

Propiedades petrofísicas de las cuarzoarenitas de la Fm Barrios (Zona Cantábrica, N de España)

Petrophysical properties of Barrios Fm quartzarenites (Cantabrian Zone, N Spain)

Sergio Llana-Fúnez¹, Andrés Zaragoza¹, Vicente G. Ruiz de Argandoña¹, Carlos López¹, Javier Olona² y Luis Pando¹

¹ Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, calle J Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo, lanasergio@uniovi.es, pandoluis@uniovi.es, lopezcarlos@uniovi.es, vgargand@uniovi.es
² Terradat, javier@terradat.es

ABSTRACT

The Barrios Formation is one of most characteristic lithostratigraphic units in the external parts of the Variscan orogen. It is constituted by continuous quartzarenites that can exceed a hundred meters in thickness. These rocks are present in almost all tectonic units within the Cantabrian Zone. The mineralogy determines its strength for most part of the unit, particularly for the beds made of quartzarenites. In this contribution, basic physical and mechanical properties are described in samples from six blocks, generally fresh, from which 64 cores have been tested. The properties determined are apparent density, open porosity, strength to uniaxial compression, tensional strength (Brazilian testing), and elastic properties using ultrasonic testing.

Key-words: quartzarenite, ultrasonics, Barrios Fm, porosity, rock deformation tests.

Geogaceta, 69 (2021), 63-66
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Introducción

El desarrollo de infraestructuras en la Cordillera Cantábrica está en gran medida condicionado, técnicamente, por dos aspectos geológicos: la orografía del terreno y la naturaleza –litología y estructura– del sustrato rocoso. Los relieves más importantes de la cordillera se han erigido a favor de un sustrato paleozoico constituido por la sucesión pre- y sinorogénica de la Zona Cantábrica (Alonso *et al.*, 1996). Esta es una de las zonas en que se ha dividido el orógeno Varisco en el norte peninsular, representando en concreto su zona externa (Julivert *et al.*, 1972). La mayor parte de las estructuras en las rocas de la Zona Cantábrica (ZC), cabalgamientos y pliegues de escala decamétrica a kilométrica, se formaron durante el ciclo varisco (Pérez-Estaún *et al.*, 1988). Fenómenos tectónicos posteriores, caso de las extensiones durante el Mesozoico y la convergencia cenozoica que levantó la Cordillera Cantábrica, han quedado registrados en las rocas expues-

tas más superficiales, ámbito dominado, sobre todo, por una fracturación adicional en los términos mecánicamente más resistentes de la sucesión estratigráfica.

En este trabajo se caracterizan las propiedades físico-mecánicas del litotipo representativo de una de las unidades más distintivas de la ZC: las cuarzoarenitas de la Formación Barrios. Estas rocas cuentan con múltiples usos industriales, que varían según la característica requerida. Mientras su resistencia mecánica y frente a la meteorización química permite su utilización como balasto ferroviario, como áridos para hormigón, como bloques destinados a muros de escollera o como piedra de construcción (en el norte de León conocida como piedra Maragata), su composición permite su uso en procesos de fabricación de vidrio (Gutiérrez Claverol *et al.*, 2008). De igual modo, sus propiedades mecánicas, estructurales y composicionales condicionan la ejecución de obras de ingeniería, en especial aquellas que conllevan la realización de excavaciones subterráneas.

RESUMEN

La Formación Barrios es una de las unidades litoestratigráficas más características de las zonas externas del orógeno Varisco. Constituida por cuarzoarenitas muy continuas que pueden exceder el centenar de metros de potencia, está presente en casi todas las unidades tectónicas de la Zona Cantábrica. La composición mineralógica determina la alta resistencia mecánica de la mayor parte de la sucesión de estratos que forman la unidad, especialmente las cuarzoarenitas. En este trabajo se describen las propiedades físico-mecánicas determinadas en seis bloques de muestras de esta litología, en general poco alteradas, de las que se han extraído y ensayado 64 probetas. Se han determinado densidad aparente y la porosidad abierta, realizado diferentes ensayos mecánicos sin confinamiento (compresión uniaxial y tracción indirecta), y se han caracterizado las propiedades elásticas mediante ultrasonidos.

Palabras clave: cuarzoarenita, ultrasonidos, Fm. Barrios, porosidad, ensayos mecánicos.

Fecha de recepción: 01/07/2020
Fecha de revisión: 23/10/2020
Fecha de aceptación: 27/11/2020

Una de las peculiaridades de la Fm. Barrios y, en particular de las cuarzoarenitas, es el acusado grado de fracturación, generándose una densa red de diaclasado que contrasta con la menor presencia de discontinuidades en las unidades adyacentes, cuyas rocas poseen un comportamiento más dúctil. No existe un estudio sistemático regional de la fracturación que presenta esta unidad en todos los contextos, no obstante, varios de los sistemas de diaclasas más comunes se han asociado a pliegues generados como consecuencia de la tectónica varisca (Blenkinsop y Drury, 1988).

La motivación para abordar este tipo de estudio en esta litología en particular es, por tanto, doble, académica y aplicada, pero con el punto en común que representa evaluar sus propiedades mecánicas.

La Formación Barrios

La columna estratigráfica general de la ZC muestra una parte inferior de la

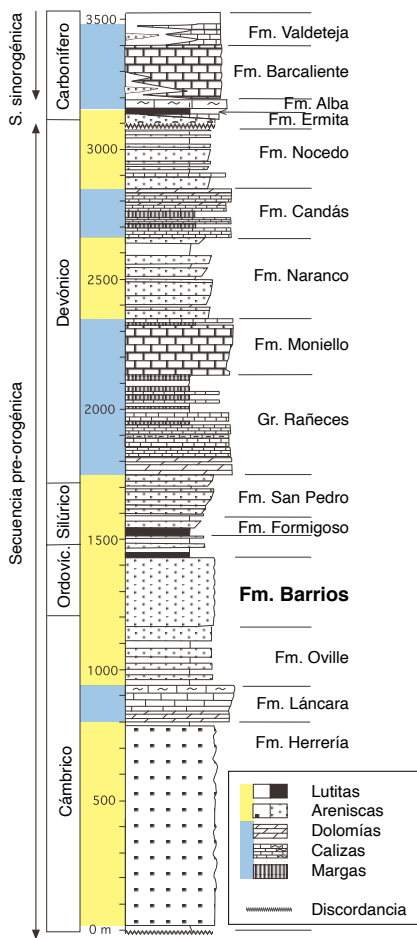


Fig. 1.- Columna estratigráfica idealizada de la Zona Cantábrica (modificada de Alonso et al., 2009). Ver figura en color en la web.
 Fig. 1.- Idealized stratigraphy of the Cantabrian Zone (modified after Alonso et al., 2009). See color figure in the web.

sucesión fundamentalmente detrítica, eminentemente arenosa, y una parte superior carbonatada, con predominio de calizas (Fig. 1). Dentro de esta sucesión, la Fm. Barrios se encuentra muy próxima al nivel de despegue habitual de los cabalgamientos en la ZC, la Formación Láncara (Pérez-Estaún et al., 1988).

Como se observa en lámina delgada, las cuarzoarenitas están formadas por granos subredondeados, de tamaño variable entre medio y grueso. Los granos subredondeados de cuarzo aparecen siempre en contacto y habitualmente mostrando ligeras indentaciones de unos granos en otros, lo que sugiere disolución por presión durante la litificación o posterior enterramiento (Fig. 2). Así mismo, se aprecia localmente la existencia de una cementación de cuarzo epitaxial que reduce sustancialmente la porosidad de estas rocas. Por esta característica, a estas litologías también se les ha denominado cuarcitas en la literatura, aunque

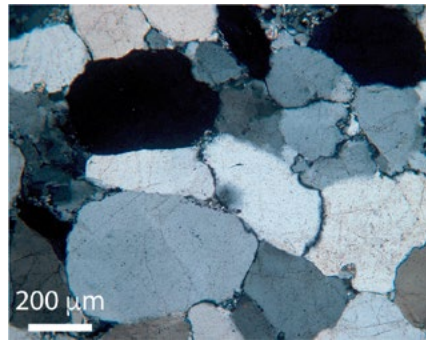


Fig. 2.- Cuarzoarenita constituida por granos subredondeados, habitualmente mostrando indentaciones producto de la compactación. Imagen obtenida mediante microscopía óptica con polarizadores cruzados.
 Fig. 2.- Quartz arenite formed by rounded detrital grains, frequently showing evidences of indentation during compaction. Image in optical microscopy with transmitted light under crossed nicols.

no se haya descrito un metamorfismo regional en la ZC que lo justifique.

El contenido en cuarzo en las muestras estudiadas excede el 95 % clasificándose en todos los casos como cuarzoarenitas (Zaragoza, 2018). Como accesorios se han podido reconocer por difracción de rayos X, goethita y caolinita.

Materiales y métodos experimentales

Para esta investigación se han recopilado seis bloques provenientes de dos localidades: B1, B2 y B3 proceden del Cogollo (coordenadas 43° 27,642' N 5° 59,807' O en Las Regueras) y B4, B5 y B6 de las Mestas (coordenadas 43° 12,604' N 5° 12,091' O en Ponga). Los bloques fueron elegidos de visu dada su aparentemente reducida alteración y a la ausencia significativa de fases secundarias.

Las probetas para la medida de propiedades físicas, un total de 37, se extrajeron con broca de corona diamantada de 35 mm de diámetro de los bloques paralelamente a la estratificación. La rectificación de las probetas durante el tallado se comprobó con un calibre, estando la diferencia de longitud siempre por debajo de 100 µm. También se obtuvieron probetas más cortas, de 50 mm de diámetro, para ensayos de tracción indirecta. Todas las muestras se almacenaron al menos 12 h en un horno a 60 °C previamente a la realización de medidas de propiedades.

Las relaciones masa-volumen se obtuvieron siguiendo la norma UNE-EN

1936:2006, determinando densidad aparente ρ_b (kg/m³) y porosidad abierta n_o (%).

Las medidas de propagación de ultrasonidos se efectuaron con un equipo Proceq, modelo Pundit 200. Las ondas P se detectaron con transductores de 54 kHz, y las ondas S con transductores de 500 kHz. Los registros de las ondas se han grabado y exportado a un archivo csv, lo que ha permitido precisar el tiempo de la primera llegada de ondas P y de onda S.

Los ensayos mecánicos, por su parte, incluyeron ensayos de resistencia a la compresión uniaxial bajo norma UNE-EN 1926:2006 y UNE-EN 14580:2006, obteniéndose el esfuerzo de rotura y módulo de Young medio mediante el análisis de la pendiente del tramo recto de las curvas de carga. Los ensayos se realizaron con una prensa MTS 815 con una capacidad de carga nominal de 3000 kN sobre 10 de las probetas con una esbeltez de 2-2,5 (Tabla 1). Los ensayos se realizaron a velocidad de desplazamiento constante del pistón superior (~0,02 mm/s), lo que equivale a una tasa de deformación de $\sim 3 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. El sistema de medida del desplazamiento vertical de la prensa MTS ha sido previamente calibrado con un transductor LVDT.

Por otro lado, sobre 27 discos de 50 mm de diámetro se llevaron a cabo ensayos de resistencia de tracción indirecta (tipo brasileño), siguiendo la norma UNE 22950-2:1990 (Zaragoza, 2018).

Resultados

Los resultados obtenidos en el trabajo experimental se encuentran recogidos numéricamente en las tablas I y II, y gráficamente, en las figuras 3 y 4.

Todas las muestras analizadas presentan porosidades por debajo del 6 %, y velocidades de propagación de ondas en el rango de 3-4 km/s para ondas P y 1,5-2,5 km/s para ondas S. No existen diferencias significativas de densidad entre las probetas de cada bloque, ni entre los distintos bloques (Tabla 1). Sí se aprecia una correlación negativa de las velocidades con la porosidad (Fig. 4A.).

Una inspección visual a la figura 3 muestra que las curvas de carga son en general reproducibles en probetas de diferentes bloques, aunque no tanto el esfuerzo a la rotura, más expuesto a la presencia local de discontinuidades en cada probeta. La resistencia a la rotura de

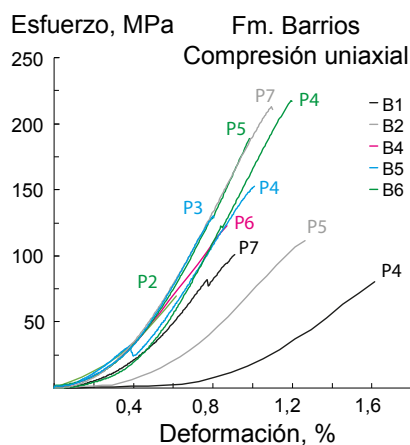


Fig. 3.- Curvas de esfuerzo-deformación obtenidas en los ensayos de resistencia a compresión uniaxial.

Fig. 3.- Stress-strain curves obtained in uniaxial compression strength tests.

las probetas ensayadas llega a exceder los 200 MPa, aunque en varias de ellas los valores se reducen al entorno de 100 MPa (Fig. 3). Con la excepción de tres probetas (dos en el bloque 1 y otra en el 2), existe una buena correlación entre la pendiente de las curvas de carga (módulo de Young estático) con respecto a la velocidad de propagación de ondas sísmicas (Fig. 4A₂) y con la porosidad (Fig. 4A₃). También existe una buena correlación entre el módulo de Young determinado dinámicamente, con respecto al estático (Fig. 4A₄).

El análisis por bloques muestra resistencias a la tracción en el rango de 20-45 MPa (Fig. 4B y Tabla II). A pesar de que el número de muestras ensayadas en tres de los bloques es muy reducido, se observan correlaciones negativas entre

Bloque	Tracción		ρ_o	ρ_b
	MPa	n		
B1	21	1	4,6	2677
B2	25	19	2,0	2597
B4	43	4	0,9	2627
B5	29	2	1,4	2618
B6	22	1	2,2	2587

Tabla II.- Valores medios de propiedades físicas en los bloques de cuarzoarenitas estudiados.

Table II.- Average values for physical properties in the studied blocks of quartzarenites.

Probeta	n_o	ρ_b	Vp	Vs	Vp/Vs	Coef. Poisson	Módulo de Young		Comp. Uniaxial
							Estático	Dinámico	
	%	kg/m ³	54 kHz m/s	500 kHz m/s			GPa	GPa	MPa
B1 - P1	6,2	2618	3083	1414	2,18	0,37		14	
B1 - P2			3408	1630	2,09	0,35			
B1 - P4	4,3	2678	3160	1756	1,80	0,28	10	21	84
B1 - P5	4,3	2688	3018	1713	1,76	0,26		20	
B1 - P6			3524	1731	2,04	0,34			
B1 - P7	4,7	2669	4116	2158	1,91	0,31	19	33	101
B1 - P8	3,8	2706	4084	2175	1,88	0,30		33	
B1 - P10	4,5	2700	3377	1786	1,89	0,31		22	
B2 - P4			3799	2111	1,80	0,28			
B2 - P5	2,5	2586	3690	2103	1,75	0,26	15	29	112
B2 - P6			4071	2411	1,69	0,23		37	
B2 - P7	1,9	2603	3990	2455	1,63	0,20	28	37	213
B2 - P8			4070	2286	1,78	0,27			
B2 - P10	1,9	2602	3908	2218	1,76	0,26		32	
B2 - P11	1,7	2593	3688	2183	1,69	0,23		30	
B2 - P12			3930	2209	1,78	0,27			
B2 - P13	2,3	2597	3807	2233	1,70	0,24		32	
B2 - P14	2,0	2599	3993	2188	1,82	0,29		32	
B2 - P16			3834	2184	1,76	0,26			
B2 - P18			3998	2239	1,79	0,27			
B2 - P19			3870	2241	1,73	0,25			
B4 - P3	0,9	2625	4390	2361	1,86	0,30		38	
B4 - P6	0,8	2629	4301	2392	1,80	0,28	19	38	123
B5 - P3	1,3	2620	4384	2591	1,69	0,23	26	43	130
B5 - P4	1,3	2620	4220	2481	1,70	0,24	23	40	153
B5 - P6	1,5	2617	4282	2259	1,90	0,31		35	
B5 - P9	1,6	2614	4150	2295	1,81	0,28		35	
B6 - P1	2,3	2582	3211	1927	1,67	0,22		23	
B6 - P2	2,1	2591	3126	1848	1,69	0,23	16	22	67
B6 - P3			3133	1781	1,76	0,26			
B6 - P4	2,1	2588	2848	1692	1,68	0,23	28	18	218
B6 - P5	2,2	2588	3444	1907	1,81	0,28	32	24	205
B6 - P6	2,3	2584	3232	1808	1,79	0,27		21	
B6 - P8			3138	1729	1,82	0,28			
B6 - P9	2,1	2587	3194	1796	1,78	0,27		21	
B6 - P10			3203	1943	1,65	0,21			
B6 - P11			3031	1765	1,72	0,24			

Tabla I.- Propiedades físicas determinadas en probetas en los seis bloques de cuarzoarenitas (el sombreado o su ausencia permite diferenciar las probetas del mismo bloque).

Table I.- Physical properties determined in cylindrical specimens from six different blocks of quartzarenites (the shading or lack of it highlights samples from the same block).

la resistencia a la tracción y la porosidad (Fig. 4B₁), y positivas entre la resistencia a la tracción y la velocidad de ondas P y S, (Fig. 4B₂).

Discusión

A la vista de los resultados experimentales se pueden efectuar varias observaciones sobre las cuarzoarenitas de la Fm. Barrios. La microestructura de estas cuarzoarenitas ejerce un control claro en las propiedades elásticas, fenómeno que se puede observar en dos aspectos del gráfico que compara la velocidad de propagación de ondas frente a la porosidad abierta en las probetas (Fig. 4A₁).

El primero se aprecia cuando se compara con la velocidad teórica de una roca formada exclusivamente por cuarzo sin orientación cristalográfica preferente, representado por puntos rojos en el gráfico (Hacker y Abers, 2004). Como se puede observar, el cambio en las velocidades reales con respecto a las teóricas para una roca en más de un 95% constituido por cuarzo es notable, y únicamente achacable a la microestructura: bordes de grano, porosidad intergranular y la distribución de impurezas a lo largo de los bordes de los granos detríticos de cuarzo.

El segundo aspecto, aunque menos intenso, es la progresiva disminución de

las velocidades con la porosidad, algo también observado en trabajos previos sobre los mismos litotipos de esta unidad en otra localidad, aunque en un rango de porosidades ahora superior (Fig. 4A₁) (Olona, 2014).

La medida de propagación de ultrasonidos y la realización de ensayos de carga sobre las mismas probetas permite la comparación de los módulos de elasticidad (módulo de Young), dinámico versus estático, respectivamente (Fig. 4A₄). Con la excepción de dos probetas (bloque 6, Tabla 1), se observa una buena correlación, comparable a la de otros materiales como rocas carbonatadas (Martínez-Martínez *et al.* 2012).

Conclusiones

Los resultados experimentales confirman una relativa alta resistencia mecánica en las cuarzoarenitas de la Fm. Barrios, con esfuerzos de rotura en torno a 200 MPa para probetas sin discontinuidades.

El rango de porosidades estudiado es reducido, como corresponde al tipo de muestras seleccionadas, pero se revela como un parámetro importante en el control de la velocidad de ondas P y S en esta clase de materiales.

Salvo en uno de los bloques (B6) existen una buena correlación entre el módulo de elasticidad determinado por ensayos destructivos (estático), con respecto al módulo de elasticidad determinado mediante propagación de ondas P y S (dinámico). En este sentido, cabe destacar la utilidad de los ultrasonidos para detectar cambios en la microestructura de un mismo material, dada la alta sensibilidad de esta propiedad física a este tipo de cambios ante una misma composición.

Agradecimientos

La actualización de la prensa MTS y la adquisición del equipo de ultrasonidos se ha realizado a través de una ayuda a grupos de investigación financiada por el Gobierno del Principado de Asturias (GEOCANTÁBRICA, GRUPIN14-044). Los integrantes agradecen la financiación actual por la AEI a través del proyecto CGL2017-86487-P. Una parte de los datos han sido extraídos del TFM de A. Zaragoza, presentado en la Universidad de Oviedo en 2018.

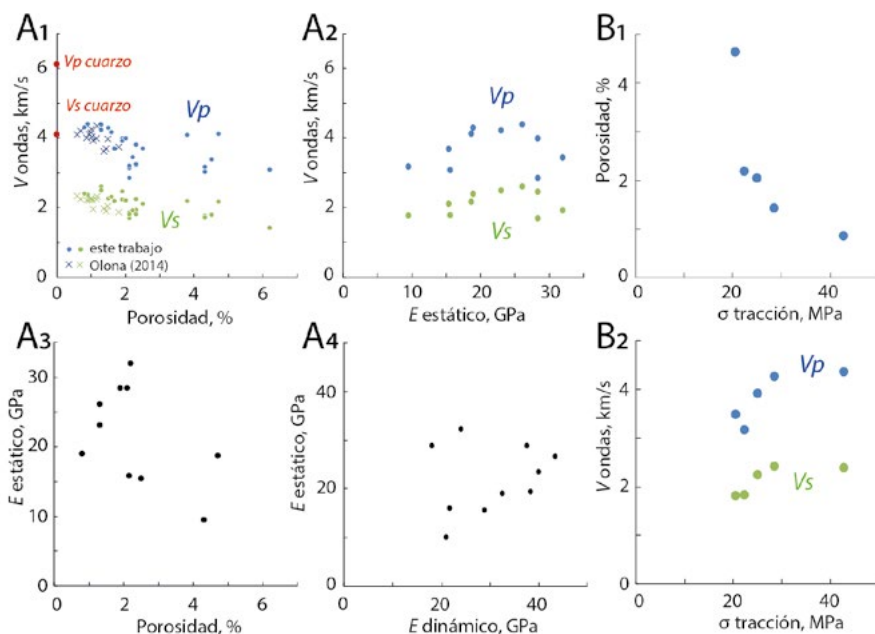


Fig. 4.- Comparación entre diferentes propiedades físicas determinadas para las cuarzoarenitas de la Fm Barrios en probetas (A) y en bloques (B). A₁) relación lineal negativa entre las velocidades de ondas P y S con la porosidad. A₂) variabilidad en el módulo de Young (E) estático para las velocidades de ondas P y S. A₃) relación del módulo de Young estático con la porosidad. A₄) correlación positiva entre el módulo de Young estático frente al dinámico, con la excepción de las probetas del B6. B₁) esfuerzo de tracción (σ) frente a la porosidad y B₂) esfuerzo de tracción frente a la velocidad de ondas P y S.

Fig. 4.- Comparative between different physical properties for the Barrios Fm quartzarenites, from individual cylindrical samples (A) and from block averages (B). A₁) negative linear correlation between P and S waves with porosity. A₂) range of static Young modulus (E) with P and S velocities. A₃) relation between the static Young modulus with porosity. A₄) positive linear correlation between the static against the dynamic Young modulus, excepting B6. B₁) Tension stress (σ) against porosity, and B₂) against P and S wave velocities.

Referencias

- Alonso, J.L., Marcos, A. y Suárez, A. (2009). *Geologica Acta* 7, 451-473.
- Blenkinsop, T. y Drury, M. (1988). *Journal of Structural Geology* 10(7), 673-684.
- Gutiérrez Claverol, M., Pando, L. y García-Ramos, J.C. (2008). Procesos y productos de alteración de formaciones rocosas en Asturias y su repercusión socio-económica. *Boletín Geológico y Minero* 119(2), 211-230.
- Hacker, B.R. y Abers, G.A. (2004). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 5(1), 7 p.
- Julivert, M., Fontboté, J. M., Ribeiro, A. y Conde, L. (1972). *Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares 1:1.000.000*. IGME, Madrid.
- Martínez-Martínez, J., Benavente, D. y García-del-Cura, M.A. (2012). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 71, 263-268.
- Olona, J. (2014). *Integración de metodologías geofísicas para la caracterización geológico-geotécnica del terreno*. Tesis Doctoral, Univ. de Oviedo, 349 p.
- Pérez-Estaún, A., Bastida, F., Alonso, J.L., Marquínez, J., Aller, J., Álvarez-Marrón, J., Marcos, A. y Pulgar, J.A. (1988). *Tectonics* 7(3), 517-537.
- UNE-EN 1926:2006 (2006). *Métodos de ensayo para piedra natural: Determinación de la resistencia a la compresión uniaxial*. AENOR, 21 p.
- UNE-EN 1936:2006 (2006). *Métodos de ensayo para piedra natural: Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total*. AENOR, 13 p.
- UNE 22950-2:1990 (1990). *Propiedades mecánicas de las rocas. Ensayos para determinación de la resistencia. Parte 2: resistencia a tracción indirecta*. AENOR, 13 pp.
- UNE-EN 14580:2006 (2006). *Métodos de ensayo para piedra natural: determinación del módulo de elasticidad estático*. AENOR, 17 p.
- Zaragoza, A. (2018). *Caracterización geotécnica de la Formación Barrios en la Zona Cantábrica*. Trabajo Fin de Máster, Univ. de Oviedo, 86 p.