

Valoración de las discontinuidades con diagrfías de resistividad en sondeos para innovación geomecànica

Antonio Daza Sánchez, Manuel López Sánchez, Jesús Gutiérrez–Ravé Caballero, Germán López Pineda y Enrique Cano Jódar

Grupo RNM244 “Seminario A. Carbonell”. Universidad de Córdoba. EPS Belmez

Para el examen detallado del comportamiento de rocas lutitas y limolitas, se ha obtenido una evaluación geomecànica basada en la relación del parámetro espaciado de discontinuidades y las resistividades obtenidas en sondeos realizados en la Cuenca Carbonífera de Peñarroya-Belmez (Córdoba, S del Macizo Ibérico). La estructura del macizo rocoso es consecuencia de su historia geológica, destacando el papel de los esfuerzos tectónicos causantes del grado de fracturación. Estas discontinuidades se relacionan con la testificación de resistividad en lutitas y limolitas, sin considerar la zona alterada más somera, ni rocas más competentes presentes muy a techo de la zona de estudio.

Palabras Clave: Discontinuidad, Mecànica de rocas, Geofísica, Lutita, Geotecnia.

RATING DISCONTINUITIES WITH RESISTIVITY-LOGGING SURVEYS FOR INNOVATIONS GEMECHANICS

To predict the shale’s behavior, we presented a geomechanical evaluation based on the relation between “spacing of discontinuities” and the resistivity logs measured in boreholes, which were carried out in the Peñarroya-Belmez Carboniferous Basin (Córdoba, S Iberian Massif). The rock mass structure is the result of its geological history, where the tectonic stress role has produced a different grade of fracturation. This fracturation grade was related to the shale’s resistivity logs disregarding the shallow weathering zone and other more competent rocks.

Key Words: Discontinuity, Rock mechanics, Geophysics, Shale, Geotechnical.

ZONA DE ESTUDIO Y OBJETIVO DE DESCRIPCIÓN DE DISCONTINUIDADES

Con la geomecánica se pretende evaluar el macizo rocoso y predecir su comportamiento, basándose en la aplicación de criterios de caracterización, que permitan planificar la construcción, los taludes o el sostenimiento del espacio subterráneo. En una obra pública o minera se modifica el equilibrio del terreno y la geomecánica puede cuantificar índices de calidad aplicados a la sectorización de la operación minera (Cuenca de Peñarroya-Belmez, figura 1), ejecución de obra y seguimiento del macizo rocoso [1].

La estructura del macizo rocoso de la Cuenca de Peñarroya-Belmez (Dominio Obejo-Valsequillo, figura 2) es consecuencia de la actuación tectónica en las características mecánicas de cada tipo de terreno, según el comportamiento, elástico o plástico (figura 3), así asume deformaciones y fracturación [2]. Aunque la geomecánica aplicada al espacio subterráneo se ha utilizado aprovechando los afloramientos y zonas superficiales, estimamos que el reconocimiento debe ser mayormente obtenido de sondeos a testigo continuo *wire line* y con la utilización de registros de resistividad en sondeos, y perfiles de superficie de tomografía eléctrica. La toma de datos geomecánicos en el testigo continuo de son-

deos en cada maniobra ha permitido la caracterización de la fracturación de las lutitas y limolitas de la Cuenca de Peñarroya-Belmez de una forma sistemática, en el techo de la capa Cervantes, y se ha correlacionado con la resistividad aparente de las diagrfias de sondeos.

La clasificación geomecánica *Rock Mass Rating* (RMR) publicada en 1979 [3] se emplea para obtener los índices de calidad del macizo rocoso, siempre en sectorizaciones basadas en la estructura geológica (figura 4), es válida para el diseño de taludes, el sostenimiento de túneles y se adapta también a la vigilancia de la excavación; no obstante siempre ha de aplicarse con espíritu crítico [1][4]. El índice de calidad RMR es la suma de cinco parámetros caracterizados previamente y el valor es representado por el rango de las categorías del macizo rocoso desde la clase I, con RMR de 80 a 100, a la clase V con RMR <20; se correlaciona con el módulo elástico, la resistencia al corte, la presión sobre el sostenimiento y los coeficientes para el criterio de rotura de Hoek-Brown [5][6][7].

Para evitar incrementos de presupuesto en taludes o túneles se ha aconsejado realizar un metro de sondeo por cada metro de traza de túnel (U.S. National Com. On Tunnel T.), ello sería razonable para rocas blandas, terrenos plásticos o fracturados. En minería es necesario la realización de perfiles, separados 200 m, con varios sondeos (figura 5), y en túneles se deben realizar sondeos cada 200 m [5] [8]. En un futuro la capa Cervantes podría ser explotada

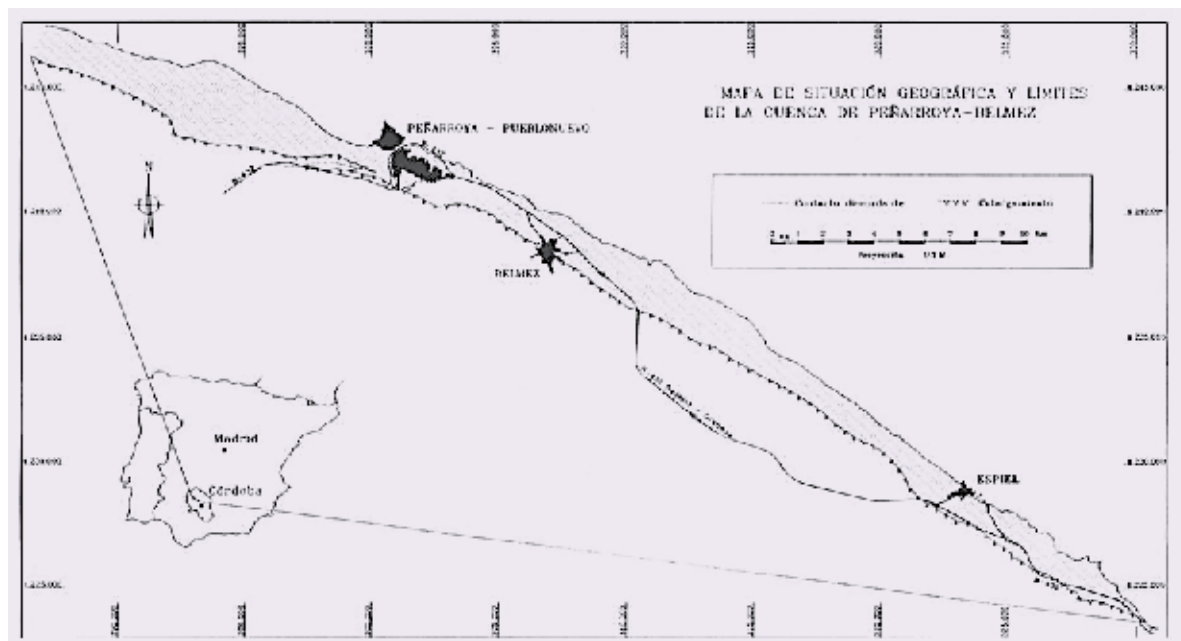


Figura 1. Mapa de situación de la Cuenca de Peñarroya-Belmez. Location Map Basin Peñarroya-Belmez

por minería de interior al conocerse reservas similares a las extraídas a cielo abierto (figura 5), también otras minas en el borde sur de la Cuenca de Peñarroya-Belmez podrían ser explotadas. No se ha tratado de revisar la clasificación geomecánica RMR solo de optimizar su aplicación, considerando el reconocimiento sistemático en sondeos a testigo continuo. Cada tramo de sondeos continuos es valorado con la geomecánica que corresponde a cada maniobra de 3m de los sondeos o a cada caja de testigos. Incluso las filtraciones o agua freática en el macizo rocoso mediante sondeos aportan el nivel dinámico y el estático, pero solo puede considerarse el testigo continuo como macizo rocoso seco, húmedo o saturado. El primer parámetro es la "resistencia a compresión" considerando el promedio resistente de la roca intacta para cada maniobra mediante martillo geológico (de valor 1 a 5 en la figura 6), otro parámetro es el "Rock Quality Designation" (RQD) medido en sondeos continuos y en estaciones geotécnicas, se considera mediante el parámetro "espaciado de discontinuidades", multiplicado por 2/3 el valor de este espaciado. Se le ha aplicado una metodología de testificación geoelectrica al "espaciado de discontinuidades" en cada maniobra de los sondeos y se justifica una correlación con la resistividad aparente. En el cuarto parámetro "condición o estado de las discontinuidades" (tabla 1) se refleja pequeños cambios de los valores aportados por Bieniaswki en 1989 [9], al aplicarse estos con referencia a la de 1979 [3], y considera la continuidad, la rugosidad, el relleno y abertura, y la meteorización. Los datos empíricos de geomecánica se adaptan bien a los valores de su versión de 1979.

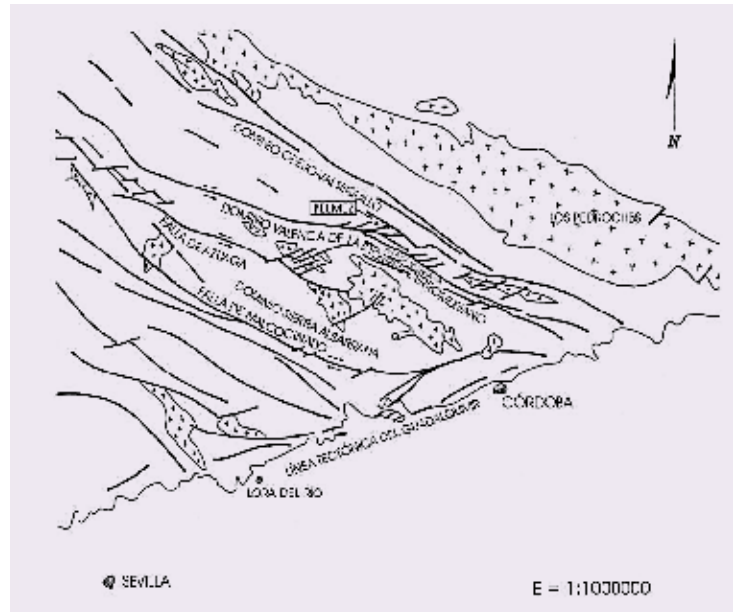


Figura 2. Esquema de Cuenca de Peñarroya-Belmez en el Dominio Obejo-Valsequillo. Scheme Peñarroya-Belmez Basin in Obejo-Vasequillo Domain

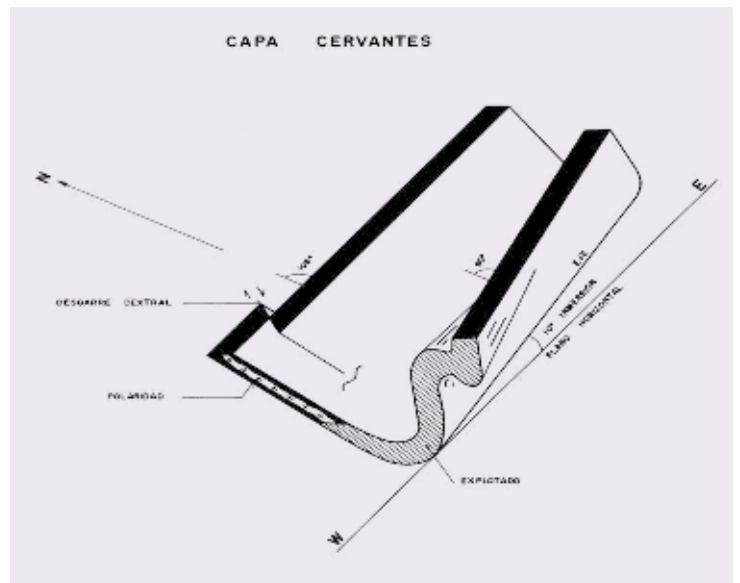


Figura 3. Capa de carbón Cervantes. Coal Cervantes

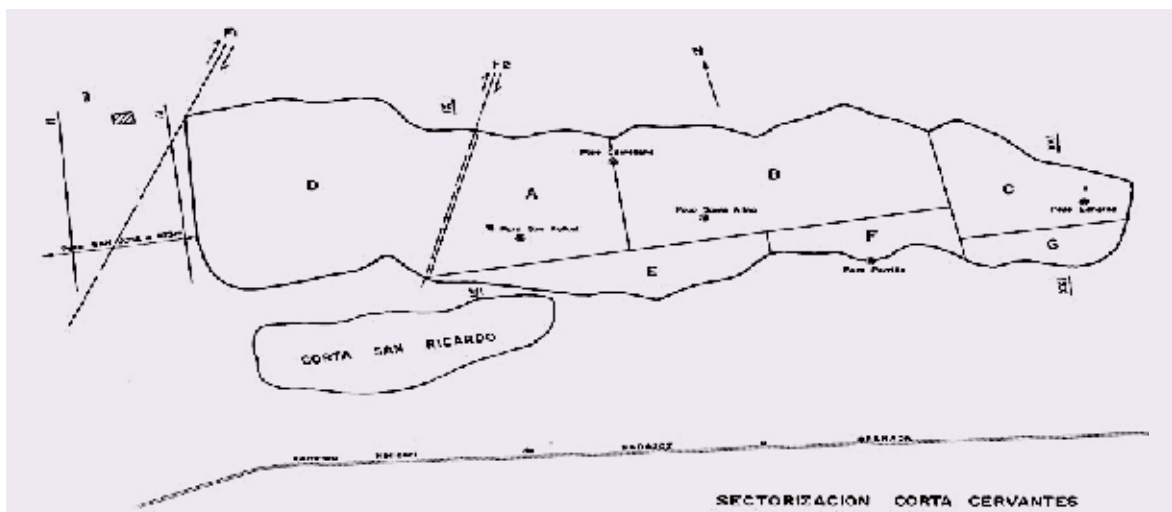


Figura 4. Sectorización de la Corta Cervantes. Subdividing of the Cervantes Mine

Parámetro 4°	Tabla 1 CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES – modificada de Bieniaswki, 1989 –. <i>Condition of Discontinuities</i>				
	MUY BAJA <1m	BAJA 1-3m	MEDIA 3-10m	ALTA 10-20m	MUY ALTA >20m
CONTINUIDAD (ISRM) Valor	6	4	2	1	0
RUGOSIDAD (ISRM) Valor	Muy rugosa JRC = 20 6	Rugosa JRC = 14 5	Algo rugosa JRC = 7 3	Lisa JRC = E 1	Pulida JRC = 0 0
RELLENO Y ABERTURA Valor	Junta cerrada y sin relleno 10	Pared dura y seca. Relleno 1mm 8	Pared blandadura. Abierta-Relleno 1-5 mm 5	Muy Espejado. Pared y relleno blando 5-10 mm 3	Triturado de Falla > 10mm 0
METEORIZACIÓN de los bodes Valor	Grado 1 Sana 4	Grado 2 3	Grado 3 Moderado 2	Grado 4 1	Grado 5 Completa 0

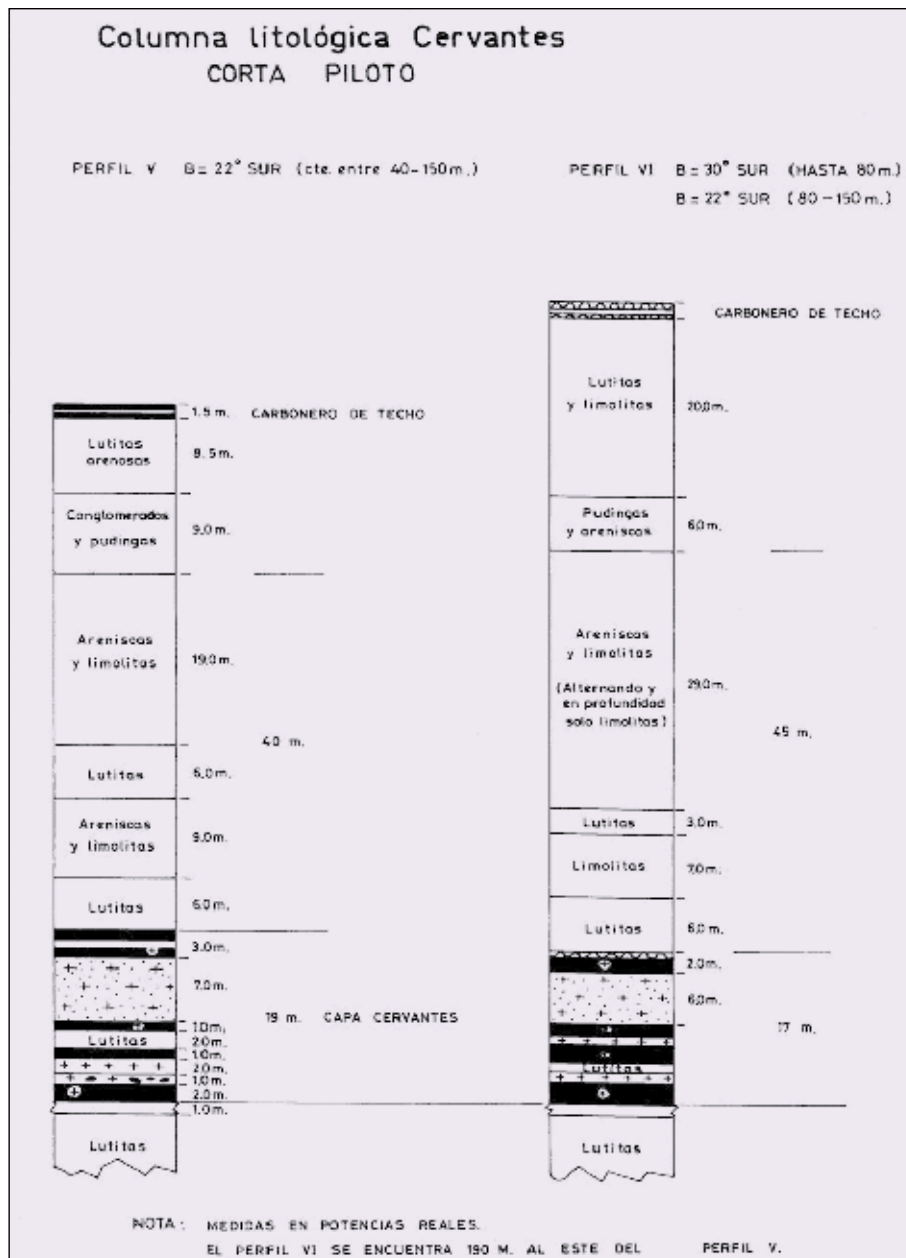


Figura 5. Columna litológica de los perfiles V y VI de la Corta Cervantes. Lithological column of profiles V and VI of the Cervantes Mine

En esta investigación no se ha considerado revisable el RMR, en cuanto a la orientación del túnel respecto a las discontinuidades aunque el terreno puede comportarse de forma diferente, se ha podido observar una penalización en la estratificación subvertical para la excavación de túneles en la dirección de los estratos, y las altas tensiones naturales se manifiestan en la convergencia de varios túneles en Málaga, observados recientemente, ello obliga a esta consideración conservadora.

El RMR de clases III y IV tiene un rango de aplicación amplio, dependiendo de la posibilidad o no de cerchas para la categoría III, y del tipo de excavación para la categoría IV, al aplicar el RMR en el criterio de rotura de Hoek [5] [7] (de 1980 y 2002) que introducen el GSI "Geological Strength Index". Este criterio de rotura es ampliamente utilizado en el método de las curvas características, como un diagrama de presión-deformación, y de las curvas del terreno y su sostenimiento, cuya intersección es el equilibrio en el instante [1] [4].

METODOLOGÍA PARA VALORAR LA FRACTURACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

La testificación de resistividad en sondeos verticales a testigo continuo utilizando solo agua en la perforación, ubicados en los perfiles de la sectorización de la investigación minera (figura 4 y 5) de la sucesión Cervantes de la Cuenca Carbonífera de Peñarroya-Belmez [10] ha permitido precisar con detalle el espaciado de las discontinuidades o densidad de fracturación y se realizaron diagrfías de resistividades aparentes (normal corta), en el macizo rocoso en amplios tramos lutíticos, que presentan un buzamiento de 30° a 40°S y se registraron diagrfías geofísicas desde los diez metros a una centena de metros de profundidad en lutitas y limolitas de la serie de techo de la capa Cervantes, evitando así la zona superficial alterada.

Previamente se hicieron diagrfías para ajustar la velocidad del registro de resistividad y obtener medidas representativas, resultando adecuada una velocidad de registro menor de 2m por minuto, ya que a mayor velocidad no se detectan variaciones bruscas de 20 Ωm y, además, se quedan sin registrar las micro-fallas presentes en rocas.

Se realizó previamente una estimación empírica (tabla 2) de la relación entre diagrfías o registros de resistivi-

dad aparente y la densidad de fracturación obtenida en el testigo continuo [9] [11] y justificadas con las diagrfías (Log) en los tramos de lutita y limolita del sondeo S-175 que se ubica en la divisoria de la sectorización A y B (figura 4), en la figura 6 se aprecia que en las anomalías de más resistividad aumenta la calidad del macizo rocoso y disminuye la fracturación [2].

El grado de detalle obtenido fue superior en las diagrfías de resistividad que en la testificación geomecánica de la fracturación, sobre todo en tramos con muchas

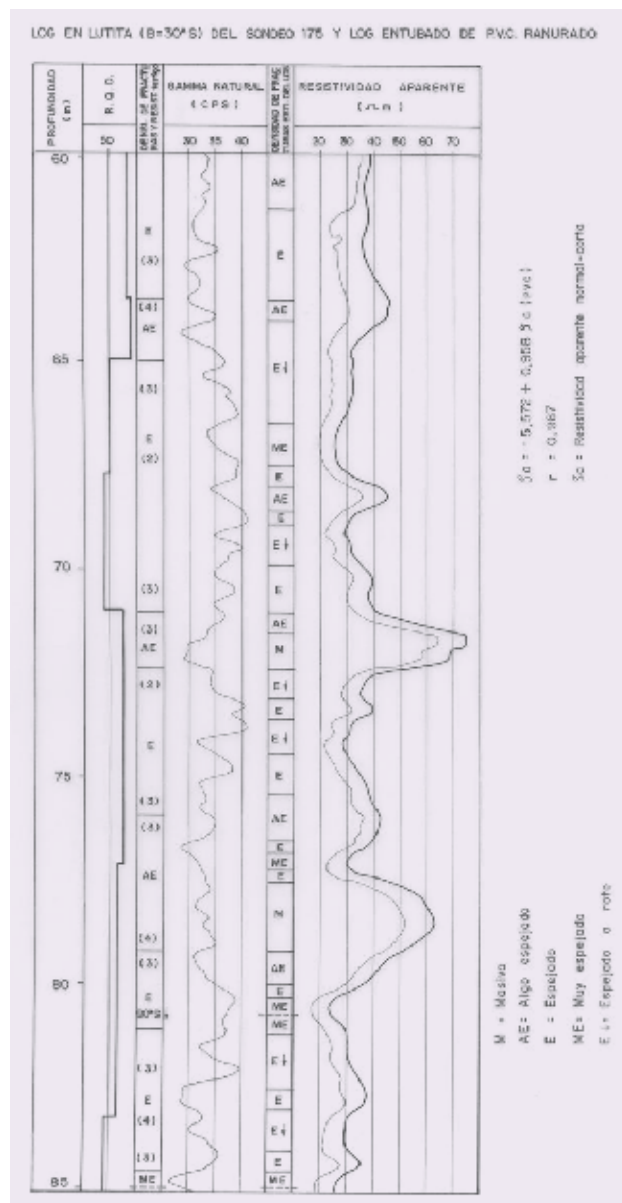


Figura 6. Diagrfía de resistividad y testificación geotécnica del sondeo 175 en lutitas (la línea gruesa de resistividad corresponde al sondeo entubado con PVC ranurado) [10]. Resistivity-logging and geotechnical testing of the borehole 175 in shales (thick line showed the resistivity log the hole was cased whint solotted PVC).

Tabla 2 NUEVA VALORACIÓN PARA LUTITAS. NEW EVALUATION OF SHALES	
ESPACIADO DE DISCONTINUIDADES (ISRM) Densidad de fracturación TOTAL	RESISTIVIDAD APARENTE (Ωm) En lutitas y limolitas
EXTREMADAMENTE JUNTAS N = Triturado de falla 1 cm	1 - 10
MUY JUNTAS ME = Muy Espejado o espaciado muy pequeño 2 cm – 6 cm	10 - 20
JUNTAS E = Espejado o espaciado pequeño 6 cm–20 cm (AE=Algún espejo 20-30cm)	20 - 35
MODERADAMENTE JUNTAS S = Subfracturado o bloques 20 cm – 60 cm	35 - 50
SEPARADAS M = Masivo o amplio 60 cm – 120 cm	50 - 70
MUY SEPARADAS O = Intacto o entero 200 cm	70 - 90

juntas o muy espejados, algunos no se midieron o eran pérdidas del testigo del S-175 como se observa a los 67m, 77m y 81m de profundidad en la figura 6.

El mayor inconveniente de la testificación con registros geofísicos es el mantenimiento de la caña del sondeo sin entubar, desde la retirada del equipo del sondeo hasta la medida con la sonda geofísica, se requiere además el llenado de agua de la caña del sondeo. Ello requiere la obtención del registro de resistividades justo en el momento de la finalización de cada uno de los sondeos. Este problema se ha solucionado con la entubación continua de una tubería PVC (65mm) corrugada y ranurada, realizando una doble testificación en el sondeo paramétrico S- 175 (antes de la entubación y con posterioridad) y ambos registros aparecen en la figura 6, con un coeficiente $r = 0,987$ [10].

$$\text{Resistividad} = 0,958 (\text{Resistividad PVC}) - 5,572$$

RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSIÓN

Aunque en macizos rocosos con varias litologías y amplio índice de fracturación se pueden aplicar las diagrfías de resistividad para correlaciones cronoestratigráficas, este trabajo investiga tramos de lutitas y limolitas, sin alteración, donde la densidad de fracturación total incide en los registros de resistividad.

Posteriormente se ha realizado un análisis estadístico, ver tablas 3 y 4, en 12 sondeos del sector D (figura 4), que analizan 80 pares de datos y las variables son la resistividad aparente “X” de una sonda normal corta –con

variables A (tabla 3) o B (tabla 4) en Ωm - y el espaciado de discontinuidades o densidad de fracturación total -variable “Y” en cm- obtenida en la testificación geomecánica paramétrica de sondeos en macizo rocoso de lutitas y limolitas del techo del flanco norte de la capa de carbón Cervantes (figura 5).

En 80 valores significativos de resistividad aparente - Ωm - por rangos de anomalías se realizan dos correlaciones lineales, la mitad con la variable A y la mitad con B, los resultados obtenidos en los análisis marcan dos relaciones límites cada una para el 50% de datos. En la posterior testificación de resistividades hasta un total de 50 sondeos se utilizan y corrobora el análisis que importa los resultados obtenidos.

Las variables ajustadas tienen una estrecha relación en estos medios fisurados, como apoyo al estudio de la fracturación, y los resultados son representativos para interpretación cuantitativa. Se ha realizado con los valores superiores del rango de espaciado de discontinuidades “Y” obtenido en las columnas geomecánicas del testigo continuo y se relaciona con la resistividad aparente obtenida con la sonda normal corta del equipo de testificación geofísica M. S. El resultado para el total de 80 pares de datos es un buen coeficiente de determinación de $R^2=0,9409$ (figura 7). También se analiza cada una de las dos relaciones de 40 pares de datos de valores más altos “A” de resistividad, con un coeficiente $R^2=0,965$, y 40 pares de valores más bajos “B” de resistividad, con un coeficiente $R^2=0,9785$ (figura 8).

Tabla 3. RELACIÓN DEL ESPACIADO (Y) CON LA RESISTIVIDAD (A).

Spacing ratio -Y- resistivity -A- $Y=0,04A^2-0,924A+8,98$

Y=ESPACIADO DISCONTINUIDADES (cm)	A=Resistividad d (Ωm)	Profundidad (m)	Sondeo	
EXTREMADAMENTE JUNTAS/FALLA (N)	1	10	41	SVN-1
MODERADAMENTE JUNTAS/SUBFRACTURADO (S)	60	50	43	SVN-1
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	15	64	SVN-1
EXTREMADAMENTE JUNTAS/FALLA (N)	1	7	61	SVN-2
EXTREMADAMENTE JUNTAS/FALLA (N)	1	10	42	SVN-3
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	15	10	S-145
EXTREMADAMENTE JUNTAS/FALLA (N)	1	10	25	S-145
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	25	26	S-145
MODERADAMENTE JUNTAS/SUBFRACTURADO (S)	60	40	30	S-145
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	30	22	S-146
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	30	30	S-146
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	15	12	S-149
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	20	14	S-149
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	14	15	S-149
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	15	10	S-151
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	15	13	S-151
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	20	16	S-151
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	17	21	S-151
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	17	28	S-151
JUNTAS/ALGÚN ESPEJO (AE)	20	37	41	S-151
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO ME-E	6	30	19	S-152
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	30	20	S-152
MODERADAMENTE JUNTAS/SUBFRACTURADO S-M	60	55	26	S-152
JUNTAS/ALGÚN ESPEJO (AE)	20	37	31	S-152
MUY SEPARADAS/INTACTA (O)	200	80	33	S-152
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	20	32	S-153
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	32	35	S-153
JUNTAS/ALGÚN ESPEJO (AE)	20	35	41	S-153
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO ME-E	6	30	10	S-158
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	30	11	S-158
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	30	43	S-158
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	15	51	S-158
EXTREMADAMENTE JUNTAS/FALLA (N)	1	5	18	S-160
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	16	21	S-160
JUNTAS/ALGÚN ESPEJO (E)	20	35	61	S-175
MODERADAMENTE JUNTAS/SUBFRACTURADO S-M	60	50	64	S-175
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	30	66	S-175
MUY SEPARADAS/INTACTO (O)	200	80	72	S-175
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	30	74	S-175
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	35	80	S-175

Tabla 4. RELACIÓN DEL ESPACIADO (Y) CON LA RESISTIVIDAD (B). Spacing ratio -Y- resistivity -A- $Y=0,0461B^2-0,6226B+7,0574$				
Y=ESPACIADO DISCONTINUIDADES (cm)		B=Resistividad D (Ωm)	Profundidad (m)	Sondeo
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	25	35	SVN-1
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	10	38	SVN-1
EXTREMADAMENTE JUNTAS/FALLA (N)	1	2	63	SVN-1
EXTREMADAMENTE JUNTAS/FALLA N-ME	1	1	60	SVN-2
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO ME-N	6	8	65	SVN-2
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO ME-N	6	5	66	SVN-2
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	20	34	SVN-3
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	20	35	SVN-3
JUNTAS/ESPEJADO E-ME	20	17	37	SVN-3
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	5	39	SVN-3
EXTREMADAMENTE JUNTAS/FALLA (N)	1	2	42	SVN-3
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	10	12	S-145
EXTREMADAMENTE JUNTAS/FALLA (N)	1	5	15	S-145
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	25	26	S-145
MODERADAMENTE JUNTAS/SUBFRACTURADO (S)	60	44	26	S-146
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO ME-N	6	7	11	S-149
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	25	17	S-151
JUNTAS/ESPEJADO E-ME	20	20	16	S-151
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	25	17	S-151
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	25	23	S-151
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	25	32	S-151
MODERADAMENTE JUNTAS/SUBFRACTURADO (S)	60	40	35	S-151
MODERADAMENTE JUNTAS/SUBFRACTURADO (S)	60	37	38	S-151
SEPARADAS/MASIVO (M)	120	60	39	S-151
JUNTAS/ESPEJADO E-ME	20	20	42	S-151
EXTREMADAMENTE JUNTAS/FALLA (N)	1	7	10	S-151
MODERADAMENTE JUNTAS/SUBFRACTURADO (S)	60	45	23	S-152
MODERADAMENTE JUNTAS/SUBFRACTURADO (S)	60	45	27	S-152
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	27	34	S-153
JUNTAS/ESPEJADO (E)	20	25	38	S-153
EXTREMADAMENTE JUNTAS/FALLA (N)	1	5	15	S-158
EXTREMADAMENTE JUNTAS/FALLA (N)	1	5	16	S-158
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	10	17	S-158
JUNTAS/ESPEJADO E-ME	20	15	51	S-158
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO ME-N	6	5	18	S-160
MUY JUNTAS/MUY ESPEJADO (ME)	6	11	22	S-160
MODERADAMENTE JUNTAS/SUBFRACTURADO (S)	60	45	71	S-175
MUY SEPARADAS/INTACTA (O)	200	70	72	S-175
MODERADAMENTE JUNTAS/SUBFRACTURADO (S)	60	40	76	S-175
MUY SEPARADAS/INTACTA (O)	200	70	78	S-175

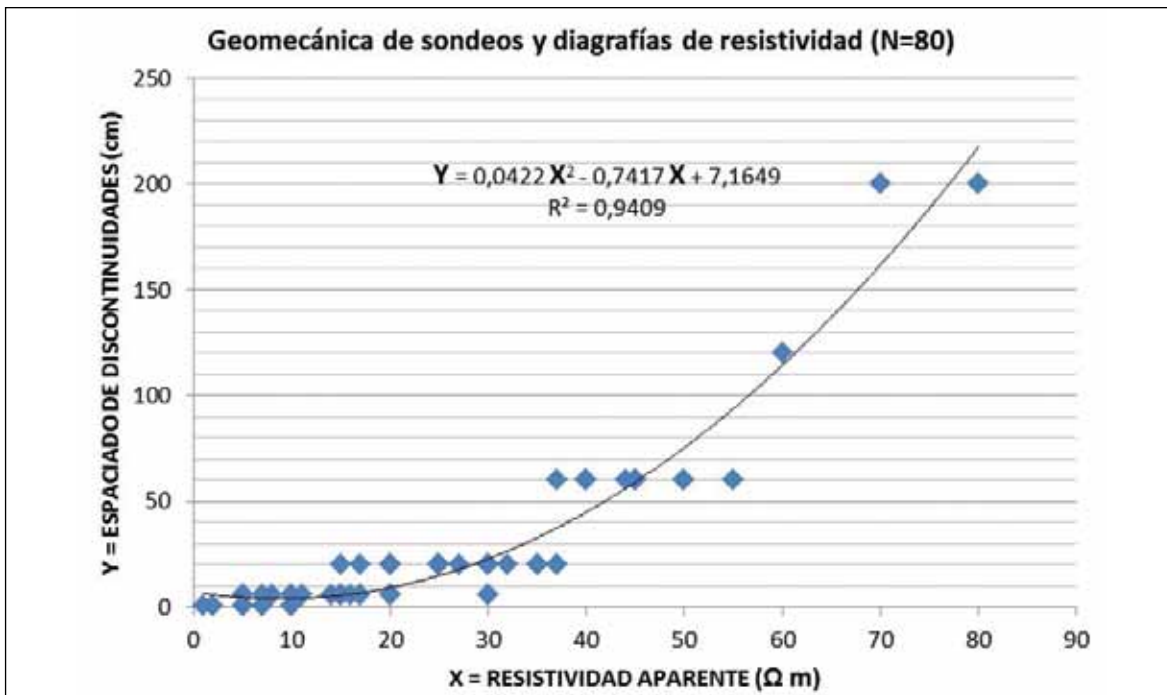


Figura 7. Relación entre el espaciado de discontinuidades y la resistividad. Relationship between the spacing of discontinuities and resistivity

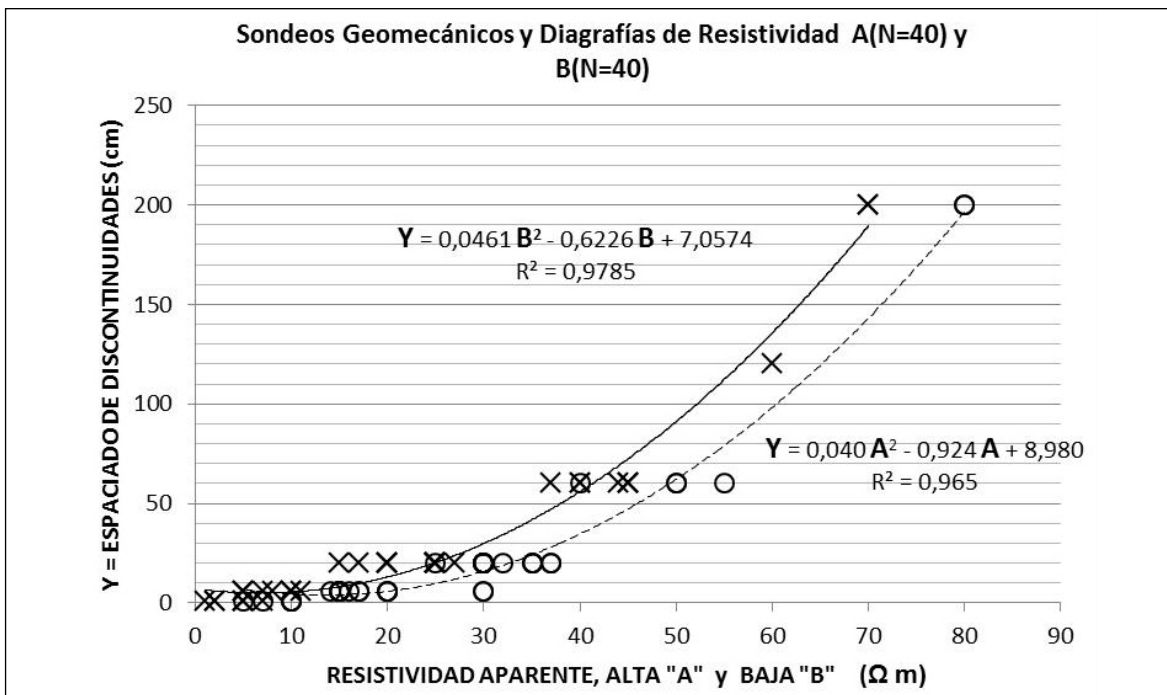


Figura 8. Relación entre el espaciado de discontinuidades y las resistividades altas y bajas. Relationship between the spacing of discontinuities and high resistivity and low

$$Y = 0'0422 X^2 - 0'7417 X + 7'1649$$

(N=80 y R²=0'9409)
 X=Resistividad aparente (Ω m)
 Y=Espaciado de discontinuidades (cm)

geomecánica. En los afloramientos rocosos donde se pueden realizar estaciones geomecánicas de caracterización también se deben realizar perfiles de tomografía eléctrica donde pueden aplicarse las relaciones que se han obtenido y así evaluar en profundidad el espaciado de discontinuidades a partir de datos paramétricos obtenidos de las estaciones geomecánicas.

Con los resultados obtenidos se puede evaluar también las pérdidas de testigo y se optimiza la testificación

La valoración del espaciado de discontinuidades mediante las diagráfias de resistividad han sido utilizadas en algunas perforaciones para voladuras de bancos de producción perpendiculares a la estratificación en el perfil V, de 8 m de altura, en la Corta Cervantes de la Cuenca Carbonífera de Peñarroya-Belmez, estos barrenos se realizaban a rotopercusión con martillo en cabeza y la testificación de resistividad a supuesto, como se dispone en la figura 9, la predicción de comportamiento del macizo rocoso lutítico y limolítico.

Mediante la resistividad aparente (Log) obtenida en la tes-

tificación de los barrenos se ha conocido el espaciado de las discontinuidades que es importante para distribuir el explosivo en el barreno y conseguir evitar las zonas de discontinuidades “muy juntas” (muy espejadas) de resistencia baja y requiere un retacado en ellas para no dañar la roca remanente y explosivo gelatinoso en el fondo.

CONCLUSIONES

Se ha realizado en lutitas y limolitas de la Cuenca Carbonífera del Guadiato un análisis estadístico en una docena

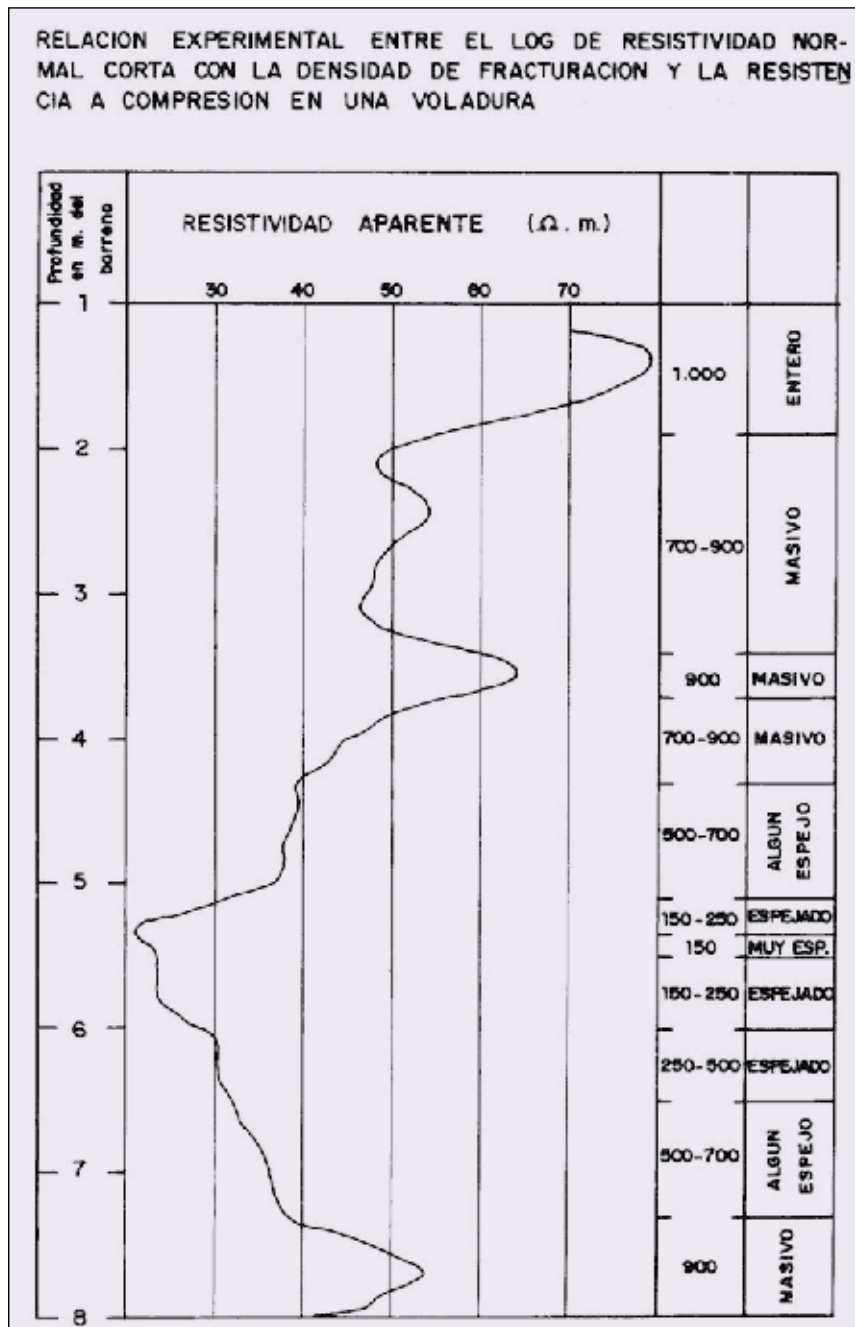


Figura 9. Testificación de resistividad en un barreno para conocer el espaciado de discontinuidades [10]. Resistivity-logging in a borehole for the spacing of discontinuities

de sondeos (tabla 3 y 4) y se analizan 80 pares de datos en dos rangos, valores altos (A) y valores bajos (B). Relacionan la resistividad (variable A o B) con el espaciado de discontinuidades o densidad de fracturación (variable Y) en macizos rocosos de lutitas y limolitas. Las variables ajustadas que tienen una estrecha relación y los resultados son representativos, así se ha obtenido un coeficiente de determinación $R^2=0'9409$ para 80 pares de datos en la relación (figura 7).

$$Y = 0'0422 X^2 - 0'7417 X + 7'1649 \quad (N=80)$$

X=Resistividad aparente (Ω m)

Y=Espaciado de discontinuidades (cm)

$$R^2=0'9409$$

Las consideraciones para el parámetro nº 4 de la clasificación de Bieniawski "Condición o estado de las discontinuidades", se recogen en la tabla 1, y se quiere resaltar que el subparámetro "Continuidad" o dimensiones de las juntas [11] es de amplia consideración en las estaciones geomecánicas de campo, pero al ser utilizado en los sondeos, requiere una valoración algo conservadora en las diaclasas. Otro subparámetro del éste parámetro nº 4 es la "Ru-



gosidad", tabla basada en perfiles JRC [10] de grado 0 (pulida) a grado 20 (muy rugosa). En cuanto al "Relleno" se tiene en cuenta la resistencia de las paredes de las juntas, su apertura y su espesor de relleno.

Finalmente, queremos incidir en el significado de esta modificación del parámetro nº 4 "Condición de las discontinuidades" para las estaciones geomecánicas y, también, para la toma de datos de sondeos, el valor final de éste parámetro coincide con el valor otorgado por Bieniawski en su clasificación geomecánica [3]. ■

REFERENCIAS

- [3] BIENIAWSKI, Z.T. (1979). "The geomechanics classification in rock engineering application". Proc. 4th. INT. CONGRESS ON ROCK MECHANICS, VOL. II, PP 41-48. MONTREUX, SUIZA.
- [9] BIENIAWSKI, Z.T. (1989). "Engineering rock mass classifications". Ed. John Wiley and Sons, Inc. A Wiley-Interscience Publicación. New York.
- [10] DAZA, A. (1991) "Nueva clasificación geomecánica". Rev. Ing. T. Minas. «Minería y Siderurgia» 2 trimestre 1991. Madrid.
- [2] DAZA, A. (1986). "Aportaciones de la Geofísica a la Geotecnia. Seminario sobre la utilización de las diafragmas en minería". Ed. Teresa Alonso. ETSIM de Oviedo.
- [5] HOEK, E. & BROWN, E.T. (1980). *Underground Excavations in Rock*. London, Instm. Mining Metall.
- [6] HOEK, E. & BRAY, J. (1981). *Rock Slope Engineering*. London, The Inst. Mining and Metallurgy.
- [7] HOEK, E., CARRANZA-TORRES, C. & CORKUM, B. (2004). "El criterio de rotura de Hoek-Brown". Ed. 2002. In C. López Jimeno (ETSIMM). «Ingeotúneles» 2003.
- [1] RAMÍREZ OYANGUREN, P. (1981). "Técnicas modernas para el dimensionamiento de minas metálicas subterráneas". Madrid. Hoja informativa nº 23 del Grupo de Geomecánica de la Asociación de Ing. de Minas.
- [4] RAMÍREZ OYANGUREN, P. (1980). *Dimensionamiento del sostenimiento en galerías y túneles*. ETS. Ing. Minas, Madrid.
- [8] STAGG, K.G., ZIENKIEWICZ, O.C., HOEK, E., DEERE, D.U., HENDRON, A.J., MORGENSTERN, N.R., ROBERTS, A. (1970). *Mecánica de Rocas en la Ingeniería Práctica*. Editorial Blume (Madrid).
- [11] Int. Soc. Rock Mechanics (1981). "Suggested Methods for Rock characterization testing and monitoring" -ISRM-. Ed. E.T. Brown. Pergamon Press, 211pp.