

Caracterización geomecánica de las rocas ornamentales del yacimiento Bottichino I, provincia de Granma

Geomechanical characterization of the ornamental rock in the Bottichino I deposit, Granma province

Maday Cartaya-Pire¹, Lázaro Ruiz-Batistapau², José Otaño-Nogel¹

¹Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba. mcartaya@ismm.edu.cu

²Empresa de Mármoles Cubanos, La Habana, Cuba. lazaro@marmoles.geicon.cu

Resumen

El objetivo del trabajo fue caracterizar, desde el punto de vista geomecánico, las calizas marmóreas del yacimiento Bottichino I para actualizar los parámetros del sistema de explotación. Se determinaron los parámetros de la clasificación geomecánica de Bieniawski (1989) así como las características del agrietamiento, obtenidas del levantamiento geológico de campo y procesadas con el software DIP V.5. Posteriormente se modeló la actualización topográfica del yacimiento y se realizó la representación espacial de los principales sistemas de grietas en los tres frentes de explotación, usando el software GEMCOM 6.5. Como resultado se obtuvo la representación espacial en 3D de los bloques de calizas marmóreas y las direcciones principales de las grietas, identificando tres familias de grietas predominantes, con tamaños de bloques naturales de medio a grande; el macizo rocoso clasificó como de buena calidad. Con los parámetros geomecánicos determinados se definen las direcciones de avance de los frentes de explotación y mejora la recuperación de los monolitos al tener un mayor grado de conocimiento de la estructura del macizo.

Palabras clave: caracterización geomecánica; calizas marmóreas; rocas ornamentales; yacimiento Bottichino I.

Abstract

The purpose of this study is to characterize the marmored limestone of Bottichino I deposit from the geomechanical point of view in order to update the parameters of the exploitation system. The parameters of the geomechanical classification of Bieniawski (1979) were determined as well as the cracking characteristics, obtained from the geological field survey and processed with the DIP V.5 software. Subsequently, the topographic updating of the deposit was modeled and the spatial representation of the main cracking systems in the three exploitation fronts was made, using the GEMCOM 6.5 software. As a result, the 3D spatial representation of marmored limestone blocks and the main directions of the cracks was obtained, identifying 3 families of predominant cracks, with natural block sizes from medium to large; the rock mass classified as good quality. Advancing directions of the mining front were defined by the determined geomechanical parameters and the recovery of monoliths was also bettered up when having a greater knowledge of the solid structure.

Keywords: geomechanical characterization; marmored limestone; ornamental rocks; Bottichino I.

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de piedra natural en el mundo está muy extendida en la actualidad, llegando a una producción máxima de treinta millones de toneladas por unas 50 000 empresas, la mayoría de pequeño y mediano tamaño. Casi la mitad de la producción mundial se extrae en cuatro países europeos: Italia, España, Grecia y Portugal. La mayor utilidad de la piedra natural es como materiales nobles, elementos ornamentales y escultóricos (López-Jimeno 2012), usos para los cuales la roca debe conservar íntegramente su composición, textura, características físico-mecánicas y discontinuidades (Benavente 2003).

En Cuba la extracción de rocas ornamentales inicia desde mediados del pasado siglo, principalmente como pequeñas extracciones en las zonas de Sigua y la Sierra de la Gran Piedra, en la zona oriental. La actividad industrial actual de la extracción de rocas ornamentales en el país es dirigida por la Empresa de Mármoles Cubanos, con 14 concesiones de explotación en tres regiones del país: occidente (Artemisa y Pinar del Río), centro (Sancti Spiritus, Villa Clara y Cienfuegos) y oriente (Granma).

En el yacimiento de rocas ornamentales Bottichino I de la provincia de Granma (Empresa de Mármoles Cubanos 2013) se extraen calizas

marmóreas, sin embargo, los parámetros estructurales que definen el tamaño y orientación de los bloques de piedra natural han sido poco estudiados, lo que conduce a la obtención de bajos rendimientos de la masa minera extraída. Para conocer los parámetros geomecánicos de Bottichino I, determinar las direcciones de avance de los frentes de explotación, el volumen de los bloques naturales de rocas y su dirección se acomete este estudio.

El yacimiento Bottichino I se localiza a una distancia aproximada de 3 km al noreste del poblado de Charco Redondo (Figura 1), localidad que pertenece al municipio Jiguaní, en la provincia de Granma; localizada en la plancheta 4976 IV "Baire", escala 1:50 000 con coordenadas Lambert X=543 700-543 950; Y=179 800-180 100 (Empresa de Mármoles Cubanos 2013).

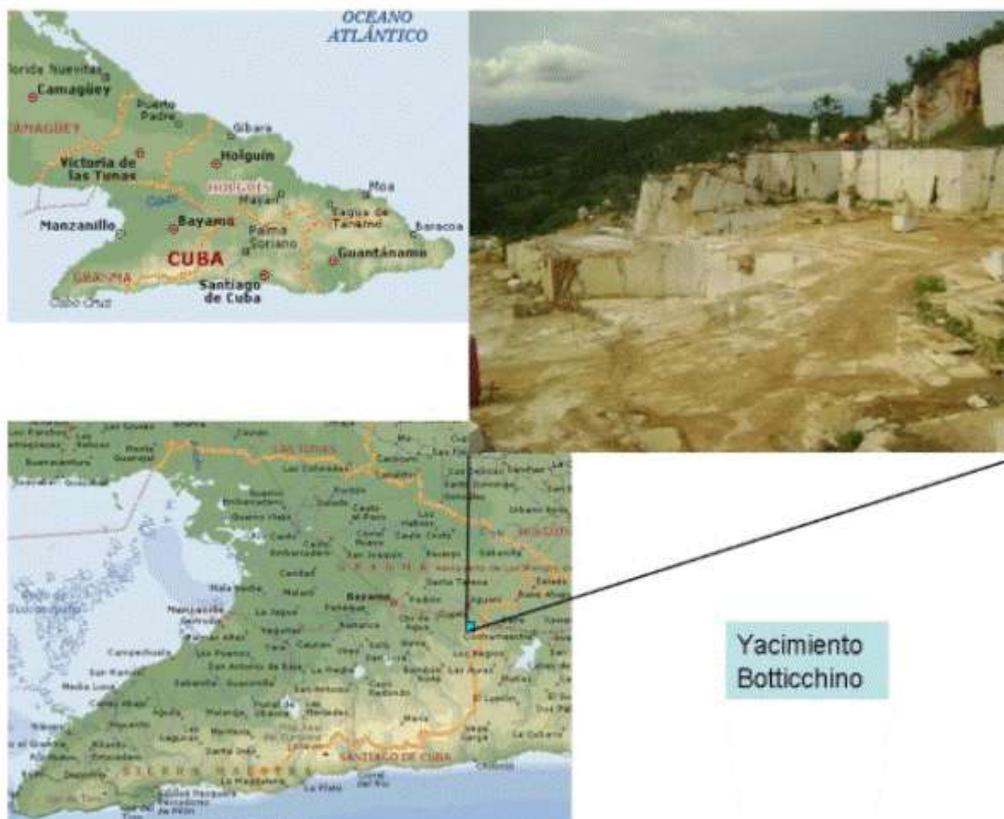


Figura 1. Situación geográfica del yacimiento Bottichino I.

1.1. Geología y mineralización del yacimiento en el área de la concesión de explotación

La geología del yacimiento Bottichino I está representada por paquetes de calizas débilmente recristalizadas color crema, las que pertenecen a la formación Charco Redondo, en forma de capas potentes; cuyas capas están separadas por planos de agrietamientos de poco espesor. Las grietas

pueden estar rellenas de material laterítico o, en general, son grietas abiertas. El paquete de calizas puede tener potencias de más de 40 m, las que forman un monoclinial de buzamiento suave, entre 10 y 15 grados con azimut de buzamiento SE. Entre las capas de calizas se observan zonas de fuerte desarrollo de los procesos cársicos, los que afectan la calidad de los bloques que se extraen. Dan complejidad al yacimiento, por lo que es necesario que en rocas ornamentales, para la formación Charco Redondo, las redes de exploración sean por debajo de 25x25m (Empresa de Mármoles Cubanos 2013).

Las rocas encajantes del yacimiento lo constituyen los depósitos vulcanógeno-sedimentarios del grupo el cobre, las cuales no se cortaron en los pozos. El yacimiento se ubica en la zona de enlace del anticlinar Sierra Maestra, compuesto principalmente por formaciones vulcanógenas de edad Paleoceno medio-Eoceno. En este se evidencian rocas carbonatadas y formaciones cuaternarias friables, así como intrusivas, representadas por cuerpos sub-volcánicos de porfiritas andesitas, dioritas que en algunas partes cortan las formaciones vulcanógenas del paleoceno que están cubiertas con rocas carbonatadas del Eoceno. Las calizas del yacimiento se ubican en la formación Charco Redondo de edad Eoceno medio (Pg₂²).

La variedad Crema Valle es una caliza biomicrítica, color crema o blanco, masiva con magníficas cualidades ornamentales. Aunque la variedad Crema Valle es la predominante aparece una variedad color rosado crema, de estratos de potencia de hasta 2 m, con un fuerte agrietamiento, y generalmente rellenas de minerales arcillosos de coloración rosado o verde (Adamovich y Chejovich 1963; Empresa de Mármoles Cubanos 2013).

1.2. Sistema de explotación del yacimiento

La explotación del yacimiento se realiza por banco de 3 m de altura, en dirección norte. La dirección actual que se emplea para los cortes de extracción de los monolitos de caliza marmolizada conduce a que se obtenga un volumen excesivo de rocas que no responde a los requisitos técnicos establecidos, lo que eleva los costos de producción, por ello es necesaria la caracterización geomecánica del macizo, para definir las direcciones del agrietamiento y el tamaño y volumen real de los bloques naturales de rocas, con el fin de actualizar los parámetros del sistema de explotación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la caracterización geomecánica del macizo rocoso se aplicó la clasificación geomecánica de Bieniawski (1989), la que ha sido utilizada

por varios investigadores (González de Vallejo 1998; González de Vallejo *et al.* 2002 y Cartaya-Pire 2006). Esta clasificación evalúa diferentes parámetros del agrietamiento, el RQD (*Rock Quality Designaton* de Deere de 1964) según López-Jimeno (1998) y Blanco, Cartaya y Watson (2000).

Se aplicó la toma de muestra puntual en 72 pozos de perforación en los tres horizontes de explotación (Figura 2). Para el análisis del agrietamiento se empleó el software DIP V.5, el cual permitió determinar las direcciones de los principales sistemas de grietas y las cuñas que se forman en el macizo rocoso. La representación espacial del agrietamiento para los tres frentes en explotación se obtuvo con el software GEMCOM 6.5.

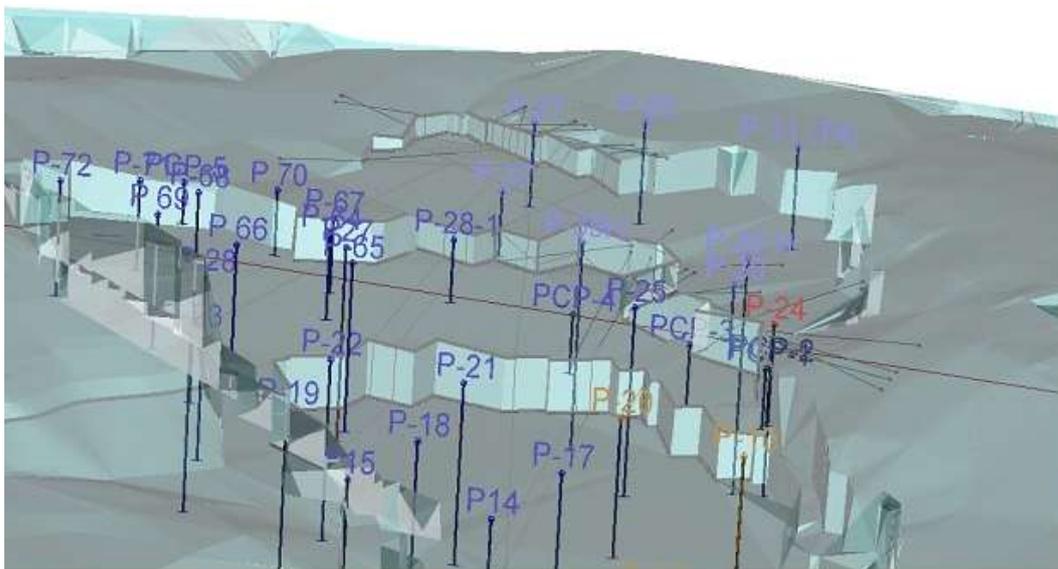


Figura 2. Ubicación de los pozos de perforación en los tres frentes (horizontes de explotación)

2.1. Procedimiento para la determinación del tamaño y volumen de bloque natural

Se realizó mediante el parámetro J_v , que representa el número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen (1 m^3) del macizo rocoso (Palmstrom 1995, 2005). Ante la dificultad de observar tridimensionalmente el afloramiento, el valor de J_v se determinó contando las discontinuidades de cada familia que interceptan una longitud determinada, midiendo perpendicularmente a la dirección de cada una de las familias; para ello se utilizó la siguiente expresión:

$$J_v = \frac{\sum n^{\circ} \text{de discontinuidades}}{\text{longitud medida}} \quad (1)$$

$$V_b = \beta \times J_v^{-3} \times \frac{1}{\text{sen}\gamma_1 \times \text{sen}\gamma_2 \times \text{sen}\gamma_3} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{(\alpha_2 + (\alpha_2 \times \alpha_3) + \alpha_3)^3}{(\alpha_2 \times \alpha_3)^3} \quad (3)$$

Donde:

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ - ángulos entre las familias de grietas, grados

V_b - volumen de los bloques naturales, m^3

β - parámetro que depende de S_1, S_2, S_3 -Espaciamiento promedio entre grietas de cada sistema, m.

$$\alpha_2 = \frac{S_2}{S_1} \quad (4)$$

$$\alpha_3 = \frac{S_3}{S_1} \quad (5)$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Procesamiento y análisis del agrietamiento en los tres frentes de explotación

La fracturación del yacimiento es uno de los factores de mayor peso en la explotación del mismo. Para el estudio del agrietamiento se realizó el levantamiento geológico de los frentes en explotación con un itinerario geológico, tomando mediciones de las grietas principales, en correspondencia con los puntos de los pozos de perforación.

Se obtuvo que las grietas se clasifican por orden de aparición: en grietas de tipo III estilolíticas, las que se presentan rellenas por óxidos e hidróxidos de Mn o Fe, con alta frecuencia por calcitas microcristalinas; grietas de tipo I, rellenas de minerales de tacto jabonoso y coloraciones verde claro, posibles minerales del grupo de la clorita, o minerales arcillosos lateríticos calcificados, en ocasiones son grietas vacías; las grietas de tipo II son provocadas por el instrumento de perforación, las cuales no afectan la extracción de bloques.

Existen unas grietas llamadas grietas de estratificación, que se localizan cercanas a los planos entre los estratos, con pocos centímetros de espesor, grietas cerradas o grietas abiertas; tienen gran desarrollo en la porción oriental del yacimiento, con relleno de calcita, en muchas ocasiones son grietas vacías (Figura 3).



Figura 3. Grietas de estratificación.

Del procesamiento de los elementos de yacencia del agrietamiento con el software DIP V 5.0 se obtuvieron los diagramas de concentraciones de grietas y las direcciones predominantes de las mismas en el yacimiento (Figura 4), donde se puede confirmar la presencia de tres sistemas de grietas principales.

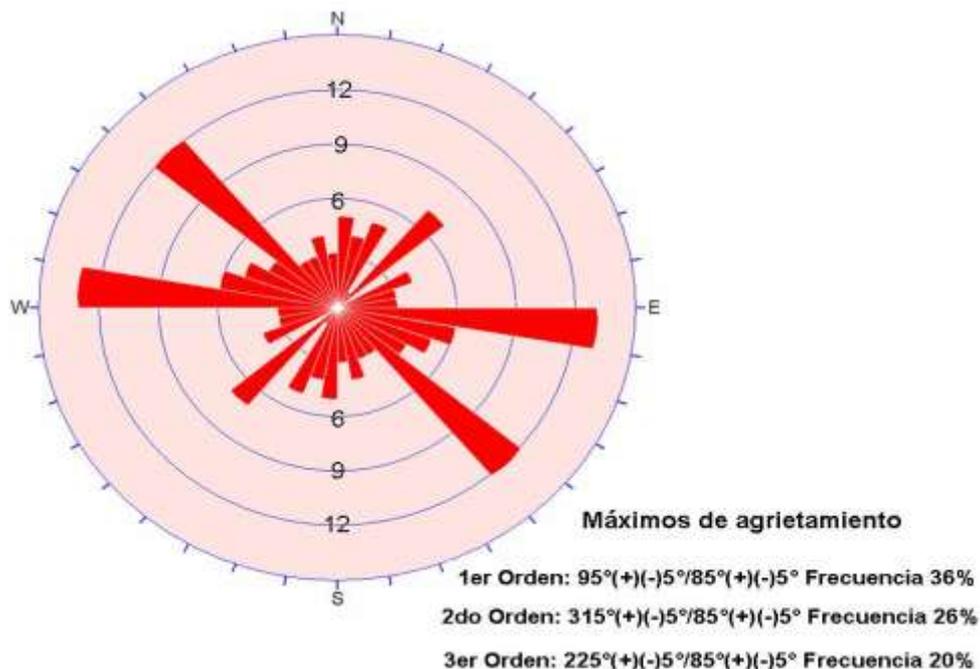


Figura 4. Diagrama de rosetta del agrietamiento en el yacimiento.

La base de datos obtenida del agrietamiento modelado con el GEMCOM 6.5 permitió tener una visión espacial de agrietamiento en los tres frente de

explotación, necesario para el proceso de extracción de los bloques de caliza marmolizada, al poder obtener una vista en 3D de los monolitos o bloques naturales (Figura 5), lo que contribuye a mejorar la recuperación del bloque.

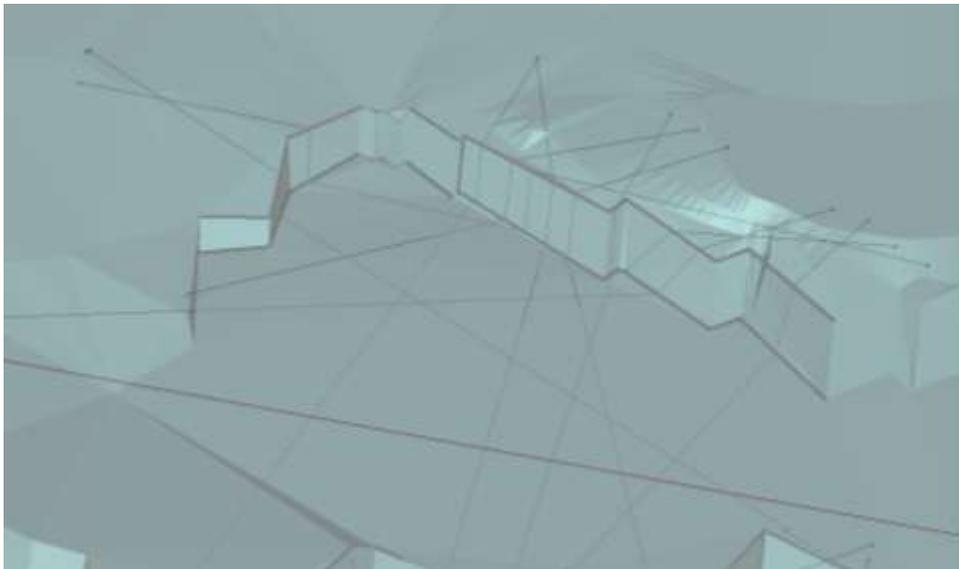


Figura 5. Representación espacial del agrietamiento en el frente I.

El grado de fracturación del macizo se expresa habitualmente por el valor del índice RQD, a pesar de su utilidad (Dos-Santos y Guardado-Lacaba 2012; Miranda-Castro y Niño-Florez 2016; Jordá-Bordehore *et al.* 2017) este índice no considera aspectos como la orientación, separación, relleno y demás condiciones de las grietas, por lo que no es suficiente para describir la calidad y grado de fracturación de los macizos rocosos según la *International Society for Rock Mechanics*, (ISRM 1981). Los resultados (Tabla 1) muestran que en los tres frentes estudiados la calidad de roca es buena.

Tabla 1. Calidad del macizo rocoso según el RQD

Frentes de explotación	J_v	RQD %	Calidad de la roca
I	9,8003	83	Buena
II	7,0632	92	Buena
III	8,5188	87	Buena

3.2. Clasificación geomecánica del macizo rocoso por la metodología de Bieniawski (1989)

El parámetro que define la clasificación es el denominado índice RMR (*Rock Mass Rating*), que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros, definidos para cada frente:

Frente I

- RQD: 83 %
- Resistencia a compresión simple: 600 Mpa
- Separación de las discontinuidades: 2,6 m
- Aberturas de las discontinuidades: 30 cm
- Continuidad o persistencia de las discontinuidades: 3-10 m
- Rugosidad de las discontinuidades: Ligeramente rugosa
- Relleno de las discontinuidades: Duro >5 mm
- Alteración de las discontinuidades: Ligeramente alterada
- Obtención del parámetro de la presencia del agua: Seco
- Efecto relativo con relación al eje de la obra: Paralelo al frente de la obra, 45-90°.

Frente II

- RQD: 92 %
- Resistencia a compresión simple: 600 Mpa
- Separación de las discontinuidades: 0,9 m
- Aberturas de las discontinuidades: 29,4 cm
- Continuidad o persistencia de las discontinuidades: <1 m
- Rugosidad de las discontinuidades: Ligeramente rugosa
- Relleno de las discontinuidades: Duro >5 mm
- Alteración de las discontinuidades: Ligeramente alterada
- Obtención del parámetro de la presencia del agua: Seco
- Efecto relativo con relación al eje de la obra: Paralelo al frente de la obra, 45-90°.

Frente III

- RQD: 87 %
- Resistencia a compresión simple: 600 Mpa

- Separación de las discontinuidades: 3,6 m
- Aberturas de las discontinuidades: 30,4 cm
- Continuidad o persistencia de las discontinuidades: 3-10 m
- Rugosidad de las discontinuidades: Ligeramente rugosa
- Relleno de las discontinuidades: Duro >5 mm
- Alteración de las discontinuidades: Ligeramente alterada
- Obtención del parámetro de la presencia del agua: Seco
- Efecto relativo con relación al eje de la obra: Paralelo al frente de la obra, 45-90°.

Considerando los parámetros que se integran en la clasificación geomecánica de Bieniawski y calculado el RMR, según los valores asignados en relación con las características del agrietamiento descritas para cada frente, se obtiene una calidad del macizo de buena, que corrobora el RQD obtenido y el estado real del levantamiento geológico (Tabla 2).

Tabla 2. Valores del RMR de Bieniawski para los tres frente de explotación

Frentes	Valor según							Ajuste	RMR	Clase	Clasificación
	RQD (%)	σ_c	RQD	Espacio entre fracturas	Cond. de las fracturas	agua subterránea	Efecto de la orientación de las fracturas				
I	83	12	17	20	14	15		-12	66	II	Buena
II	92	12	20	15	16	15	Muy	-12	78	II	Buena
III	87	12	17	20	12	15	Desfavorable	-12	64	II	Buena
IV	87	12	17	20	12	15		-12	66	II	Buena

3.3. Volumen del bloque natural de caliza marmolizada

Los volúmenes de bloques que se pueden obtener en los frentes de extracción de la cantera de caliza marmolizada Bottichino I es un factor esencial en la rentabilidad de las operaciones, siendo importante caracterizarlos convenientemente antes del corte industrial. La representación espacial de los bloques obtenidos en la Figura 5 muestra un mapa de familias de fracturas presentes en el volumen a calcular, indicando las respectivas direcciones e inclinaciones, así como el espaciamiento entre las fracturas de cada familia.

Según Dinis da Gama y Bastos (1994), otro método del análisis de la blocosidad supone la aplicación de softwares, cuya estructuración se base en la cuantificación de los volúmenes y tamaños de los bloques formados por las múltiples intersecciones de fracturas, representándolas en forma de curva granulométrica, siendo posible incorporar al método los planos de corte artificiales impuestos por el método de extracción.

En el estudio presentado para el yacimiento Bottichino I se calcula el volumen del bloque natural V_b según Palmstrom (1995). El análisis del tamaño y los volúmenes de bloques determinados (Tabla 3) indica que los bloques naturales de rocas que se formarán durante el proceso de extracción, producto de la intercepción entre los sistemas de agrietas presentes en los frentes, tendrán un volumen y tamaño adecuado para su explotación, catalogados de mediano a grande según la clasificación de Palmstrom (1995). Acorde con las dimensiones máximas admisibles por la tecnología instalada en la planta de procesamiento de 2,80x1,80x1,50 m y su uso como roca ornamental, lo que justifica la explotación del yacimiento.

Tabla 3. Resultados obtenidos volumen de bloque

Frentes	Tipo de Roca	J_v	J_v^{-3}	$S_{1(m)}$	S_2	S_3	$\alpha_2=S_2/S_1$	$\alpha_3=S_2/S_3$	β	V_b
I	Caliza	9,8003	0,00106	2,96	1,95	3,00	0,659	0,650	66,746	0,038
II	Caliza	7,0632	0,00283	2,69						
III	Caliza	8,5188	0,00161	3,79	3,28	3,75	0,865	0,875	35,897	0,069
IV	Caliza	3,2580	0,02891	6,25	5,04	3,00	0,806	1,680	22,793	0,569

4. CONCLUSIONES

- La clasificación geomecánica permitió definir que en el yacimiento Bottichino I los bloques tienen un tamaño de medio a grande, según la clasificación de Palmstrom, y que la calidad del macizo es buena según la clasificación geomecánica de Bieniawski.
- La representación en 3D de los tres frentes de explotación, con la dirección y tamaño de los bloques naturales de caliza marmolizada, permitió definir las direcciones de avance de los frentes de explotación, elevar el grado de conocimiento de la estructura del macizo y mejorar la recuperación de los monolitos de rocas.

5. REFERENCIAS

- Adamovich, A. y Chejovich, V. 1963: Principales características de la geología y los minerales útiles de la región norte de la provincia Oriente. *Revista tecnológica*, 2(1): 4-20.

- Benavente, D. 2006: Propiedades físicas y utilización de rocas ornamentales. En: Utilización de rocas y minerales industriales. Universidad de Alicante, p. 123-154.
- Bieniawski, Z. T. 1989: *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons. ISBN 0-471-60172-1.
- Blanco, R.; Cartaya, M. y Watson, R. 2000: Criterios para estimar la resistencia en macizos rocosos de la zona oriental del país. *Minería y Geología*, 17(2): 35-39: ISSN 0258 5979.
- Cartaya-Pire, M. 2006: Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país (resumen de tesis doctoral). *Minería y Geología*, 22(3): 56 p. ISSN 0258 5979.
- Dinis da Gama, C. y Bastos, M. 1994: Análisis volumétrico de macizos rocosos fracturados para optimizar la extracción de rocas y minerales. *Ingeopress*, 16, 27-31.
- Dos-Santos, D. M. y Guardado-Lacaba, R. 2012: Evaluación de las propiedades geotécnicas de las rocas y suelos en el complejo minero kimberlítico de Catoca (Angola). *Minería y Geología*, 28(3): 1-17. ISSN 1993 801.
- González de Vallejo, L. 1998: Las clasificaciones geomecánicas para túneles. *Ingeotúneles* 1: 25-68. Madrid: Entorno Gráfico.
- González de Vallejo, L. I.; Ferrer, M.; Ortuño, L. y Oteo, C. 2002: *Ingeniería geológica*. Madrid: Pearson Education. ISBN 84-205-3104-9.
- Empresa de Mámoles Cubanos. 2013: Informe de exploración yacimiento caliza marmórea Bottichino I. La Habana, Cuba.
- International Society for Rock Mechanics (ISRM). 1981: *Rock Characterization Testing and Monitoring*. Oxford: Pergamon Press. 211 p.
- Jordá-Bordehore, L.; Jordá-Bordehore, R.; Durán-Valsero, J. J. y Romero-Crespo, P. L. 2017: Evaluación de la estabilidad de las labores y pilar corona en las minas abandonadas de S'Argenera (Ibiza, España) combinando clasificaciones geomecánicas, métodos empíricos y análisis numérico, enfocado a su posible aprovechamiento turístico. *Boletín geológico y minero*, 128(1): 3-24. ISSN 0366-0176.
- López-Jimeno, C. 1998: *Manual de ingeniería de túneles*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- López-Jimeno, C. 2012: *Manual de rocas ornamentales: prospección, explotación, elaboración y colocación*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. ISBN: 8496140113.
- Miranda-Castro, G. A y Niño-Florez, C. M. 2016: *Evaluación geológica, caracterización geomecánica y cálculo de recurso de roca caliza para el*

Contrato de Concesión Minera OG2-100 11 en la vereda Las Monjas del municipio de Firavitoba. Trabajo de pregrado. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Disponible en:
<http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/1683>.

Palmstrom, A. 1995: *RMI –a rock mass characterization system for rock engineering purposes*. PhD thesis. University of Oslo. 405 p.

Palmstrom, A. 2005: Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20(4): 362-377.

Recibido: 23/04/18

Aceptado: 04/05/18

Maday Cartaya-Pire, Doctora en Ciencias Técnicas. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba mcartaya@ismm.edu.cu