

Aprovechamiento racional de un afloramiento de granito

Rational exploitation of a granite outcrop

ROMERO ESCUDERO, J. A.; TABOADA CASTRO, J.; RODRIGUEZ DIAZ, M. A.;
FERNANDEZ FERNANDEZ, V.

This piece analyzes the possibilities of mining exploitation in a little outcrop of rose granite.

The zone has been researched, recognizing the main structural discontinuities, and characterizing the rock mass by the geomechanic classification of BARTON. Two core drilling have been made to study the evolution of the deeper bed. The volume of the bed has been calculated by geometric calculation in the researched area. The theories of CASTAING and RABU have been developed to estimate the useful volume of the bed for a minimum block size of 1 m³. We have implemented a computer program in base of EXCEL 4.0. The result is a useful volume of 51.67 %. By the application of the reduction coefficients of sterility and irregularity, the maximum estimated efficiency of the exploitation is 33 %.

Key words: Granite, mining exploitation, usefull volume, fracturing.

ROMERO ESCUDERO, J. A. (Junta de Castilla-León. Sección comarcal de El Bierzo. c/ Ave María, 11, 3^o. 24400 Ponferrada. León). TABOADA CASTRO, J. (Universidad de Vigo. Departamento de Ingeniería de materiales, Mecánica aplicada y Construcción. Lagoas-Marcosende, aptdo. 62. 36280 VIGO. Pontevedra). RODRIGUEZ DIAZ M. A.; (FERNANDEZ FERNANDEZ, V. (Universidad de Oviedo. Departamento de Explotación y Prospección de Minas. c/ Independencia, 13. 33004 OVIEDO).

INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo es analizar las posibilidades de explotación minera de un pequeño afloramiento de granito rosa, con destino a la restauración de monumentos que históricamente han empleado este tipo de piedra.

Morfológicamente, el afloramiento es un pequeño promontorio de suave relieve, cuya máxima diferencia de cotas es de 4 m. Tiene forma irregular, alargada en dirección E-O, con una longitud de 130 m y una anchura de 40 m. Sus alrededores son superficies de llanura, suavemente ondulada y salpicada de pequeños afloramientos de bollos de granito gris, que emergen sobre un suelo de arena y arcilla marrón, poco potente.

La investigación se ha centrado en el estudio de los aspectos de calidad mecánica e industrial, según MU—OZ et al (1989). Se ha comenzado por un levantamiento de campo a escala 1:1000 de todo el afloramiento, prestando especial atención a la coloración del granito, así como a la presencia de defectos. Asimismo, se han tomado datos del sistema de discontinuidades que fractura el macizo, según AYALA et al (1987), agrupando las juntas por familias y evaluando otros factores mecánicos como la continuidad, espaciamiento, rugosidad, relleno, meteorización y resistencia a compresión simple, para caracterizar el macizo a partir de la clasificación geomecánica de BARTON et al (1977).

Para estudiar la evolución del macizo en profundidad, se han realizado dos sondeos de testigo continuo, comprobando la constancia de las características detectadas en el afloramiento en cuanto a composición y

estructura, lo que ha servido de base para la primera cubicación del yacimiento.

Para el cálculo del volumen útil se ha implementado un programa informático a partir de la hoja de cálculo EXCEL 4.0, donde, partiendo de los datos de fracturación, deducimos el número de bloques posibles de un tamaño mínimo, el volumen que ocupan y el rendimiento máximo previsto en la zona investigada.

CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES

El macizo rocoso está compuesto en su totalidad por un granito rosa, clasificado petrológicamente como episienita, ligeramente cataclástica en determinadas zonas, de color rosado, textura granular, y con abundantes feldespatos alcalinos, clorita y epidota como minerales principales. En la fracción secundaria hay cuarzo, circón, apatito y fluorita.

El conjunto del afloramiento aparece notablemente fracturado por sistemas de discontinuidades ortogonales, típicas de estas rocas ígneas.

Se han detectado cinco familias de fracturas, en su mayoría diaclasas y algunas fallas, cuya orientación espacial media es la siguiente:

$$J_1 = 6/88$$

$$J_2 = 90/88$$

$$J_3 = 112/35$$

$$J_4 = 25/10$$

$$J_5 = 18/55$$

Las tres familias de juntas que aparecen con mayor frecuencia son: J1 y J2, verticales y complementarias, y J4, subhorizontal.

El tratamiento estadístico a partir del censo de discontinuidades se ha realizado con el programa GEOPLOT, por proyección estereográfica equiareal (véase figura 1).

Las características geomecánicas de las principales familias de juntas son las siguientes:

- J1: Es una de las familias más frecuentes, con espaciamentos comprendidos entre 0.5-2 m y continuidades entre 4 y 24 m. Presenta superficies poco onduladas y de baja rugosidad. Solamente las juntas superficiales tienen algún centímetro de relleno arenoso procedente de la degradación del granito, mientras en profundidad se presentan limpias y sin rellenar por fases recristalizadas.

- J2: Es, junto con J1, la familia más frecuente en el afloramiento. Su espaciamento en las zonas de mayor intensidad de fracturación es métrico. Este tipo de diaclasas es bastante continuo, 10-20 m, y su superficie suele presentarse suavemente ondulada y moderadamente rugosa. No presenta rellenos.

- J3: Es una de las familias menos importantes por su escasa frecuencia, aunque su continuidad es considerable. Es poco rugosa y suavemente ondulada. Tiene exclusivamente importancia local.

- J4: Es la familia horizontal del conjunto. Llega a ser la más frecuente de todas y la

que presenta rellenos arenosos con más facilidad. Su continuidad es pequeña. En cuanto a condiciones superficiales se la puede definir como la menos rugosa de todas y de las menos onduladas.

- J5: Es de escasa representación. Se caracteriza por ser discontinua, poco frecuente, lisa y con rellenos arenosos muy ocasionales.

En la figura 2 se representa una perspectiva axonométrica de las juntas más frecuentes, lo que condicionará diversos aspectos de la explotación minera, como son el tamaño de bloque, la dirección y altura de banco, y la dirección de escuadrado de bloques.

El afloramiento se ha dividido en cinco zonas que difieren entre sí en función de las características de fracturación, meteorización e intensidad del tono rosáceo.

En cada una de las zonas se ha realizado un levantamiento del macizo en base a la clasificación geomecánica de BARTON et al (1977), obteniendo los valores del parámetro de calidad Q que se indican en la tabla 1.

TABLA 1. Valores del parámetro de calidad Q del macizo

ZONA	1	2	3	4	5
Parámetro Q	8.32	16.65	11.1	12.5	16.65

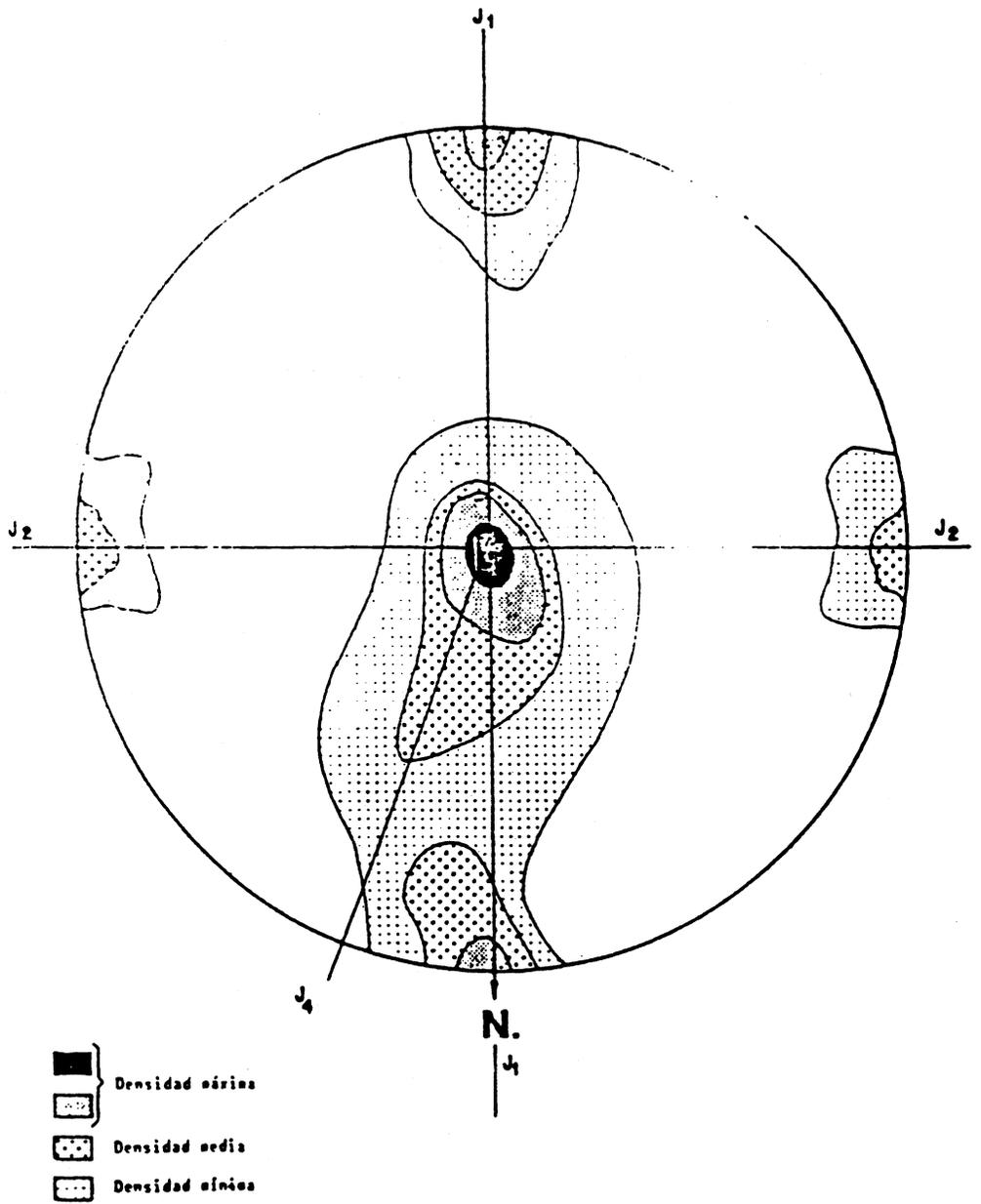


Fig. 1. Diagrama de concentración pola de discontinuidades.

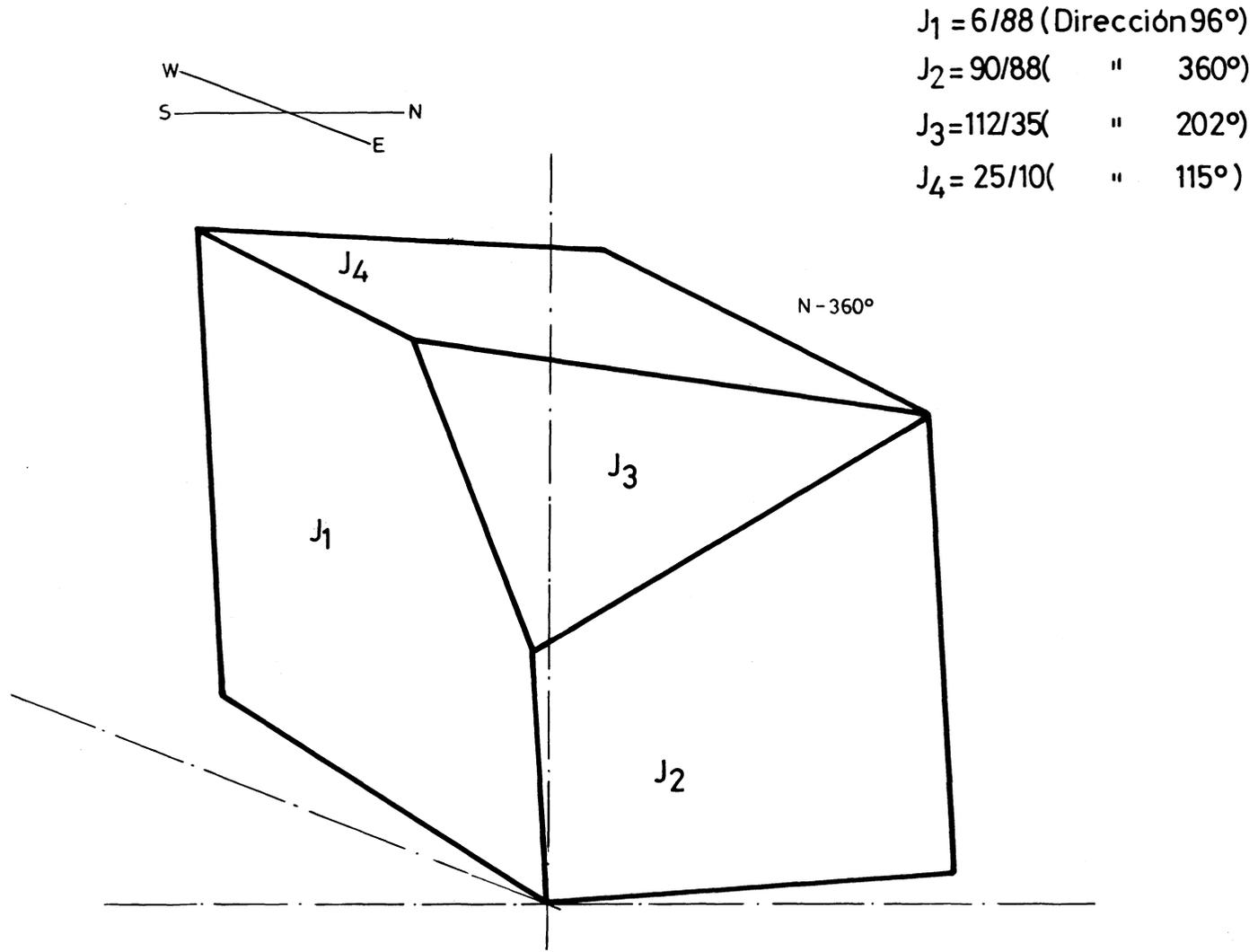


Fig. 2. Representación espacial axonométrica de los sistemas de fracturación del granito rosa.

TENDENCIAS DEL GRANITO EN PROFUNDIDAD

Para la investigación de la continuidad y calidad del granito rosa en profundidad, se perforaron dos sondeos.

El primero, vertical, alcanzó una profundidad de 8.70 m, ya que desde casi su comienzo, entró en un dominio de granito gris.

El segundo se perforó en sentido S-N, con una inclinación de 36° y una longitud de 44.45 m, que equivalen a unos 24 m de profundidad. Según se ilustra en la figura 3, el sondeo cortó en todo momento granito rosa, perfilándose la posibilidad de que el afloramiento continúe en profundidad, con una inclinación de unos 50-55°. Esta disposición viene en parte confirmada por la dirección e inclinación de intrusiones básicas según los planos del tipo J5.

El sondeo se ha situado en la zona del afloramiento que presenta mejores características para su explotación, estando el granito sano a partir del segundo metro. La fracturación puede considerarse como media-baja, y su esquema estructural es idéntico al de superficie. Por tanto, la estructura con su orientación e intersección de planos, frecuencia media y caracteres mecánicos, se puede decir que continúa en la profundidad investigada, así como la calidad cromática, presencia e intensidad del tono rosáceo.

CUBICACION Y CALCULO DEL VOLUMEN UTIL DEL YACIMIENTO

Es práctica común en afloramientos y yacimientos canterables como el descrito, utilizar un método de cubicación en el que se establece una malla formada por secciones que se intersectan cada 10 ó 20 m y que

adoptan las direcciones de las dos familias principales del sistema de diaclasas, obteniendo una cuadrícula de 100 a 400 m².

El volumen se consigue asignando a cada cuadrícula una altura media, siendo el volumen total la suma de los volúmenes elementales así diseñados.

Por tratarse de un pequeño afloramiento de forma irregular, en este caso realizaremos la cubicación considerando una profundidad investigada en sondeos de 24 m en vertical, y dividiendo la masa rocosa en dos partes (véase figura 4). La primera es un sólido compuesto, de base romboidal y 135 m de altura, con un volumen de 111.307 m³. La segunda es una pirámide que se superpone al prisma anterior, con base rectangular y 6 m de altura, que tiene un volumen de 8.695 m³.

La suma de los volúmenes elementales nos da un volumen total de 120.000m³.

La parte del volumen total que consideramos útil, es el volumen de yacimiento susceptible de formar bloques de un tamaño mínimo requerido, y que por tratarse de un yacimiento de pequeñas dimensiones, con aplicación en la reconstrucción de edificios históricos, estimamos en más de 1 m³.

Para el cálculo del volumen útil a partir del censo de discontinuidades realizado, consideraremos únicamente las dos familias principales de fracturas subverticales J1 y J2, y la familia de fracturas subhorizontal J4, ya que las otras dos familias de juntas tienen muy escasa relevancia.

Siguiendo las teorías de CASTAING et al (1980), elaboramos un histograma de frecuencias de los espaciamientos de cada familia de discontinuidades (véase figura 5).

Dado que un bloque de dimensiones a x b x c aparece cuando los espaciamientos de las tres familias de fracturas son simultá-

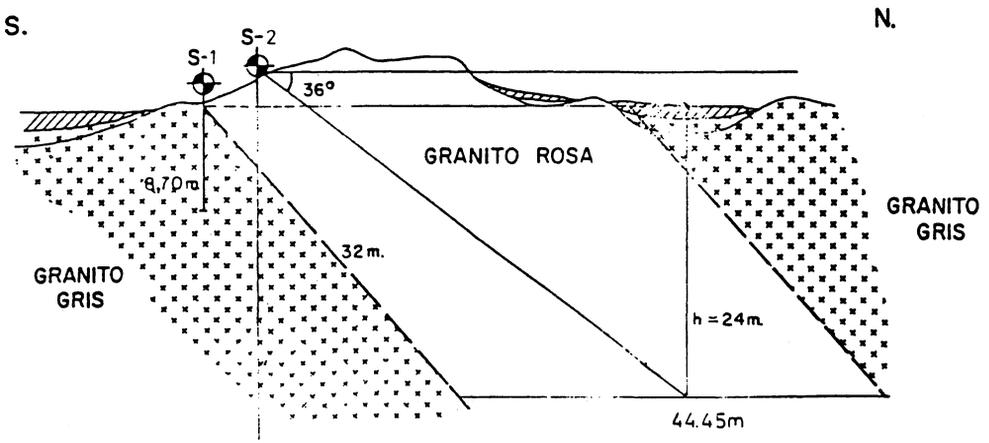


Fig. 3. Corte geológico dirección S-N.

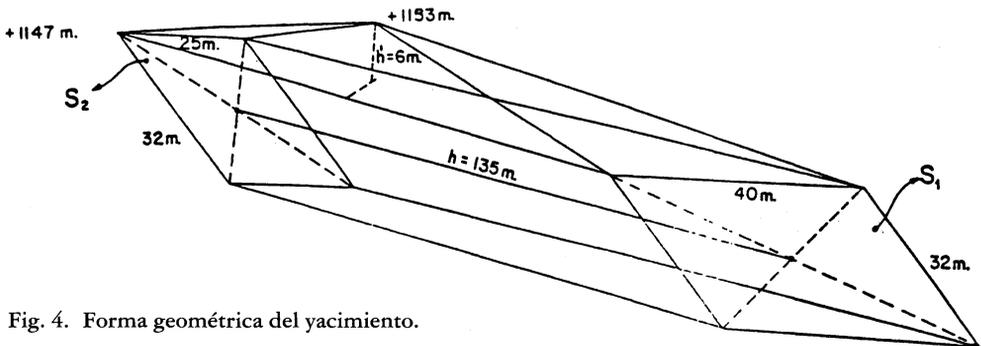


Fig. 4. Forma geométrica del yacimiento.

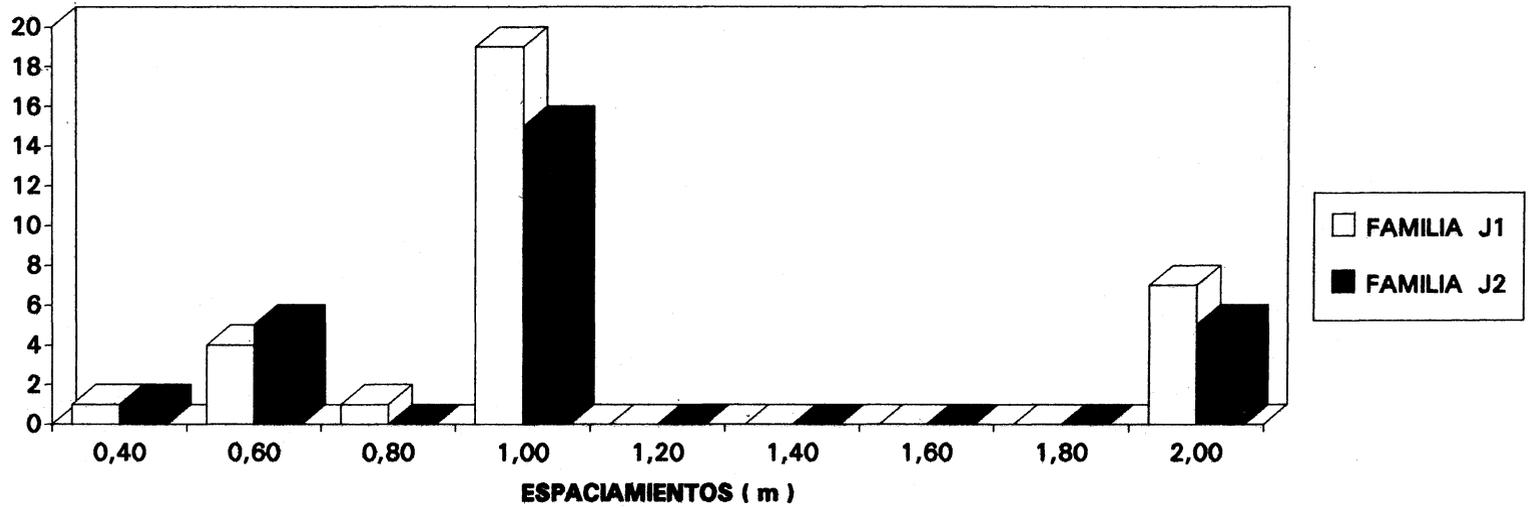


Fig. 5. Histograma de frecuencias de espaciamientos.

neamente a ó b ó c, vamos a analizar la frecuencia de existencia de bloques de un tamaño mínimo determinado.

La fracturación horizontal suele ser decreciente con la profundidad, y procede de dos fenómenos diferentes: la exfoliación superficial y la descompresión provocada por la diferencia de la velocidad de cristalización del magma. Los espaciamentos de esta familia son mayores que en los otros casos, por lo que no la consideraremos en el cálculo estadístico.

Calcularemos la frecuencia de existencia de una sección de dimensiones a x b, lo que será, en caso de $b \geq a$, con c constante, y siendo i, j, los espaciamentos respectivos de las dos familias sistemáticas de juntas J1 y J2:

$$F(a \times b \times c) = \{F(i \geq a) \cdot F(j \geq b)\} + \{F(i \geq b) \cdot F(j \geq a) - \{F(i \geq b) \cdot F(j \geq b)\}$$

Supondremos que las variables son independientes para poder aplicar este método de cálculo. Esto es razonable ya que gran parte de las juntas se han formado durante la cristalización independientemente unas de

otras, y las juntas conjugadas de generación más tardía están relacionadas en cuanto a orientación espacial, pero no a densidad.

La frecuencia anterior está expresada en porcentaje de bloques, y a partir de ella deducimos el porcentaje en volumen de roca.

El número de bloques cuyas dimensiones son a x b x c es:

siendo:

$$N(a \times b \times c) = (x_a \cdot y_b + x_b \cdot y_a) \frac{h}{c}$$

$$b \geq a$$

x_a : nº de juntas con espaciamiento a en la familia J1

x_b : nº de juntas con espaciamiento b en la familia J1

y_a : miento a en la familia J2

y_b : nº de juntas con espaciamiento b en la familia J2

h: profundidad de investigación del yacimiento

El número de bloques que tienen, al menos, las dimensiones a x b x c es:

$$N(i \times j \times c) = \left[\sum_{i=a}^n \sum_{j=b}^n (x_i y_j + x_j y_i) - \sum_{j=b}^n \sum_{i=b}^n \right] \frac{h}{c}$$

Y el volumen que ocupan es:

$$V(i \times j \times c) = \left[\sum_{i=a}^n \sum_{j=b}^n (x_i y_j + x_j y_i) ij - \sum_{j=b}^n \sum_{i=b}^n (x_j y_j) j^2 \right] h \text{ sen } \alpha$$

siendo α el ángulo agudo entre las familias de juntas J1 y J2.

Para calcular el porcentaje de volumen útil del yacimiento, dividiremos el volumen calculado entre el volumen total de macizo investigado.

Con el fin de desarrollar estas fórmulas, se ha implementado un programa informático a partir de la hoja de cálculo EXCEL 4.0. Los datos de entrada son las frecuencias de espaciamientos de las familias de juntas. El programa genera dos matrices, cuyos miembros son los elementos de los sumatorios respectivos de las fórmulas anteriores. Las salidas son: el número de bloques, el volumen que ocupan y el porcentaje de volumen útil, para cada tamaño mínimo de bloque aprovechable.

En las figuras 6 a 12, se presentan las salidas de ordenador con los datos de partida (fig. 6), las matrices para el cálculo del número de bloques (fig. 7) así como los resultados para diversos tamaños mínimos (fig. 8 y 9), las matrices para el cálculo de los volúmenes útiles (fig. 10) y los resultados correspondientes (fig. 11 y 12).

Para el tamaño mínimo de bloque seleccionado en nuestro yacimiento, hemos obtenido un porcentaje de volumen útil del 51.67 %. Sin embargo, no todo el volumen útil es aprovechable, ya que existen coeficientes reductores que limitan la utilización del yacimiento.

Estos coeficientes son de dos tipos, que englobamos con las denominaciones genéricas de coeficientes de esterilidad, y coeficientes de irregularidad.

Al primer grupo, pertenecen las esterilidades por presencia de suelos, por meteorización de grados III, IV y V, y por presencia de impurezas como gabarros o cambios de tonalidad. En el caso estudiado se estima que estas esterilidades pueden suponer un 16 % del volumen útil.

En el segundo grupo incluimos los destrozados producidos en las labores de extracción, y los desechos en la relación bloque industrial / bloque natural, que prevemos cercanos al 20 % del volumen útil.

De esta forma, el rendimiento máximo previsible en la explotación minera es de un 33 %, lo que es coherente con lo observado en la práctica.

PARAMETROS DE EXPLOTACION

Existen una serie de condicionamientos básicos para el laboreo del yacimiento descrito.

En primer lugar, su pequeña dimensión condiciona las labores de explotación, así como el uso ornamental de la roca, para restauración de monumentos, y edificación conjuntada con otra de carácter histórico. Estos factores definen una minería de producción limitada, y de tamaño de bloque mínimo no excesivamente grande.

La cubicación realizada de 120.000 m³ debe considerarse como mínima, ya que es probable que el yacimiento continúe a mayor profundidad de la sondeada. Del volumen total del yacimiento, consideramos como útil, para un tamaño mínimo de bloque de más de 1 m³, el 51.67 %, siendo el rendimiento previsible máximo de la explotación minera el 33 % del volumen total cubicado.

La roca obtenida estará en muchos casos delimitada por juntas naturales planas y poco rugosas, que podrían ser tolerables en bloques en los que se desee un efecto de cara vista rugosa.

La calidad mecánica del macizo es buena, con unos valores del parámetro Q de BARTON entre 8.5 y 16.6, y la coloración

CANTERAS DE ROCAS ORNAMENTALES

**CALCULOS DE FRACTURACION
RESERVAS Y RENDIMIENTOS DE CANTERA**

ESPACIAMIENTOS i,j	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80
FRECUENCIAS FAMILIA J1 x	0,00	1,00	4,00	1,00	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FRECUENCIAS FAMILIA J2 y	0,00	1,00	5,00	0,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ESPACIO OCUPADO FAMILIA J1	0,00	0,40	2,40	0,80	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ESPACIO OCUPADO FAMILIA J2	0,00	0,40	3,00	0,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL ESPACIO (m) FAMILIA J1	36,60													
TOTAL ESPACIO (m) FAMILIA J2	28,40													

CALCULO DE PARAMETRO ESTRUCTURAL

TOTAL N° FRACTURAS FAMILIA J1	32,00
TOTAL N.º FRACTURAS FAMILIA J2	28,00
FRACTURAS/m FAMILIA J1	0,87
FRACTURAS/m FAMILIA J2	0,92
TOTAL FRACTURAS POR METRO	1,79
Nº DE FAMILIAS	2,00

Fig. 6. Datos de partida

MATRIZ 1 && N.º DE BLOQUES		CALCULO DEL N.º DE BLOQUES DE DIMENSIONES REQUERIDAS													
		0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	0,00	2,00	9,00	1,00	34,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,60	0,00	9,00	40,00	5,00	155,00	0,00	0,00	0,00	0,00	55,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,80	0,00	1,00	5,00	0,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	0,00	34,00	155,00	15,00	570,00	0,00	0,00	0,00	0,00	200,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	0,00	12,00	55,00	5,00	200,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MATRIZ 2 && N.º DE BLOQUES		0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	0,00	1,00	5,00	0,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,60	0,00	4,00	20,00	0,00	60,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,80	0,00	1,00	5,00	0,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	0,00	19,00	95,00	0,00	285,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	95,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	0,00	7,00	35,00	0,00	105,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PARAMETRO VALOR															
ALTURA DEL BANCO (m): h		4,00													
ALTURA DEL BLOQUE (m): c		1,00													
h/c		4,00													

Fig. 7. Matrices para el cálculo del número de bloques

FORMULA	RESULTADOS	N.º BLOQUES	DIMENSIONES
SUMA MATRIZ 1	1.664,00		0,20 x
SUMA MATRIZ 2	832,00		0,20 x
DIFERENCIA	832,00	3.328,00	1,00 x
SUMA MATRIZ 1	1.664,00		0,20 x
SUMA MATRIZ 2	832,00		0,40 x
DIFERENCIA	832,00	3.328,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	1.664,00		0,40 x
SUMA MATRIZ 2	832,00		0,40 x
DIFERENCIA	832,00	3.328,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	1.606,00		0,40 x
SUMA MATRIZ 2	775,00		0,60 x
DIFERENCIA	831,00	3.324,00	1,00 x
SUMA MATRIZ 1	1.550,00		0,60 x
SUMA MATRIZ 2	775,00		0,60 x
DIFERENCIA	775,00	3.100,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	1.295,00		0,60 x
SUMA MATRIZ 2	540,00		0,80 x
DIFERENCIA	755,00	3.020,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	1.080,00		0,80 x
SUMA MATRIZ 2	540,00		0,80 x
DIFERENCIA	540,00	2.160,00	1,00 x
SUMA MATRIZ 1	1.060,00		0,80 x
SUMA MATRIZ 2	520,00		1,00 x
DIFERENCIA	540,00	2.160,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	1.040,00		1,00 x
SUMA MATRIZ 2	520,00		1,00 x
DIFERENCIA	520,00	2.080,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	270,00		1,00 x
SUMA MATRIZ 2	35,00		1,20 x
DIFERENCIA	235,00	940,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	70,00		1,20 x
SUMA MATRIZ 2	35,00		1,20 x
DIFERENCIA	35,00	140,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	70,00		1,20 x
SUMA MATRIZ 2	35,00		1,40 x
DIFERENCIA	35,00	140,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	70,00		1,40 x
SUMA MATRIZ 2	25,00		1,40 x
DIFERENCIA	35,00	140,00	1,00 x

Fig. 8. Número de bloques según dimensiones

FORMULA	RESULTADOS	N.º BLOQUES	DIMENSIONES
SUMA MATRIZ 1	70,00		1,40 x
SUMA MATRIZ 2	35,00		1,60 x
DIFERENCIA	35,00	140,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	70,00		1,60 x
SUMA MATRIZ 2	35,00		1,60 x
DIFERENCIA	35,00	140,00	1,00 x
SUMA MATRIZ 1	70,00		1,60 x
SUMA MATRIZ 2	35,00		1,80 x
DIFERENCIA	35,00	140,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	70,00		1,80 x
SUMA MATRIZ 2	35,00		1,80 x
DIFERENCIA	35,00	14,00	1,00 x
SUMA MATRIZ 1	70,00		1,80 x
SUMA MATRIZ 2	35,00		2,00 x
DIFERENCIA	35,00	140,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	70,00		2,00 x
SUMA MATRIZ 2	35,00		2,00 x
DIFERENCIA	35,00	140,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	0,00		2,00 x
SUMA MATRIZ 2	0,00		2,20 x
DIFERENCIA	0,00	0,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	0,00		2,20 x
SUMA MATRIZ 2	0,00		2,20 x
DIFERENCIA	0,00	0,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	0,00		2,20 x
SUMA MATRIZ 2	0,00		2,40 x
DIFERENCIA	0,00	0,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	0,00		2,40 x
SUMA MATRIZ 2	0,00		2,40 x
DIFERENCIA	0,00	0,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	0,00		2,40 x
SUMA MATRIZ 2	0,00		2,60 x
DIFERENCIA	0,00	0,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	0,00		2,60 x
SUMA MATRIZ 2	0,00		2,60 x
DIFERENCIA	0,00	0,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	0,00		2,60 x
SUMA MATRIZ 2	0,00		2,80 x
DIFERENCIA	0,00	0,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	0,00		2,80 x
SUMA MATRIZ 2	0,00		2,80 x
DIFERENCIA	0,00	0,00	1,00

Fig. 9. Número de bloques según dimensiones

CALCULO DEL VOLUMEN DE BLOQUES														
MATRIZ 1 && VOLUMENES														
	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	0,00	0,32	2,16	0,32	13,60	0,00	0,00	0,00	0,00	9,60	0,00	0,00	0,00	0,00
0,60	0,00	2,16	14,40	2,40	93,00	0,00	0,00	0,00	0,00	66,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,80	0,00	0,32	2,40	0,00	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	0,00	13,60	93,00	12,00	570,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	0,00	9,60	66,00	8,00	400,00	0,00	0,00	0,00	0,00	280,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MATRIZ 2 && VOLUMENES														
	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	0,00	0,16	1,20	0,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,60	0,00	0,96	7,20	0,00	36,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,80	0,00	0,32	2,40	0,00	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	0,00	7,60	57,00	0,00	285,00	0,00	0,00	0,00	0,00	190,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	0,00	5,60	42,00	0,00	210,00	0,00	0,00	0,00	0,00	140,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PARAMETRO	VALOR													
ALTURA DEL BANCO (m)	4,00													
ANGULO ENTRE FRACTURAS (°)	84,00													
SUPERFICIE DEL YACIMIENTO (m ²)	1.039,44													
VOLUMEN DEL YACIMIENTO (m ³)	4.157,76													
ANGULO EN RADIANES	1,47													
SENO DEL ANGULO	0,99													

Fig. 10. Matrices para el cálculo del volumen útil

FORMULA	RESULTADOS	VOLUMEN (m ³)	DIMENSIONES	RENDIMIENTOS (%)
SUMA MATRIZ 1	2.078,88		0,20 x	
SUMA MATRIZ 2	1.039,44		0,20 x	
DIFERENCIA	1.039,44	4.134,98	1,00	99,45
SUMA MATRIZ 1	2.078,88		0,20 x	
SUMA MATRIZ 2	1.039,44		0,40 x	
DIFERENCIA	1.039	4.134,98	1,00	99,46
SUMA MATRIZ 1	2.078,88		0,40 x	
SUMA MATRIZ 2	1.039,44		0,40 x	
DIFERENCIA	1.039,44	4.134,98	1,00	99,45
SUMA MATRIZ 1	2.052,88		0,40 x	
SUMA MATRIZ 2	1.013,60		0,60 x	
DIFERENCIA	1.039,28	4.134,35	1,00	99,44
SUMA MATRIZ 1	2.027,20		0,60 x	
SUMA MATRIZ 2	1.013,60		0,60 x	
DIFERENCIA	1.013,60	4.032,19	1,00	96,98
SUMA MATRIZ 1	1.851,40		0,60 x	
SUMA MATRIZ 2	845,00		0,80 x	
DIFERENCIA	1.006,40	4.003,55	1,00	96,29
SUMA MATRIZ 1	1.690,00		0,80 x	
SUMA MATRIZ 2	845,00		0,80 x	
DIFERENCIA	845,00	3.361,49	1,00	80,85
SUMA MATRIZ 1	1.670,00		0,80 x	
SUMA MATRIZ 2	825,00		1,00 x	
DIFERENCIA	845,00	3.361,49	1,00	80,85
SUMA MATRIZ 1	1.650,00		1,00 x	
SUMA MATRIZ 2	825,00		1,00 x	
DIFERENCIA	825,00	3.281,92	1,00	78,93
SUMA MATRIZ 1	680,00		1,00 x	
SUMA MATRIZ 2	140,00		1,20 x	
DIFERENCIA	540,00	2.148,17	1,00	51,67
SUMA MATRIZ 1	280,00		1,20 x	
SUMA MATRIZ 2	140,00		1,20 x	
DIFERENCIA	140,00	556,93	1,00	13,40
SUMA MATRIZ 1	280,00		1,20 x	
SUMA MATRIZ 2	140,00		1,40 x	
DIFERENCIA	140,00	556,93	1,00 x	13,40
SUMA MATRIZ 1	280,00		1,40 x	
SUMA MATRIZ 2	140,00		1,40 x	
DIFERENCIA	140,00	556,93	1,00	13,40

Fig. 11. Volumen útil según dimensiones

FORMULA	RESULTADOS	VOLUMEN (m³)	DIMENSIONES	RENDIMIENTOS (%)
SUMA MATRIZ 1	280,00		1,40 x	
SUMA MATRIZ 2	140,00		1,60 x	
DIFERENCIA	140,00	556,93	1,00	13,40
SUMA MATRIZ 1	280,00		1,60 x	
SUMA MATRIZ 2	140,00		1,60 x	
DIFERENCIA	140,00	556,93	1,00	13,40
SUMA MATRIZ 1	280,00		1,60 x	
SUMA MATRIZ 2	140,00		1,80 x	
DIFERENCIA	140,00	556,93	1,00	13,40
SUMA MATRIZ 1	280,00		1,80 x	
SUMA MATRIZ 2	140,00		1,80 x	
DIFERENCIA	140,00	556,93	1,00	13,40
SUMA MATRIZ 1	280,00		1,80 x	
SUMA MATRIZ 2	140,00		2,00 x	
DIFERENCIA	140,00	556,93	1,00	13,40
SUMA MATRIZ 1	280,00		2,00 x	
SUMA MATRIZ 2	140,00		2,00 x	
DIFERENCIA	140,00	556,93	1,00	13,40
SUMA MATRIZ 1	0,00		2,00 x	
SUMA MATRIZ 2	0,00		2,20 x	
DIFERENCIA	0,00	0,00	1,00	0,00
SUMA MATRIZ 1	0,00		2,20 x	
SUMA MATRIZ 2	0,00		2,20 x	
DIFERENCIA	0,00	0,00	1,00	0,00
SUMA MATRIZ 1	0,00		2,20 x	
SUMA MATRIZ 2	0,00		2,40 x	
DIFERENCIA	0,00	0,00	1,00	0,00
SUMA MATRIZ 1	0,00		2,40 x	
SUMA MATRIZ 2	0,00		2,40 x	
DIFERENCIA	0,00	0,00	1,00	0,00
SUMA MATRIZ 1	0,00		2,40 x	
SUMA MATRIZ 2	0,00		2,60 x	
DIFERENCIA	0,00	0,00	1,00	0,00
SUMA MATRIZ 1	0,00		2,60 x	
SUMA MATRIZ 2	0,00		2,60 x	
DIFERENCIA	0,00	0,00	0,00	1,00
SUMA MATRIZ 1	0,00		2,60 x	
SUMA MATRIZ 2	0,00		2,80 x	
DIFERENCIA	0,00	0,00	1,00	0,00
SUMA MATRIZ 1	0,00		2,80 x	
SUMA MATRIZ 2	0,00		2,80 x	
DIFERENCIA	0,00	0,00	1,00	0,00

Fig. 12. Volumen útil según dimensiones

rosada de la piedra se mantiene homogéneamente a lo largo del yacimiento.

De la masa rocosa, hemos considerado como desechable por meteorización un 8 % del volumen útil de yacimiento, que se presenta superficialmente en bolos de granito englobados por suelo residual, y cuya profundidad no sobrepasa de 4 ó 5 m en zonas aisladas.

El laboreo se enfocará como una minería de bloques, en la que es fundamental definir la dirección de los frentes, la altura de bancos, y el método de separación de bloques.

En contraposición con los métodos más habituales de explotación de granitos, en los que se trata de obtener bloques primarios lo más grandes posible, y que exige alturas de banco de más de 6 m, los bancos de arranque en nuestro yacimiento no deben ser más altos de 1 ó 2 m, aprovechando el carácter métrico de los espaciamientos de la familia de diaclasas subhorizontal (J4). La perforación y voladura primaria y secundaria debe reducirse al máximo, y emplear preferentemente métodos mecánicos de corte, como el hilo diamantado, dado el carácter artesanal de la producción, y la relativa abundancia de diaclasas.

La primera operación de explotación es la limpieza de suelos y roca meteorizada del banco, que debe separarse para su posterior utilización en las labores de restauración.

La dirección de los bancos viene impuesta por la fracturación, de forma que se tendrán en cuenta las dos principales familias de juntas: J1 (6/88) y J2 (90/88).

El primer banco debe orientarse en dirección E-O, longitudinalmente con la junta J1, y avanzar por retranqueo en sentido Norte, para llevar el sentido de buzamiento del yacimiento, con lo que se pueden alcanzar las profundidades que se deseen.

Es conveniente abrir bancos amplios, y llevar avanzada la preparación, de forma que se pueda trabajar simultáneamente en varios bancos a la vez, para así tener cierto grado de flexibilidad en la producción y su calidad.

CONCLUSIONES

El afloramiento de granito rosa estudiado, tiene unas dimensiones pequeñas, ocupando una superficie de alrededor de 4.300 m², con una forma alargada en dirección E-O. Petrológicamente se clasifica como Episenita de color rosado, y su interés radica en su utilización como piedra para restaurar monumentos, y completar conjuntos históricos.

El análisis polar y estereográfico de discontinuidades revela la existencia de cinco familias de juntas, tres sistemáticas y dos ocasionales, muy común en este tipo de rocas según BALK (1937). La calidad del macizo, a partir de la clasificación geomecánica de BARTON es buena.

La evolución del yacimiento en profundidad se estudia a través de dos sondeos de testigo continuo, que indican una configuración paralela a la dirección y sentido de intrusión de los fluidos básicos que han originado la episenita, y que coincide con los de una de las familias de juntas ocasionales. La estructura del macizo se mantiene en profundidad.

El volumen de granito investigado es de 120.000 m³. Para calcular el volumen útil de yacimiento para un tamaño mínimo de bloque de más de 1 m³, aplicamos las teorías de CASTAING et al (1977), a partir del histograma de frecuencias de los espaciamientos de las familias de juntas sistemáticas, utilizando un programa que desarrollamos sobre la hoja de cálculo EXCEL

4.0, y que da como resultado un volumen útil del 51.67 %.

A este valor le aplicamos los coeficientes reductores por esterilidades e irregularidades del macizo, obteniendo un rendimiento máximo estimado del 33 %.

El laboreo del yacimiento debe hacerse por bancos amplios orientados según la familia de juntas J1, y empleando métodos mecánicos de corte para el arranque de bloques.

BIBLIOGRAFIA

- BALK, R., (1937). «Structural behavior of igneous rocks», *Geol. Soc. Amer.*, Memoria 5, 171 pp.
- BARTON, N. R.; CHOUBEY, V., (1977). «The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practique», *Rock Mech.* 10, pp. 1-54.
- CASTAING, C.; RABU, D., (1977). «Méthodologie de la recherche des granites exploitables en Bretagne», *Rapport Bur. Rech. Geol. Min.*, 214 pp.
- CASTAING, C.; RABU, D., (1980). «Apports de la géologie à la recherche et à l'exploitation de pierres de taille (roches ornamentales et de construction)», *Bull. Bur. Rech. Geol. Min.*, 2ª serie, Section III, n° 1, pp. 81-97.
- MUÑOZ, P.; ROMERO, J. A.; RODRIGUEZ, J. I.; GARCÍA, E.; CRESPO, A.; CARRIÓN, F.; GARBAYO, M. P. (1989). «Metodología de investigación de rocas ornamentales: Granitos», *Bol. Geol. Min.*, vol. 100-3, pp. 433-453.
- AYALA, F. J.; ANDREU, F. J.; FE, M.; FERRER, M.; DE SIMON, A.; FERNANDEZ, I.; OLALLA, C.; GÓMEZ, J.; SAMPEDRO, J.; CIENFUEGOS, F. J., (1987). «Manual de Taludes», I.T.G.E., Serie: Geotécnia. Madrid. pp. 69-114.

Recibido: 22-I-94

Aceptado: 10-X-94