

Resistencia al rebote en materiales de la Formación Casaio (Ordovícico del NO de España)

Rebound strength on Casaio Formation rocks (Ordovician from the NW of Spain)

M.A. Rodríguez Sastre ⁽¹⁾, M. Gutiérrez Claverol ⁽¹⁾, M. Torres Alonso ⁽¹⁾ y L. Rodríguez Bouzo ⁽²⁾

⁽¹⁾ Dpto. de Geología, Universidad de Oviedo. C/ Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo

⁽²⁾ Dpto. de Geología, Universidad de Salamanca. Escuela Politécnica Superior de Ávila, C/ Santo Tomás s/n, 05003 Ávila

ABSTRACT

Several types of Ordovician Rocks (Casaio Formation in Truchas Synclinal) have been tested with the Schmidt hammer, model L. The compressive strength of these rocks has been estimated by the rebound values "in situ" and "in rock blocks" as very different from low to very high in order to its weathering and cleavage position.

Key words: Rebound strength, Schmidt hammer, Casaio Formation, Ordovician, NW Spain.

Geogaceta, 36 (2004), 31-34
ISSN:0213683X

Introducción

El índice de rebote es comúnmente medido con un esclerómetro (martillo Schmidt), que es un método indirecto de determinación de la resistencia a la compresión simple del macizo rocoso y el utilizado en esta investigación.

El mecanismo del martillo es muy sencillo. Consiste en un muelle que presiona sobre un pistón, encerrados en una carcasa, y que es proyectado sobre un émbolo metálico retráctil, el cual impacta y registra la energía del mismo cuando entra en contacto con la superficie rocosa (Li *et al.*, 2000). Sobre la carcasa se sitúa la escala graduada que registra la altura del rebote del pistón, cuya lectura informa del valor de la resistencia al rebote sobre la superficie ensayada, al hacer incidir el émbolo del martillo sobre una zona fresca de la roca, libre de discontinuidades abiertas.

La resistencia al rebote calculada con el martillo Schmidt permite conocer indirectamente la resistencia a la compresión uniaxial de una roca de manera sencilla, con un intervalo de confianza del 75 % (Rodríguez Bouzo *et al.*, 1998). Este dato es utilizado también como índice de dureza de los materiales ensayados, así como un método para definir el grado de alteración de las rocas previa elaboración de una carta de calibración.

Constituye un tipo de ensayo no destructivo diseñado, en un principio, para su aplicación en hormigones (modelo N), siendo posterior su uso sobre rocas (mode-

lo L) para las que, a pesar de su imprecisión y de la dispersión en los resultados, es habitualmente empleado en los trabajos de ingeniería civil gracias a su simplicidad, facilidad y economía en su manejo.

Para cada ensayo se evalúan al menos 10 valores registrados en el mismo punto de medida, de los que la media de los cinco más altos se tomará como la "resistencia al rebote" o "dureza Schmidt" del material, según se recoge en la norma de la I.S.R.M. (1978).

Entre las recomendaciones que hay que tener en cuenta a la hora de realizar este ensayo, las más significativas como recoge Rodríguez Bouzo (1993), son: selección de una superficie de ensayo limpia, disponer el martillo perpendicular a la superficie de ensayo, la muestra ha de estar fija, tomar las medidas siempre con la misma energía, así como observar y anotar el grado de humedad del punto de medida. Por último,

Litotipo	Tipo	R				σ_c (MPa) (Carlsson & Olsson, 1981)				Clase (Deer & Miller, 1966)	Clase Jimenez & Justo, 1975)
		Max.	Min.	Media	Desv.	Max.	Min.	Media	Desv.		
C2	R _b	49,8	40,3	43	3,9	154,1	91,8	108,6	26,3	B	B
	R _s	26,0	22,0	23,6	2,1	42,1	33,9	37,2	4,5	D	C
	R _b	43,3	27,9	32,4	6,5	108,2	46,7	63,4	26,0	C	C
	R _s	43,3	40,3	41,7	1,1	108,2	91,8	99,3	6,2	C	C
	R _s	52	48	50,2	1,4	173,8	139,7	157,96	12,5	B	B
	R _s	42	20	33	8,8	100,8	30,4	67,21	28,1	C	C
	R _b	22,6	14,8	18,0	3,2	35,0	22,9	27,6	5,0	D	C
	R _b	41,3	32,9	36,0	3,5	97,0	61,4	73,9	14,3	C	C
	R _b	53,8	28,9	37,1	10,4	191,6	49,3	89,6	60,1	C	C
	R _s	34,9	28,9	31,3	2,8	68,4	49,3	59,7	9,0	C	C
C1	R _s	46,0	41,0	43,4	2,4	125,3	95,4	109,5	1,5	B	B
	R _b	58,3	53,8	55,9	1,7	244,9	191,6	215,7	20,6	A	A
	R _b	59,3	52,8	55,7	2,1	258,6	181,5	213,9	25,2	A	A
	R _b	48,8	43,3	45,4	2,6	145,9	108,2	122,0	18,1	B	B
	R _b	28,0	25,0	26,0	1,2	47,0	39,9	42,2	2,8	D	C
Cuarcita	R _b	63,5	57,4	60,2	3,0	325,1	233,2	275,2	45,8	A	A
	R _b	59,5	55,4	57,4	2,0	261,4	209,1	234,8	26,1	A	A
	R _b	60,5	54,4	56,4	2,7	276,1	198,0	222,6	35,7	A	A
	R _c	60,5	57,4	58,8	1,3	276,1	233,2	253,1	19,1	A	A
	R _c	53,4	51,4	51,8	0,8	187,5	168,2	172,0	8,6	B	B
	R _s	56,7	52,7	55,3	1,9	224,4	180,5	208,9	21,6	A	A

Tabla I.- Resultados obtenidos del rebote, la resistencia a compresión estimada y su valoración según distintos autores

Table I.- Schmidt hammer rebound results, compression strength calculated and its classification by different authors.

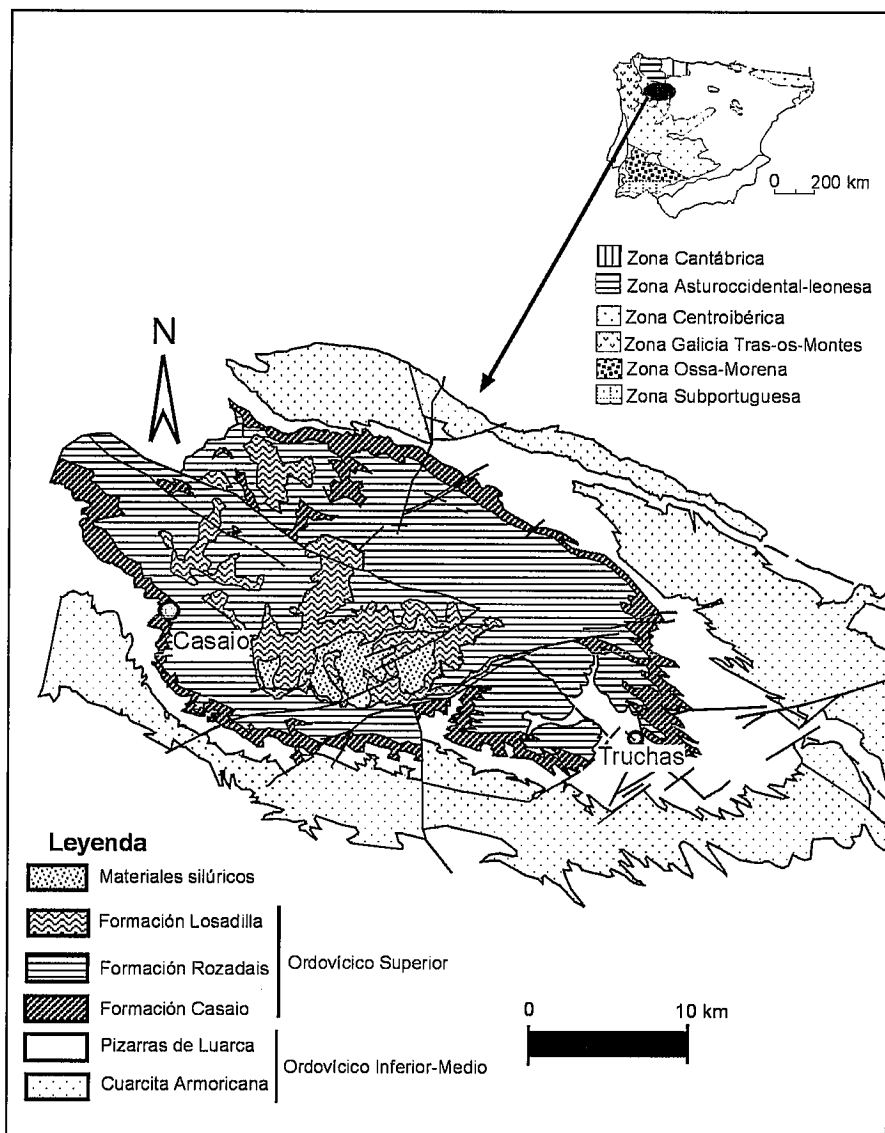


Fig. 1.- Situación geológica del afloramiento objeto de estudio de la Formación Casaio

Fig. 1.- Geological setting of the Casaio Formation outcrop

es muy importante controlar la inclinación del martillo con respecto a la horizontal, pues existen correcciones según las distintas posiciones.

La “resistencia al rebote” va a estar íntimamente relacionada con la composición mineralógica y el porcentaje de huecos; para medidas sobre testigos de sondeos se ha demostrado la influencia del diámetro de la muestra (Rodríguez Bouzo *et al.*, 2000). Por ello, en el ábaco de correlación entre índice de rebote y la resistencia a la compresión propuesto por Miller (1965) se introduce la densidad seca de las rocas.

La ecuación que correlaciona la resistencia a la compresión uniaxial con el índice de rebote, para la posición del martillo vertical hacia abajo, establecida por Miller (*op. cit.*) y modificada por Carlsson y Olsson (1981) se expresa por:

$$\text{Log}_{10} \sigma_c = 0,00088 \xi R \gamma_d + 1,01$$

donde:

σ_c : resistencia a compresión simple en MN/m².

R: resistencia al rebote.

γ_d : densidad seca de la muestra (kN/m³).

ξ : constante de humedad (0,96 en muestras secas y 1 para las húmedas).

Materiales estudiados

Con el martillo Schmidt se obtuvieron los índices de rebote sobre las pizarras y cuarcitas de la Formación Casaio en el Sinclinal de Truchas, en la Zona Centro Ibérica (Fig. 1). Esta unidad está constituida por alternancias de niveles de pizarras en términos finos (C2) y limolíticos, junto con tramos de pizarras y areniscas (C1), caracterizadas por presentar un clivaje tipo *slaty cleavage*, destacando la presencia de sulfuros. A muro de las pizarras es-

tán presentes las cuarcitas masivas (Cuarcita), con estratificación de orden decimétrico y desarrollo de microestructuras tipo esquistosidad grosera (Fig. 2). Esta secuencia estratigráfica, además, se presenta fuertemente plegada, como consecuencia de la primera fase del plegamiento Varisco que afecta a esta región, originando pliegues de elevada curvatura.

Metodología de trabajo

La finalidad de estos ensayos ha sido el de comprobar la variación de la dureza en función de la mineralogía o si existe alguna dependencia con la orientación del clivaje y tamaño de las muestras, así como el establecimiento de estudios comparativos sobre muestra sana y alterada, pudiéndose determinar la correlación entre la resistencia y el grado de meteorización que presenta la roca. Se realizaron dos tipos de ensayos diferentes:

- *Ensayos “in situ”*. Sobre la superficie de los macizos rocosos, que registran la valoración de la resistencia del macizo rocoso.

- *Ensayos sobre bloques*. Las medidas se realizaron sobre bloques recogidos en el campo y cortados en la nave de transformación de las pizarras de techo.

Las medidas que se realizaron fueron:

R_n = Índice de rebote medido sobre plano de foliación denominado XY.

R_b o R_c = Índice de rebote medido a 90° u oblicuo a la foliación (XZ o YZ).

R_d = Índice de rebote medido a 45° de la foliación.

Se dispone de los valores de la densidad seca (Rodríguez Sastre, 2003), se utilizó el valor medio de 28 kN/m³, definido a partir de los cálculos realizados para la determinación de las propiedades físicas, y que han sido empleados en los cálculos para cada uno de los materiales estudiados.

A partir de la resistencia estimada se clasifican las rocas de acuerdo con este valor. Las distintas clasificaciones manejadas han sido las de Deer & Miller (1966) y Jiménez Salas & Justo Alpañes (1975). Los ensayos se efectuaron con un martillo de tipo L, específico para rocas.

Independientemente de la orientación del plano de medida y del tipo de ensayo, para cada uno de los valores de rebote, se calculó la resistencia a compresión uniaxial estimada, mediante la expresión debida a Carlsson y Olsson (*op. cit.*). Para la aplicación de la ecuación es necesario realizar la corrección, del índice de rebote en función de la inclinación del martillo cuando esta no fue la ideal, vertical hacia abajo. Para ello se empleó la corrección propuesta por la I.S.R.M. (1978).

Resultados

En el ámbito geológico estudiado se han realizado 470 determinaciones sobre bloques almacenados en la nave de transformación y que permanecen saturados durante el tiempo de medida, otras 210 durante la realización de las medidas "in situ", sobre el afloramiento de las pizarras a pie de cantera, y 60 sobre las cuarcitas situadas a muro de las pizarras en condiciones secas del macizo rocoso.

Cuando se lleva a cabo este ensayo en determinadas ocasiones se produce una pulverización de la zona del impacto, mientras que en otras se forma una costra compactada como consecuencia del machaqueo continuo sobre la superficie de la roca, esto influye en las variación de los sucesivos rebotes a la largo de la secuencia de medidas. Esto lo resuelve la norma con la eliminación de los cinco valores más bajos.

Medidas "in situ"

Se midieron los índices de rebote sobre materiales pizarrosos de la Formación Casaio, en un afloramiento ligeramente decolorado, definido de tipo II (la decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización), según las valoraciones del grado de alteración de los macizos rocosos (González de Vallejo *et al.*, 2002). Los resultados se muestran en la Tabla I con las variaciones estadísticas más representativas.

Medidas en bloques sueltos

Todas las medidas se efectuaron sobre bloques rectangulares de 42x42x20 cm de roca fresca, sin signos de alteración y en condiciones de saturación en agua, mostrándose los resultados en la Tabla II.

Los resultados obtenidos permiten precisar la relación que existe entre las diferencias litoestratigráficas, que aunque son pequeñas, ejercen una cierta influencia como consecuencia de la mayor resistencia de los niveles con mayor contenido en cuarzo.

Comparación de los distintos tipos de medidas

A partir de las medidas del índice de rebote realizadas en el campo se ha establecido la resistencia a la compresión estimada, para el litotipo definido como C2, que varía entre 157,9 y 37,2 MPa para los ensayos realizados sobre los planos de foliación y entre 108,6 y 27,6 MPa cuando la medida de la resistencia se efectúa sobre planos perpendiculares a la foliación. Para el litotipo C1 los rangos de la resistencia calculada varía entre 109,5 y 42,2 MPa sobre plano de foliación y entre 215,7 y 122,0 MPa cuando es sobre plano perpendicular a la foliación.

En las cuarcitas de muro de la serie se midió el índice de rebote según las tres di-

Formación Casaio

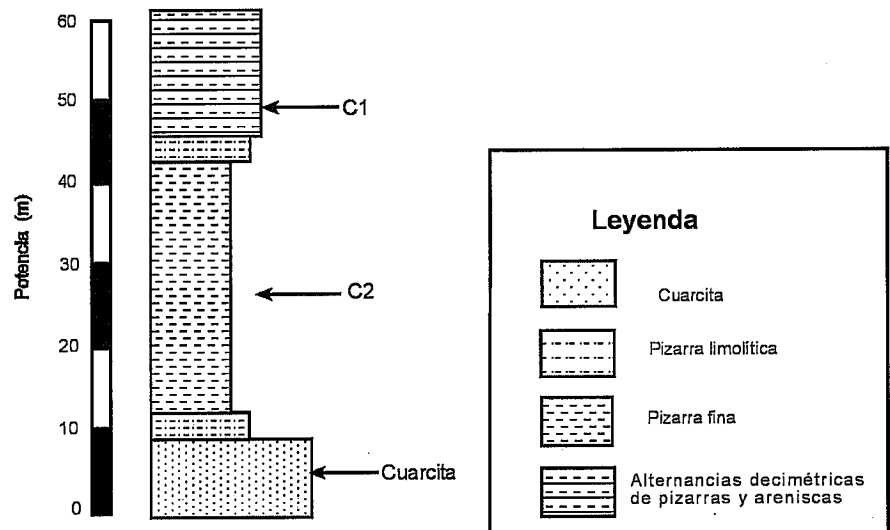


Fig. 2.- Columna litoestratigráfica del afloramiento estudiado

Fig. 2.- Litoestratigraphic section from the studied outcrop

recciones siendo la resistencia calculada sobre el plano de foliación de 208,9 MPa mientras que sobre los planos perpendiculares a la foliación varía entre 275,2-222,6 y entre 253,1-172,0 MPa para los planos oblicuos a ellos.

En general para el litotipo C2 la resistencia estimada es menor cuando se calcula sobre los planos perpendiculares a la foliación que sobre dichos planos, mientras que para el C1 se establece la relación opuesta, deduciéndose que el mayor contenido de cuarzo de la roca hace aumentar la resistencia en la dirección perpendicular a la foliación, e idénticas conclusiones se establecen para las medidas realizadas en la cuarcita, aunque también puede interpretarse como debida al diferente grado de meteorización.

La Tabla III establece una síntesis de las valoraciones establecidas para los distintos litotipos de la Formación Casaio.

A partir de las determinaciones del "índice de rebote" efectuadas sobre los bloques tallados en la nave de transformación (únicamente para el litotipo C2), las resistencias estimadas sobre el plano de foliación varían entre 254,6 y 149,4 MPa y las estimadas sobre planos perpendiculares a ésta las variaciones están comprendidas entre 371,5 y 188,8 MPa y 359,0 y 218,5 MPa las correspondientes a planos oblicuos a ella. Cuando la foliación se sitúa a 45° del plano de medida la resistencia se ha estimado del orden de 144,7 MPa.

Para el litotipo C2 en la dirección "a" el índice de rebote varía entre 43,0 y 56,6 para la roca sana y cuando se mide en el afloramiento, con un grado de meteorización de-

finido como parcialmente decolorado, el índice según esta misma dirección queda entre 50 y 23. En la dirección "b" lo está entre 50,9 y 63,3 en el caso de roca sana y entre 18 y 43 para la meteorizada, obteniéndose valores comprendidos entre 50,8 y 62,7 según "c" y para la roca sana saturada. Cuando se realiza la medida en el litotipo C1 según la dirección "a" el índice varía entre 26 y 43 y entre 45,4 y 55,9 según "b".

En las cuarcitas se determinó el índice de rebote y el rango definido para este índice de rebote se sitúa entre 60 y 51,8 en estas rocas.

Conclusiones

Los valores de resistencia estimados para las pizarras en bloques (roca fresca saturada) oscilan de resistencias altas a muy altas con ligera disminución de este valor cuando el clivaje se dispone a 45°.

En las medidas de campo (macizo con grado de alteración tipo II) la resistencia estimada disminuye de alta hasta baja.

Estas diferencias evidencian la influencia del distinto grado de alteración y humedad que presentan las rocas sobre la estimación de la resistencia de los materiales analizados con el martillo Schmidt.

Cuando las rocas analizadas en el campo presentan mayor contenido en laminaciones areniscosas el índice de resistencia estimado en los afloramientos varía, con gran dispersión, de bajos a muy altos.

Para las rocas tipo cuarcita, la homogeneidad de la roca confiere una resistencia muy alta para estos materiales a partir de las medidas del índice de rebote con el

Litotipo	#1 bloque	Tipo	R				σ, (MPa) (Carlsson & Olsson, 1981)				Clase (Deer & Miller, 1966)	Clase (Jiménez & Salas 1975)
			Max.	Min.	Media	Desv.	Max.	Min.	Media	Desv.		
C2	1	R ₁	56,0	52,0	53,8	1,8	245,4	195,6	217,5	22,1	A	A
		R ₂	59,3	55,8	57,8	1,5	295,9	242,6	272,6	22,2	A	A
	2	R ₁	54,0	54,0	54,0	0,0	219,1	219,1	219,1	0,0	A	A
		R ₂	54,0	52,0	53,2	0,8	219,1	195,6	209,5	9,9	A	A
	3	R ₁	62,3	58,3	60,5	2,0	350,8	279,6	318,4	36,3	A	A
		R ₂	60,3	55,8	57,4	1,9	313,2	242,6	267,0	29,9	A	A
	4	R ₁	55,0	53,0	53,8	0,8	231,8	207,0	216,8	10,4	A	A
		R ₂	60,3	53,8	57,7	2,8	313,2	216,6	272,8	41,1	A	A
	5	R ₁	54,0	50,0	52,2	1,8	219,1	174,6	198,6	20,1	B	B
		R ₂	56,0	44,0	51,2	4,4	245,4	124,2	191,4	44,0	B	B
	6	R ₁	62,3	56,8	59,4	2,1	350,8	256,8	299,3	35,5	A	A
		R ₂	58,0	55,0	56,6	1,5	274,9	231,8	254,6	21,7	A	A
	7	R ₁	64,3	62,3	63,3	0,7	393,0	350,8	371,5	14,9	A	A
		R ₂	61,3	30,9	50,8	13,0	331,5	59,1	218,5	118,7	A	A
	8	R ₁	58,0	55,0	56,2	1,1	274,9	231,8	248,6	15,8	A	A
		R ₂	64,3	55,8	60,2	3,1	393,0	242,6	315,2	54,7	A	A
	9	R ₁	58,3	53,8	56,4	1,9	279,6	216,6	252,2	27,2	A	A
		R ₂	54,0	52,0	53,4	0,9	219,1	195,6	211,9	10,5	A	A
	10	R ₁	61,3	51,8	57,5	3,6	331,5	193,4	271,4	51,4	A	A
		R ₂	52,0	48,0	50,0	2,0	195,6	155,9	175,5	19,9	B	B
	11	R ₁	62,3	55,8	58,6	2,3	350,8	242,6	286,4	39,4	A	A
		R ₂	55,0	54,0	54,6	0,5	231,8	219,1	226,7	7,0	A	A
	12	R ₁	61,3	56,8	58,6	1,6	331,5	256,8	285,4	27,6	A	A
R ₂		61,3	60,3	60,7	0,5	331,5	313,2	320,5	10,0	A	A	
13	R ₁	56,0	51,0	53,2	2,3	245,4	184,8	210,7	27,4	A	A	
	R ₂	59,3	56,8	58,1	1,3	295,9	256,8	277,0	19,6	A	A	
14	R ₁	58,0	54,0	55,8	1,5	274,9	219,1	243,3	20,8	A	A	
	R ₂	63,3	58,3	60,7	2,3	371,3	279,6	322,5	41,7	A	A	
15	R ₁	63,3	62,3	62,7	0,5	371,3	350,8	359,0	11,2	A	A	
	R ₂	57,0	54,0	55,8	1,1	259,7	219,1	243,0	14,7	A	A	
16	R ₁	64,3	58,3	61,3	2,8	393,0	279,6	334,9	54,3	A	A	
	R ₂	56,0	46,0	53,2	4,1	245,4	139,1	213,5	42,6	A	A	
17	R ₁	61,3	58,3	59,9	1,3	331,5	279,6	306,9	23,4	A	A	
	R ₂	57,0	52,0	54,6	2,1	259,7	195,6	227,9	26,5	A	A	
18	R ₁	58,3	52,8	55,5	2,2	279,6	204,6	240,0	30,2	A	A	
	R ₂	56,0	52,0	54,0	1,4	245,4	195,6	219,6	17,6	A	A	
19	R ₁	60,3	48,8	53,8	5,5	313,2	163,1	225,5	72,7	A	A	
	R ₂	58,0	27,0	43,0	14,6	274,9	47,3	149,4	101,1	B	B	
20	R ₁	55,0	30,0	48,8	10,6	231,8	56,1	181,9	71,6	B	B	
	R ₂	62,3	58,3	60,1	1,6	350,8	279,6	310,7	29,4	A	A	
21	R ₁	52,0	50,0	50,8	1,1	195,6	174,6	183,0	11,5	B	B	
	R ₂	53,8	42,3	50,9	4,9	216,6	112,8	188,8	43,6	B	B	
22	R ₁	56,0	52,0	54,0	2,0	245,4	195,6	220,2	24,9	A	A	
	R ₂	61,3	59,3	60,3	1,0	331,5	295,9	313,6	17,8	A	A	
23	R ₁	56,0	54,0	54,8	1,1	245,4	219,1	229,6	14,4	A	A	
	R ₂	62,3	54,8	57,9	3,2	350,8	229,2	277,0	50,9	A	A	
		R ₃	54,4	43,3	46,1	4,8	224,1	119,4	144,7	45,4	B	B

Tabla II.- Valores obtenidos del rebote con el martillo Schmidt sobre bloques tallados, la resistencia estimada así como su valoración

Table II.- Rebound Schmidt Hammer carried out over slates in rock blocks with its strength calculated.

Formación	Litotipo	Orientación		Resistencia estimada a partir del índice de Rebote	
		β (°)	Dirección	In situ	Bloques
-	C2	0	Ra	Alta Baja	Alta-Muy alta
		90	Rb		
		90	Rc		
		45	Rd		
	C1	0	Ra	Alta-Baja	
		90	Rb	Muy alta-Alta	
Cuarcita	0	Ra	Muy alta		
	90	Rb	Muy alta		
	90	Rc	Muy alta- Alta		

martillo Schmidt, no observándose influencia con la disposición de la anisotropía en la misma.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la empresa Pizarras SAMACA las facilidades de acceso y disponibilidad del material de su explotación y su financiación dentro del proyecto FEDER ID97-0959-C03.

Referencias

Carlson, A. y Olsson, T. (1981): *Bull. Geol. Institutions, University of Uppsala, NAS*, 9, 33-42.

Deer, D. U. y Miller, R. P. (1966): Tech. Report n° AFWL-TR-65-116, Air force weapons Lab., Kirtland Air Force Base, Nuevo Méjico.

González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2002): Ed. Pearson Education, 744 pp.

ISRM suggested methods (1978): *Int. Jour Rock Mech. And Min. Sci. y Geomech. Abst.* Pergamon Press, 15, 89-97.

ISRM (1979): *Int. Jour Rock Mech. And Min. Sci. y Geomech. Abst.*, Pergamon Press, 16 (2), 135-140.

Jiménez Salas, J. A. y Justo Alpañes, J. L. (1975): Ed. Rueda, Madrid, 466 pp. (2ª ed.).

Li, X., Rupert, G., Summers, D. A. y Santi, P. (2000): *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 33 (1), 1-13.

Miller, R. P. (1965): *Thesis*, Univ. Illinois.

Rodríguez Bouzo, L. (1993): *Tesis doctoral*. Dpto. Explotación y Prospección de Minas, Univ. Oviedo, 416 pp.

Rodríguez Bouzo, L., Gutiérrez Claverol, M. y Torres Alonso, M. (1998): *X Congreso Latinoamericano de Geología*, Buenos Aires (Argentina), III, 303-308.

Rodríguez Bouzo, L., Gutiérrez Claverol, M. y Torres Alonso, M. (2000): *Geotemas*, 1 (1), 249-251.

Rodríguez, M.A. (2003): *Tesis doctoral*, Dpto. de Geología, Univ. Oviedo, 388 pp.

Tabla III.-Cuadro resumen de la valoración de la resistencia en pizarras a partir del rebote con el martillo Schmidt

Table III.- Slate strength calculated from the Schmidt Hammer rebound index.