Geológico (Geo-Temas)*
- Fort, R., Fernández-Revuelta, B., Varas, M.J., Álvarez de Buergo, M., Taborda-Duarte, M. (2008): Influence of anisotropy on the durability of Madrid-region Cretaceous dolostone exposed to salt crystallization processes. *Materiales de Construcción*, 289-290.
- Galán, L.A., Vegas, J. y García-Cortés, A. 2007. Caracterización de las propiedades físicas en registros lacustres mediante GEOTEK Multisensor Core Logger. Aplicación para el estudio paleoclimático del maar de Fuentillejo. En: *Contribuciones al estudio del periodo Cuaternario* (J. Lario y P.G. Silva, eds.). AEQUA, 187-188.
- GEOTEK Manual (2000): Multi-Sensor Core Logger. Daventry, UK.
- Gunn, D.E. & Best, A.I. (1998). A new automated nondestructive system for high resolution multisensor core logging of open sediment cores. *Geo-Marine Lett.*, 18, 70-77.
- Thouveny, N., de Beaulieu, J.L., Bonifaz, E., Creer, K.M., Guiot, J. Icole, M., Johnsen, S., Jouzel, J., Reille, M., Williams, T. y Williamson, D. (1994): Climate Variations in Europe over the past 140 kyr deduced from rock magnetism. *Nature*, 371, 501-506.
- Zolitschka, B., Mingram, J. Van der Gaast, S., Jansen, J.H.F. y Naumann, R. (2001): Sediment logging techniques. En: *Tracking environmental change using lake sediments* (W.M. Last y J.P. Smol, Eds.), vol. 1. Kluwer Academic Press. The Netherlands, 137-153.