

INFLUENCIA DE LAS DISCONTINUIDADES Y EL TAMAÑO DE BLOQUE EN YACIMIENTOS DE PIZARRA DEL ALTO BIERZO (LEÓN, ESPAÑA)

M. A. Rodríguez-Sastre¹ y Manuel Gutiérrez Claverol²

Departamento de Geología
C/ Jesús Arias de Velasco s/n
33005 Oviedo, Asturias, Spain
Teléfono: +34 616749112; Fax: +34 98510

¹ Autor de correspondencia : Asesora geológica, marsast@gmail.com

² Profesor Titular, Universidad de Oviedo, claverol@geol.uniovi.es

ABSTRACT

Geology of the studied area is located in the NW of Spain in Leon Province, which it is included in the Asturoccidental leonese Zone, within the Navia Alto Sil dominie.

Bed rock of this area consist of Palaeozoic rocks of Ordovician age of Luarca Formation, folded during the Variscan Orogeny in at least three phases and thicknesses of this slate formation being estimated between 500 and 1,000 m. These slates are bright black and it does contain sulphides, which are popular in euxinic environments. Recently volcanic rock levels were recognized in this formation in the surrounded area of Lago-Fontaron and in the Alto Sil dominie.

From recognising program in the field slate quarry is showing an intensive fracturation of the rock mass under exploitation. Most popular discontinuities are kink-bands, discontinuities, quartz veins and sulphide mineral veins in a quite wide range of thickness, also it is described a high content of metallic mineral nodules, with variable diameters, which varies between 6 and 9 cms. These nodules it supposes to represent fossils flattened during early orogeny deformation stage.

Rock mass discontinuities where measured in the field using both the random and the Davis method, and latter to be plotted in polar stereographic representation where main families of discontinuities were discriminated. More than four families were described so this rock mass can be classified as highly fractured. From rock block measurements in quarry and factory these blocks are classified as small and its classification varies between tabular (III class) and columnar (IV class).

INTRODUCCIÓN

Geológicamente la pizarra investigada en el Alto Bierzo pertenece al Miembro superior de la Formación Pizarras de Luarca (Ordovícico Medio) del denominado Domino Navia-Alto Sil, dentro de la Zona Asturoccidental-Leonesa. Comprende las hojas geológicas 1:50.000 de Vega de Espinareda, Villablino, Noceda y Degaña (Pulgar *et al.*, 1982; Pérez Estaún *et al.*, 1982; Navarro, 1982; Matas y Fernández, 1982).

Son pizarras negras lustrosas bastante homogéneas con abundante pirita, típica de sedimentos depositados en un medio euxínico, donde recientemente se han identificado interestratificados niveles volcánicos (Villa *et al.*, 2004). Estratigráficamente, la base de la Formación Luarca es transicional con la Serie de los Cabos constituida por una alternancia de areniscas, cuarcitas,

limonitas y pizarras. Por otro lado, la Formación Pizarras de Luarca está recubierta por la Formación Agüeira, siendo el tránsito gradual (Pérez-Estaún y Marcos, 1981).

En este dominio geológico, dentro de las Pizarras de Luarca se ha reconocido diferente material fosilífero (entre otros, *Colpocoryphe cf. Grandis* y *Neseuretus? sp.* en tallas grandes), localizado en la mitad superior de la sucesión (Gutiérrez-Marco *et al.*, 1999). Estos mismos especímenes han sido reconocidos igualmente en la cantera objeto de estudio, encontrándose los fósiles en nódulos pirritizados de gran talla (entre 2,2 y superiores a 5 cm), aplastados y deformados.

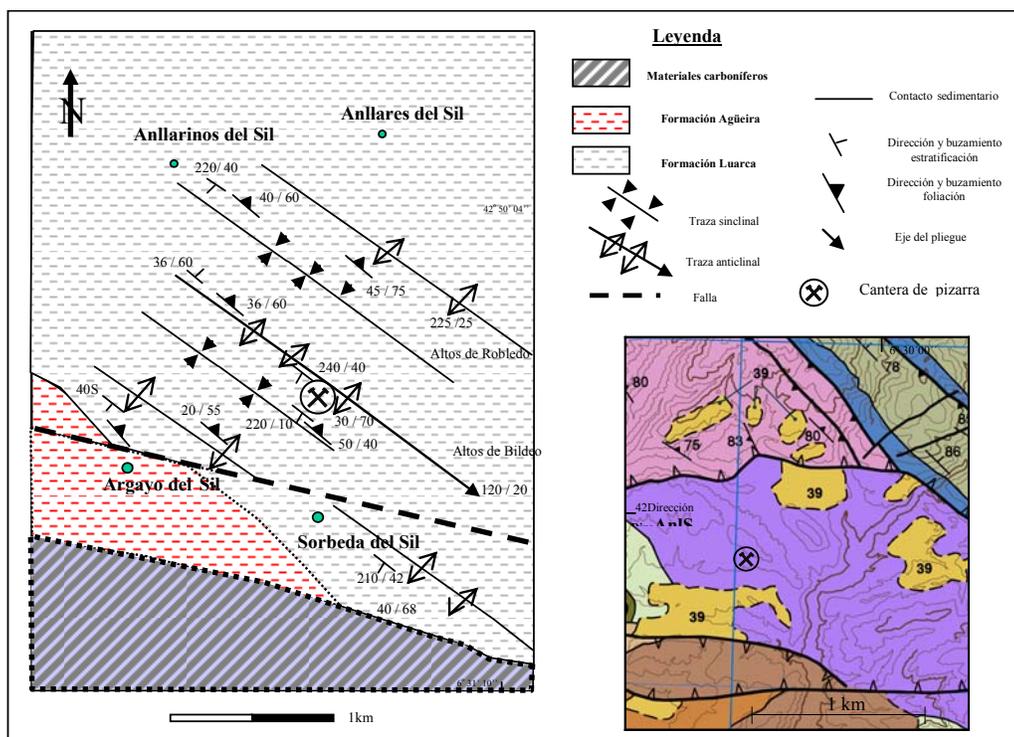


Figura 1: Mapa tectónico simplificado de zona de cantera del zócalo paleozoico. A la derecha, encuadre de la zona estudiada según Alonso *et al.* (2005); en morado se representa la Fm. Luarca.

Se encuentran descripciones de esta unidad en las inmediaciones de la localidad de Luarca (VV.AA., 2004), donde el espesor total de la misma supera los 500 m, pudiendo diferenciarse allí tres miembros: el *inferior* consta de una serie de transición, por encima de la Serie de los Cabos, formada por una alternancia de areniscas, limonitas y pizarras, con algunos niveles cuarcíticos; el *medio* es un nivel cuarcítico –Cuarcita de Sabugo– cuyo espesor varía entre 50 y 100 metros; por último, el *superior* está constituido por una serie uniforme de pizarras negras.

Las rocas de este sector han sufrido un metamorfismo regional de bajo grado, situándose dentro de la facies de los esquistos verdes, con predominio de la paragénesis cuarzo+clorita.

Esta zona de estudio está representada por un tren de mesopliegues con vergencia al sudeste originados durante la primera fase de deformación varisca; presentan superficies axiales inclinadas que desarrollan una foliación tectónica (S1) (fig. 1). Además en las zonas de deformación dúctil se desarrollan milonitas, pliegues menores asociados a niveles de cuarzo subhorizontales y con charnelas curvadas y una foliación tectónica S2.

Los pliegues de la primera fase muestran sus flancos deformados a su vez por pliegues oblicuos y abiertos con superficies axiales subverticales desarrollados durante la tercera fase de deformación varisca; estas estructuras van localmente acompañadas por un clivaje de crenulación S3 incipiente,

el cual constituye superficies a 45° de la foliación principal. Con posterioridad se desarrollan localmente kink-bands y clivaje de crenulación subverticales y fallas asociados a una compresión tardi-orogénica. Además, se han observado pliegues radiales subverticales y una red de diaclasas verticales transversales a las principales estructuras variscas, de alta continuidad y espaciado cerrado, alcanzando profundidades de hasta 80 m (Suárez *et al.*, 1992).

La valoración económica de un yacimiento de pizarra viene determinado fundamentalmente por el grado de fracturación y el tamaño de bloque que delimitan las discontinuidades (Lombardero y Quereda, 1992). Así surge la necesidad de llevar a cabo estudios que aborden esta temática, y que es el objeto de esta investigación. Contribuyendo con ello a la hora de racionalizar el trabajo en las canteras de pizarra, junto con el conocimiento del contexto geológico en la misma, debido a que las caras del rachón que se utiliza para la transformación de pizarras, viene delimitado por las superficies de foliación y las discontinuidades tectónicas.

METODOLOGÍA

Con el objeto de registrar la máxima información posible de esta intrincada zona geológica se han llevado a cabo en las litologías principales involucradas en la explotación de pizarra, el estudio de las discontinuidades, la medida del tamaño del bloque (tanto en la cantera como en nave de transformación), así como la determinación de los tamaños de bloque deducidos del RQD a partir de cinco sondeos mecánicos.

Para el estudio de las discontinuidades, y después de la toma de datos en el campo, se parte de la observación de la representación polar y de contornos de las direcciones de las familias principales: foliación metamórfica (S_p) y estratificación (S_o), identificando el resto de discontinuidades posteriormente.

Se han establecido cuatro estaciones de medida, para las pizarras limolíticas con diferente grado de meteorización y las pizarras finas. Además se aplicó el método del círculo inventario de Davis (Davis, 1983; Gutiérrez Claverol *et al.*, 1991), así como la medida de las discontinuidades al azar.

La red de discontinuidades condiciona de manera definitiva la explotación del macizo rocoso y su validación para la transformación de pizarras de techar. La descripción del tamaño del bloque se ha realizando aplicando un metodología que consiste en contar el número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen de 1 m^3 del macizo rocoso, definido como J_v , y con el cálculo de las dimensiones medias, I_b .

– Índice de tamaño de bloque I_b (representa las dimensiones medias de los bloques tipo medidos en el aflojamiento: $I_b = (e_1 + e_2 + e_3)/3$).

– Parámetro J_v (número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen).

Para la estimación del RQD, medido a partir de cinco sondeos de investigación realizados en la zona de explotación, se consideraron sólo los fragmentos de roca fresca, excluyéndose los que presentan un alto grado de meteorización. La medida de este índice se ha realizado en cada maniobra, siendo recomendable que la longitud de la maniobra no exceda el 1,5 m. El diámetro mínimo del testigo debe ser de 48 mm y la medida se realizó sobre el eje central del mismo, considerándose los fragmentos con un diámetro completo. Por otro lado, se ha calculado el parámetro J_v a partir de los sondeos empleando las ecuaciones empíricas que relacionan este índice con el valor del RQD medido en los sondeos, mediante la expresión: $RQD = 115 - 3,3 J_v$, para $J_v > 4,5$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características litológicas de la serie beneficiada

La secuencia estratigráfica observada en la explotación objeto de estudio se corresponde con el miembro superior de la Formación Luarca y en ella se pueden diferenciar varios niveles litológicos (fig.2).

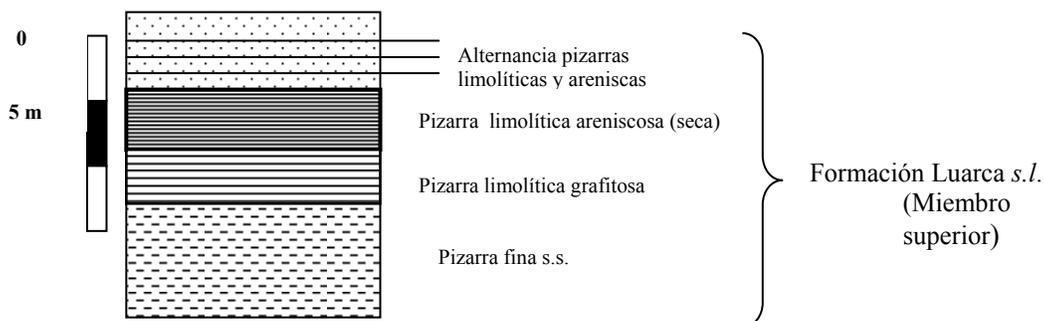


Figura 2: Estratigrafía de la cantera.

Datos estructurales del macizo rocoso

La estructura general de la zona viene marcada por pliegues de media escala, formados durante la primera fase de deformación varisca (F1), puesto de manifiesto por los niveles más areniscos. Se trata de pliegues isométricos con dirección y buzamiento del eje $120^{\circ}/20^{\circ}$, con planos axiales verticalizados (S1 con dirección y buzamiento $30^{\circ}/75^{\circ}$), según las mediciones realizadas en el flanco meridional del anticlinal del monte Bildeo y un ángulo entre los flancos de 140° . En el flanco septentrional del anticlinal los planos de foliación medidos presentan igual dirección y buzamiento $34^{\circ}/68^{\circ}$.

Las estructuras de fase tres observables son pliegues con ejes homoxiales a los de F1 y esquistosidades de crenulación con direcciones y buzamientos $358^{\circ}/70^{\circ}$.

Se han cartografiado fallas pertenecientes a varios sistemas $100^{\circ}/80^{\circ}$ con desarrollos laterales relativamente importantes (del orden de decenas de metros).

Las fallas extensionales, asociadas al núcleo anticlinal del pliegue, se encuentran rellenas de cuarzo constituyendo diques, y relacionadas con el resto de fracturas presentes en la cantera; son especialmente frecuentes las venas rellenas de sulfuros relacionadas con fallas extensionales de dirección $30^{\circ}/80-90^{\circ}$. Se han determinado tres tipos de venas de cuarzo:

- Venas de cuarzo con relleno de espesor milimétrico, en familias subparalelas con elevada persistencia, pero concentradas en determinados dominios de la cantera. Afectan al macizo rocoso, hasta las profundidades alcanzadas en la actualidad. Podrían estar relacionadas con las estructuras distensivas originadas durante el final de la orogenia varisca.
- Filones de cuarzo subverticales con espesores comprendidos entre 10 y 30 cm y de alta continuidad. Son subparalelos a las trazas axiales de los pliegues menores y, por ende, contemporáneos.
- Venas de cuarzo asociadas a la tercer fase del plegamiento y que en el afloramiento tanto del hastial derecho como izquierdo de la cantera se han observado subhorizontales y originando formas en “Z”, estando asociadas a estructuras sinclinales.

Medida de las discontinuidades

El estudio de las discontinuidades se ha realizado en 3 estaciones situadas en diferentes zonas de la cantera, con grados de meteorización diferente, y para cada una de las litologías de pizarras limolíticas y pizarras finas.

Estación n.º 1: Se han medido las discontinuidades en el banco este y fondo sur de la cantera. La litología está deformada por pizarras limolíticas con abundantes venas rellenas de cuarzo de varios milímetros de espesor, representando una desventaja importante para la explotación. En este caso se empleó el método de Davis (1983), ya que permite calcular un índice de densidad. A partir del estudio de las discontinuidades en esta estación se ha determinado la existencia de hasta ocho familias (tabla I).

Tabla I: Características de las discontinuidades en la estación n.º 1

Tipo	Dirección/Buzamiento	Densidad (%)
Diaclasas	122/10	2,8
Diaclasas	195/6	6,1
Foliación S_p	32/55	8
Estratificación S_o	210/30	3,1
Diaclasas	343/54	20,1
Diaclasas	316/56	8,1
Diaclasas	298/30	31
Diaclasas	260/23	12



Foto 1: Transversal de medida de las discontinuidades al azar

Estación n.º 2: Aquí se ha aplicado el método de medida al azar, realizado a lo largo del transversal de la berma superior de la cantera, donde aflora una alternancia de pizarras y areniscas (Foto 1). El macizo presenta un alto grado de alteración de tipo III. (Se presentan los gráficos de los polos, contornos y los diagramas en rosa de las medidas efectuadas). A partir del estudio de las discontinuidades en esta estación se ha determinado la existencia de siete familias (tabla II).

Tabla II: Características de las discontinuidades en la estación n.º 2

Tipo	Dirección/Buzamiento	Densidad (%)
Diaclasas	40/54	5
Diaclasas	284/68	2,4
Foliación S _p	20/73	18
Estratificación S _o	210/18	15,1
Diaclasas	190/69	3,5
Diaclasas	115/12	2,3
Diaclasas	31/2	3,7

Estación n.º 3: Se ha aplicado el método del círculo de Davis para determinar el índice de fracturación en las pizarras limolíticas objeto de explotación. Las discontinuidades presentan evidencias de agua en torno a 1,5 m del suelo, indicando las condiciones de saturación de las rocas infrayacentes. Aparecen manchas ocres que se originan como consecuencia de la circulación de agua a lo largo de las discontinuidades y diaclasas abiertas con lixiviado de los minerales metálicos. A partir del estudio de las discontinuidades en esta estación se ha determinado la existencia de hasta cinco familias (tabla III).

Tabla III: Características de las discontinuidades en la estación n.º 3

Tipo	Dirección/Buzamiento	Densidad (%)
Diaclasas	40/10	4,6
Diaclasas	60/55	2,2
Foliación S _p	60/70	11,4
Estratificación S _o	209/30	45,3
Diaclasas	245/10	2,1

Además de determinar el número de discontinuidades, se ha calculado asimismo el índice de diaclasación según el método de Davis, el cual puede ser comparado con valores obtenidos en investigaciones realizadas en pizarras de zonas próximas (Rodríguez-Sastre, 2003), resultando el índice de fracturación en la pizarra fina de la Formación Luarca mayor que el medido en explotaciones de pizarra fina en la Formación Casaio, en la Zona Centro Ibérica (tabla IV).

Tabla IV: Índice de densidad de fracturación de las pizarras de la Fm. Luarca vs. Fm. Casaio

Formación	Litología	Localización	Índice de densidad de fracturación: ρ_d (cm ⁻¹)
Luarca	Pizarra limolítica	Anticlinal Bierzo (ZAOL)	0,37
	Pizarra fina		0,065
Casio	Pizarra fina	Sinclinal Riodolas (ZCI)	0,039

Siguiendo la normativa ISRM (1981), en función del número de familias de discontinuidades se trata de un *macizo rocoso de tipo VIII*, caracterizado por la presencia de cuatro o más familias de

discontinuidades, para la litología de pizarras limolíticas, mientras que en la zona de pizarra fina la fracturación disminuye como demuestra el índice de fracturación calculado.

Tamaño del bloque en función de las discontinuidades

Los valores calculados para J_v se recogen en la tabla V, siendo clasificados los tamaños como pequeños según las medidas efectuadas en las pizarras limolíticas. Cuando se obtienen estos valores en la pizarra fina los tamaños de bloques obtenidos varían de grandes a medios, aunque en ocasiones pueden ser muy pequeños. El parámetro I_b , obtenido para las pizarras limolíticas, señala un valor medio del tamaño de bloques de 0,54 variando los valores máximos y mínimos entre 1,12 y 0,23 para los tamaños medidos en la cantera. Mientras que los valores I_b determinados en la nave de transformación para la misma litología presentan valores medios de 0,80 y los valores máximos y mínimos están comprendidos entre 1,18 y 0,59. Para las pizarras finas el I_b medio es de 2,01 y los valores máximos y mínimos varían dentro del rango 1,20 y 0,61.

Tabla V: Valores J_v y clasificación de los tamaños de bloques en la pizarra

Litología	Volumen (m ³)	número de fracturas	J_v	Clasificación bloques
Pizarra limolítica	1x1x1	18	18	pequeños
Pizarra limolítica	3x1x1	42	14	pequeños
Pizarra fina	1,20x0,60x0,35	6	2,74	grandes
Pizarra fina	1,57x0,56x2,50	6	3,28	medios
Pizarra fina	1,54x1,25x0,49	6	6.38	medios
Pizarra fina	1,10x0,60x0,15	6	60	muy pequeños

El RQD estimado a partir de la medida de los bloques varía entre 75,4 y 74,3 %, lo que permite valorar la calidad del macizo rocoso como aceptable o regular, y el espaciado de la fracturación queda clasificado como moderadamente ancho.

A partir de la medida de los bloques en nave y en la cantera, se puede aseverar que el macizo rocoso varía entre tabular (clase III) y columnar (clase IV), caracterizados por tener bloques con una dimensión considerablemente menor que las otras dos en el caso de la tabular, o bloques con una dimensión considerablemente mayor que las otras dos en el caso del tipo columnar.

El volumen medio de los bloques medidos en cantera para la pizarra limolítica es de 0,142 m³ y su rango varía entre 1,12 y 0,01 m³ (fig 3). Las medidas obtenidas para los bloques medidos en la nave de transformación son mayores, del orden de 1,03 m³ y el rango de valores varía entre 1,11 y 0,35 m³ (fig. 4). El volumen de las canteras rentables económicamente se encuentra en torno a 0,1 m³ (Lombardero y Quereda, *óp. cit.*). Cuando la medida de los bloques se realiza en la pizarra fina, los valores son próximos al volumen mínimo aprovechable. Esto es debido a la disminución del número de discontinuidades en el bloque para esta litología y las medidas efectuadas varían entre 0,009 m³ hasta 0,22 m³, siendo el valor medio de 0,095 m³. (fig. 5).

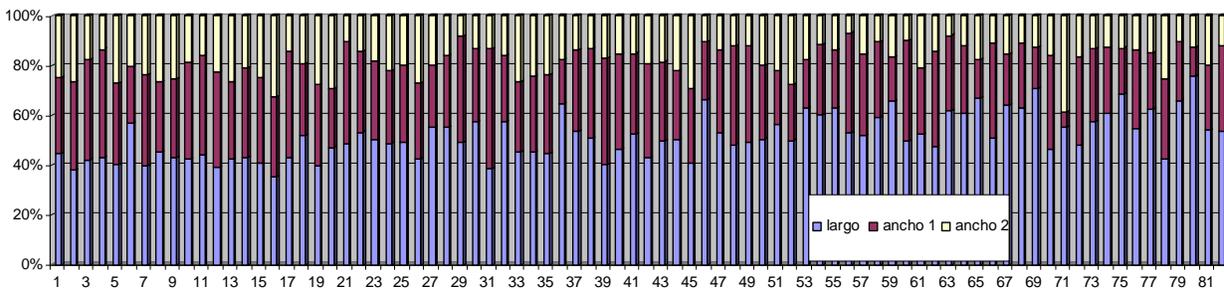


Figura 3: Bloques sueltos en cantera no utilizados para la nave de transformación.

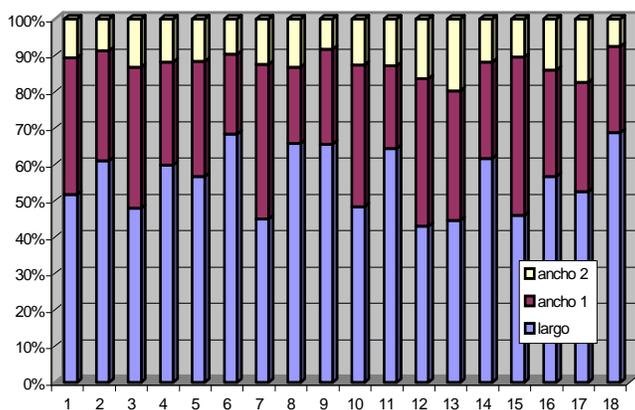


Figura 4: Bloques en nave de transformación en pizarra limolítica.

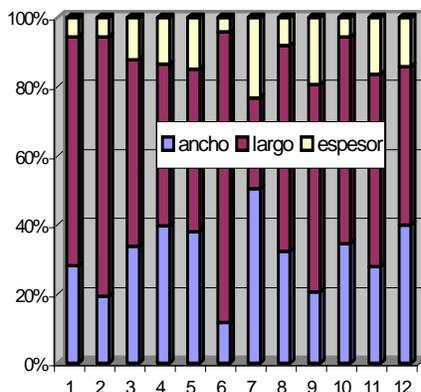


Figura 5: Bloques en nave de transformación en pizarra fina.

La mayor parte de los sondeos (n^{os}. 1 a 4) se han situado perpendiculares a la principal estructura tectónica regional, las superficies de foliación metamórfica, aunque también se ha implantado uno para cortar perpendicularmente la principal disposición estratigráfica de las capas de pizarra en la cantera (n.º 5). El macizo rocoso objeto de investigación es fresco e inalterado y los sondeos se han realizado en cada uno de los bancos de explotación y perpendicularmente a la principal foliación metamórfica, con el objeto de determinar la labrabilidad y los parámetros RQD y J_v.

Según las recomendaciones para la explotación de pizarras los parámetros de fracturación del macizo rocoso han de ser J_v> 2 (Lombardero y Quereda, *óp. cit.*) y volumen mínimo de bloque mayor a 0,6, además de un volumen en torno a 0,1 m³, aunque estos valores pueden variar en función de las características del macizo rocoso y de la topografía del yacimiento, así como del

método de explotación. En el sondeo n.º 1 los valores mínimos de J_v están comprendidos entre 3 y 9 y representan un 50% del total de la perforación, para el n.º 2 J_v varía entre 5 y 8, comprendiendo un 37,15% del mismo, mientras que en el n.º 3, J_v oscila entre 8 y 10 para el 18% del total. Los sondeos de investigación son más difíciles de interpretar pero, en general, los valores de J_v varían para los sondeos n.º 4 y n.º 5 entre 3 y 10, representando un 19,9 y 10,15 % respectivamente del total de la columna testificada (tabla VI).

Tabla VI: Resumen de los principales parámetros medidos en los sondeos

Parámetro	Clasificación	Sondeos				
		1	2	3	4	5
RQD (%)	Muy mala	18,7	5,80	13,07	9,69	28,99
	Mala	–	15,41	17,19	15,31	39,49
	Regular	20,09	19,58	31,46	37,80	23,74
	Buena	39,16	30,09	35,48	24,16	4,17
	Excelente	22,02	26,11	2,81	13,06	2,51
J_v (%)	Grandes	–	–	–	–	–
	Medios	50,38	37,15	18,69	19,90	10,15
	Pequeños	44,63	59,38	76,26	71,88	66,54
	Muy pequeños	4,99	3,45	5,04	10,23	23,28

CONCLUSIONES

-En función del número de familias de discontinuidades medidas este macizo rocoso, se clasifica como de tipo VIII, caracterizado por la presencia de cuatro o más familias de discontinuidades en el nivel de las pizarras limolíticas, mientras que en el tramo de pizarra fina la fracturación disminuye como demuestra el índice de fracturación calculado.

- La determinación del tamaño de bloque en la cantera de pizarra ha sido aplicado con éxito a la hora de correlacionarlo con la rentabilidad de la misma en la producción de placas de techar. El parámetro $J_v > 3$, obtenido a partir de los sondeos efectuados, es inferior a los valores recomendados para la explotación de canteras de pizarra. El volumen de bloque medido es muy variable como consecuencia de la red de discontinuidades presentando grandes diferencias en el nivel de las pizarras limolíticas con respecto a las pizarras finas, donde el volumen mínimo definido es mayor.

- Asimismo se determina que el macizo rocoso objeto de explotación minera presenta una elevada fracturación en la parte más superficial del yacimiento, correspondiente a los afloramientos de pizarras limolíticas disminuyendo en la zona de contacto con los términos pizarrosos más finos y situados por debajo del nivel de meteorización, en el macizo rocoso inalterado. Comparando los índices de fracturación con los macizos de explotación en el área de Casaio, en esta zona del Navia Alto Sil la fracturación es mayor.

- El análisis de las discontinuidades y el tamaño de bloque de pizarra son determinantes a la hora de planificar la explotación y el conocimiento previo de los mismos y contribuye en la toma de decisiones sobre la rentabilidad de una explotación minera.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa minera Geoprooy S.L. por las facilidades otorgada para la publicación de resultados. Además expresar el agradecimiento a L.R. Rodríguez-Fernández del

Instituto Geológico y Minero de España, por el acceso a la cartografía actual de esta zona de estudio.

REFERENCIAS

- Alonso J. L., Marcos A., Heredia N. y García Sansegundo J. (2005).** *Mapa Geológico de Cangas a escala 1:200.000*. IGME, Serv. Publ. Ministerio Industria, Madrid. (in litt.).
- Davis G. H. (1984).** *Structural Geology of Rocks and regions*. John Willey and Sons, Inc., 492 pp., Nueva York.
- Gutiérrez Claverol M., González Buelga M. y Rodríguez Bouzo L. (1991).** “Validación del método de Davis para el análisis de diaclasación de macizos rocoso”. *Ingeniería Civil CEDEX*, n.º 80, 6 pp., Madrid.
- Gutiérrez-Marco J. C., Aramburu C., Arbizu M., Bernárdez E., Hacar Rodríguez M. P., Méndez-Bedia I., Montesinos López R., Rábano I., Truyols J. y Villa E. (1999).** “Revisión Bioestratigráfica de las pizarras del Ordovícico medio en el noroeste de España (zonas Cantábrica, Asturoccidental-leonesa y Centroibérica septentrional)”. *Acta Geológica Hispánica*, vol. 34, n.º 1: 3-87, Barcelona.
- ISRM (1981).** “Description of Rock Masses” *Int. Jour. Rock Mech. And Min. Sci. And Geomech. Abs.* Pergamon Press, vol. 18, no 1, pp. 85-110.
- Lombardero Barceló M. y Quereda Rodríguez-Navarro J. M. (1992).** “La Piedra Natural para la construcción”. En: *Recursos Minerales de España*. García Guinea J. y Martínez Frías J. (coors.), CSIC, p.1115- 1150.
- Matas J. y Fernández L. (1982).** *Memoria explicativa de la Hoja n.º 127 (Noceda). Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (2ª serie Magna)*. IGME, Serv. Publ. Ministerio Industria, 63 pp., Madrid.
- Navarro Vázquez D. (1982).** *Memoria explicativa de la Hoja n.º 101 (Villablino). Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (2ª serie Magna)*. IGME, Serv. Publ. Ministerio Industria, 56 pp., Madrid.
- Pérez-Estaún A. y Marcos A. (1981).** “La Formación Agüeira en el Sinclinorio de Vega de Espinareda: aproximación al modelo de sedimentación durante el Ordovícico Superior en la Zona Asturoccidental-leonesa (NW de España)”. *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, n.º 11: 135-145.
- Pérez-Estaún A., Pulgar J. A., Bastida F., Marcos A., Sánchez de la Torre L., Galán J., Vargas I. y Ruiz F. (1982).** *Memoria explicativa de la Hoja n.º 126 (Vega de Espinareda). Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (2ª serie Magna)*. IGME, Serv. Publ. Ministerio Industria, 56 pp., Madrid.
- Pulgar J. A., Bastida F., Marcos A., Pérez-Estaún A., Galán J. y Vargas I. (1982).** *Memoria explicativa de la Hoja n.º 100 (Degaña). Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (2ª serie Magna)*. IGME, Serv. Publ. Ministerio Industria, 35 pp., Madrid.
- Rodríguez Sastre, M. A. (2003).** *Caracterización Geomecánica de macizos pizarrosos del Sinclinal de Truchas (Orense-León)*. Tesis Doctoral (inérita), Univ. de Oviedo, 399 pp.
- Suárez A., Barba P., Heredia N., Rodríguez Fernández L. R., Fernández L. P., y Herrero A. (1992).** *Mapa Geológico de la Provincia de León, Escala 1:200.000*. Instituto Geológico y Minero de España-Diputación de León, 166 pp.
- Villa L., Corretgé L. G., Arias D. y Suárez O. (2004).** “Los depósitos sin-eruptivos del Paleozoico inferior del área de Lago Fontarón (Lugo, España)”. *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, n.º 24: 185-205.
- VV.AA. (2004).** *Geología de España*. Sociedad Geológica de España-IGME (J. A. Vera, Editor) 890 pp., Madrid.