

Evaluación geomecánica del macizo rocoso en frentes de explotación del yacimiento polimetálico Castellanos

Rock mass geomechanical assessment on exploitation areas of Castellanos polymetallic deposit

Helder Vemba Mucuta-Lito^{1*}, Maday Cartaya-Pire¹, Julio Cuni-Calzada²

¹Universidad de Moa, Holguín, Cuba

²Empresa EMINCAR, Pinar del Río, Cuba

*Autor para la correspondencia: hmlito@ismm.edu.cu

Resumen

El objetivo fue evaluar, a partir del análisis de tres frentes de explotación, la calidad geomecánica del macizo rocoso del yacimiento polimetálico Castellano, provincia de Pinar del Río. En la evaluación del agrietamiento se empleó el software DIP V.6.0, para determinar las direcciones de los principales sistemas de grietas. Con auxilio del GEMCOM v 6.5 se obtuvo el modelo 3D de cada frente. La calidad del macizo se estableció a partir de los índices RQD y RMR de la metodología de Bieniawski. Como resultado se identificaron tres familias de grietas predominantes y tamaños de bloques naturales de tamaño pequeño a medio con formas cúbicas, alargadas y tabulares; el macizo rocoso se clasificó en general como de calidad media. La existencia de rocas pizarra, por sus características, disminuyen la calidad geomecánica del macizo.

Palabras clave: evaluación geomecánica; polimetálicos; yacimiento Castellanos; minería a cielo abierto.

Abstract

The purpose of this study was to assess the geomechanical quality of the rock mass from Castellano polymetallic deposit in Pinar del Río province from the analysis of three mining fronts. DIP software V.6.0 was used when checking the jointing for determining the routes of main crack systems. 3D model of each front was obtained by using GEMCOM v 6.5. The quality of the solid was

established based on RQD and RMR indices from Bieniawski methodology. As a result, three families of predominant cracks and natural blocks of small sizes to medium with cubic, elongated and tabular shapes were identified, rock mass was generally classified as medium quality. The existence of slate rocks diminishes the geomechanical quality of the solid due to their characteristics.

Keywords: geomechanical assessment; polymetallic; Castellanos deposit; opencast mining.

1. INTRODUCCIÓN

La minería a cielo abierto en Cuba se concentra fundamentalmente en el oriente del país, donde se explotan yacimientos lateríticos para extraer níquel y cobalto. Con el aumento de los precios de los metales en los últimos años se han iniciado nuevos proyectos mineros en el occidente de la isla para la explotación de polimetálicos. Uno de estos proyectos se desarrolla en el yacimiento Castellanos de la provincia de Pinar del Río.

Castellanos es una explotación minera de reciente apertura, gerenciada por la Empresa Minera del Caribe (EMINCAR por sus siglas) en colaboración con una inversión extranjera. El referido yacimiento se encuentra situado en el noroeste de la provincia de Pinar del Río, a unos 3,5 km al suroeste del puerto de Santa Lucía. Administrativamente, pertenece al municipio de Minas de Matahambre. Las coordenadas geográficas Lambert del centro del área son: X: 194 000; Y: 314 000 del sistema Cuba Norte (Figura 1).

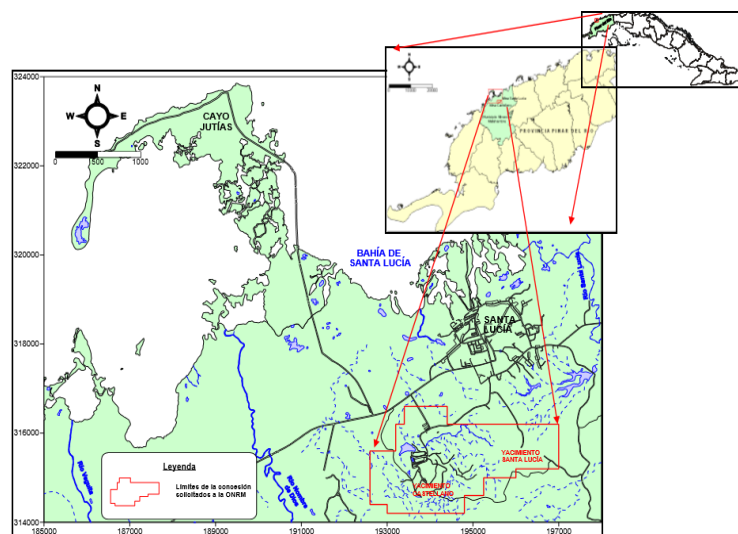


Figura 1. Ubicación geográfica del yacimiento polimetálico Castellanos Fuente: Cuni-Calzada (2015).

Desde el punto de vista geológico, Castellanos se ubica dentro de las unidades tectónicas de las Alturas Pizarrosas del Norte, en la zona estructuro-facial Guaniguanico. Afloran predominantemente las rocas de la parte meridional de la subzona estructuro-facial Sierra del Rosario, y existe un marcado predominio en el corte de las formaciones terrígenas del Jurásico inferior al Cretácico inferior (Díaz-Carmona y Estrada-Núñez 2011).

El cuerpo mineralizado suele estar compuesto de una simple unidad o de tres unidades controladas estratigráficamente, una encima de otra, separadas por rocas encajantes formadas por pizarras negras carbonosas, caliza y dolomita (EMINCAR 2017).

La explotación del yacimiento se realiza por bancos de 6 m de altura, utilizando el método convencional que emplea palas y camiones. La fragmentación de la roca se hace mediante operaciones de perforación y voladura.

Algunos problemas de deslizamiento que han tenido lugar en ciertos sectores de la mina atentan contra la realización rentable y segura de los trabajos de explotación. A fin de actualizar los parámetros del sistema de explotación, tomando como base las tasas de producción objetivo, la geometría del depósito y las prácticas operativas, se acometió la caracterización geomecánica del macizo rocoso para definir las direcciones del agrietamiento, el tamaño y volumen real de los bloques naturales de rocas, y establecer finalmente la calidad del macizo. Este trabajo reporta el resultado de tal caracterización.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Evaluación del agrietamiento

Se evaluó el agrietamiento a partir del levantamiento geológico de los frentes en explotación con un itinerario geológico, tomando mediciones de las grietas principales. Se midieron el acimut, el buzamiento, la abertura, el espaciamiento entre grietas y el tipo de relleno, la alteración de paredes entre grietas, la persistencia y la presencia de agua en las grietas. Con auxilio del software GEMCOM ver. 6.5 se realizó la modelación en 3D a partir de las coordenadas obtenidas en los frentes.

Los elementos de yacencia en el campo se midieron en los tres frentes de yacimiento (Figura 2). Para el análisis del agrietamiento se empleó el software DIP V.6.0, el cual permitió determinar las direcciones de los principales sistemas de grietas, las cuñas que se forman en el macizo rocoso y los diagramas de los planos principales de grietas.

2.2. Evaluación de la bloquicidad

El método de Palmstrom (Palmstrom 1982, 1998; Cartaya–Pires 2006) se empleó para valorar la bloquicidad del macizo rocoso, y con el programa Excel 2010 se calculó el volumen del bloque (V_b).

Se determinó la forma de los bloques en cada litología a partir de la distancia entre las grietas. Para ello se tomó el espacio entre las grietas más pequeño (S_1), el espacio más grande (S_3) y se calculó el espacio medio (S_2). Se estableció asimismo el valor de α_2 y α_3 con que se definen la forma de los bloques.

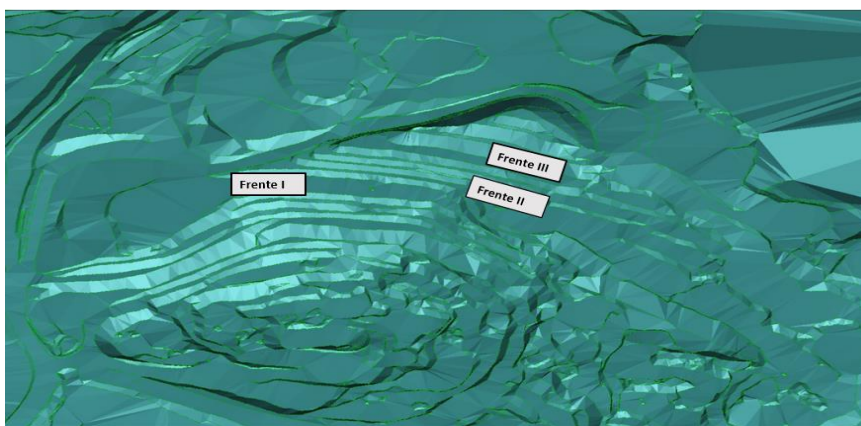


Figura 2. Ubicación de los tres frentes de mediciones (EMINCAR 2017).

2.3. Procedimiento

La determinación del tamaño y volumen de bloque se realizó a partir del 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 utilizaron las expresiones (1), (2) y (3):

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

$$\beta = \frac{(\alpha_2 + (\alpha_2 * \alpha_3) + \alpha_3)^3}{(\alpha_2 * \alpha_3)^3} \quad (2)$$

$$J_v = \sum \frac{n^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{\text{longitud de medida}} \quad (3)$$

Donde:

V_b - volumen de los bloques naturales, m^3

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – Ángulos entre familias de grietas, en grados

β – parámetro que depende del espaciamiento medio entre grietas, donde:

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

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

S_1, S_2, S_3 – Espaciamiento medio entre grietas de cada familia, m.

2.4. Determinación del RQD

Se calculó en función del número de fisuras por metro cúbico, determinadas al realizar el levantamiento. Se utilizó como un parámetro necesario para ayudar a clasificar los métodos propuestos. Comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro cúbico al realizar el levantamiento litológico-estructural de las paredes de la mina, este se usa para voladura.

2.5. Determinación del RMR

El índice RMR (*Rock Mass Rating*) de Bieniawski (1989) permite conocer la situación de estabilidad de un macizo rocoso. Se utilizó por ser el método de elección en minería a cielo abierto, por su sencillez y economía y por ser el que más se adapta a la realidad del yacimiento. En el caso particular de Castellanos el índice RMR se determinó para cada dominio estructural, definido por los frentes de explotación, a partir de los siguientes parámetros: RQD; resistencia a la compresión simple; separación, abertura, persistencia, rugosidad, relleno y alteración de las discontinuidades; presencia de agua y efecto relativo con relación al eje de la obra.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Agrietamiento

Se agrupó en dos tipos según características de las discontinuidades estructurales:

- las de tipo geométrico que determinan el tamaño, la forma y la posición espacial de fragmentos o bloques de roca, los cuales tienen que ver con la orientación y espaciamiento de las discontinuidades;
- las que determinan la resistencia a lo largo de las discontinuidades en el caso de los macizos de roca dura, que tiene que ver con la persistencia de las discontinuidades (Figura 3), las aberturas (Figura 4), rellenos de las discontinuidades (Figura 5) y la resistencia de la pared.



Figura 3. Discontinuidad del agrietamiento del yacimiento.



Figura 4. Discontinuidad del agrietamiento del yacimiento.

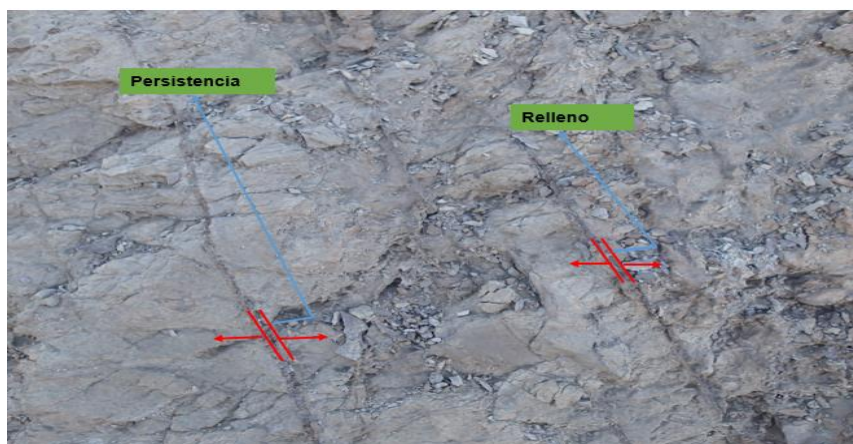


Figura 5. Discontinuidad del agrietamiento del yacimiento.

La Figura 6 grafica las direcciones de los principales sistemas de grietas, las cuñas que se forman en el macizo rocoso y los diagramas de los planos principales de grietas.

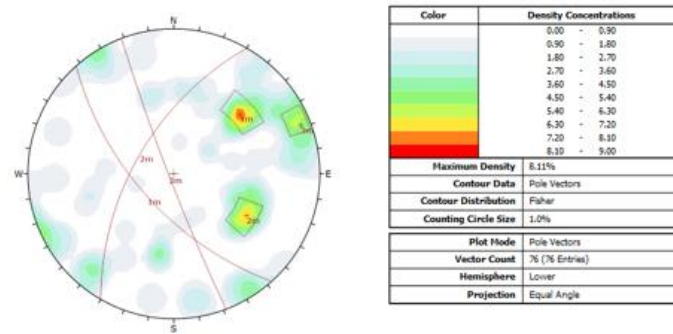


Figura 6. Principales planos de agrietamiento del yacimiento.

La base de datos obtenida del agrietamiento modelado con el GEMCOM 6.5 permitió tener una visión espacial de agrietamiento en los tres frentes de explotación. Esto resulta necesario para el proceso de extracción de los bloques de roca en el frente I, al poder obtener una vista en 3D de los bloques naturales (Figura 7), lo que contribuye a mejorar la recuperación del bloque de roca.

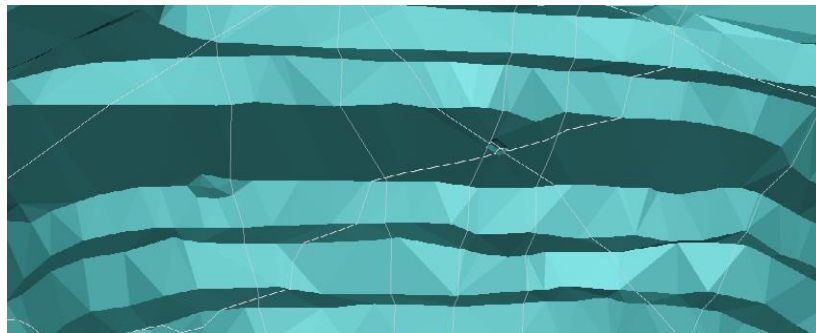


Figura 7. Representación espacial del agrietamiento en el frente I.

Los resultados que aparecen en la Tabla 1 muestran que la calidad de roca es media en dos de los frentes, donde las rocas son areniscas y rocas brechosas; en el frente I la roca predominante es la pizarra, lo que explica que se haya obtenido una calidad mala, por lo que se requiere utilizar medida de estabilización en el frente.

Tabla 1. Calidad del macizo rocoso según el RQD

Frente	Tipo de roca	J_v	RQD en %	Calidad de la roca
I	Pizarra	20,75	41	Mala
II	Arenisca	16,55	61	Media
III	Rocas brechosa	16,55	61	Media

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).

La Tabla 2 recoge los valores de los parámetros que se utilizaron para determinar el índice RMR en cada frente bajo estudio.

Tabla 2. Parámetros de cálculo del RMR para el yacimiento Castellanos

Parámetros	Frente I	Frente II	Frente III
RQD	47	61	60
Resistencia a compresión simple (MPa)	30	61	60
Separación de las discontinuidades (m)	0,35	0,36	0,40
Abertura de las discontinuidades (cm)	0,25	0,27	0,30
Continuidad o persistencia de las discontinuidades (m)	3,0	4,0	3,0
Rugosidad de las discontinuidades	Ondulada rugosa	Plana rugosa	Ondulada rugosa
Relleno de las discontinuidades	Arcilla, cuarcita, pirita y sulfuro	Cuarcita	cuarcita, pirita
Alteración de las discontinuidades	Ligeramente alterada	Ligeramente alterada	Ligeramente alterada
Presencia del agua	Ligeramente húmedo	Seco	Seco
Efecto relativo con relación al eje de la obra	Paralelo al frente de la obra (20-45°)	Paralelo al frente de la obra (20-45°)	Paralelo al frente de la obra (20-45°)

Teniendo en cuenta 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 media en los frentes II y III; considerada de mala en el frente I por la presencia de pizarras, que corrobora el RQD obtenido y el estado real del levantamiento geológico (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación del macizo rocoso en los tres frentes de explotación en función del RMR de Bieniawski

Frentes	RQD (%)	Valores							RMR	Clase	Clasificación
		Según σ_c	Según RQD	Según Espacio entre fracturas	Según Cond. de las fracturas	Según agua subterránea	Según Efecto de la orientación de las fracturas	Ajuste			
I	47	4	8	10	1,2	10		-2	31	IV	Mala
II	61	7	13	10	1,5	15		-2	45	III	Media
III	60	7	13	10	1,2	15	Favorable	-2	44	III	Media

3.2. Volumen de bloque

La presencia de los defectos estructurales como grietas, fallas y planos de estratificación en el macizo son los que influyen en la valoración del tamaño, forma y disposición espacial de los bloques, a la vez que en el comportamiento del macizo (Palmstrom 1995; Hoek 2007).

Según este estudio el rango del tamaño de bloques va de pequeño al medio y se encuentran en el macizo rocoso la forma de bloques alargados y tabulares, de bloques alargados y planos y de bloques cúbicos; los resultados se reflejan en la Tabla 4.

Tabla 4. Volumen de bloque

Frentes	Tipo de Roca	Jv	Jv-3	S1 (m)	S2 (m)	S3 (m)	$\alpha_2=S1/S1$	$\alpha_3=S3/S1$	β	Volumen de bloque Vb (m ³)	Tamaño	Forma de los bloques
I	Pizarra	20,75	0,0001119298	0,42	0,3	0,41	0,714	0,976	6,939	0,0017	pequeño	Bloques cúbicos
II	Arenisca	16,55	0,0002206002	0,26	0,35	0,46	1,33	1,76	1,258	0,0006	pequeño	Bloques alargados y tabulares
III	Roca brechosa	16,55	0,0002206002	0,32	0,23	0,46	0,71	1,43	3,553	0,019	medio	Bloques alargados y planos

4. CONCLUSIONES

- El macizo rocoso del yacimiento polimetálico Castellanos es de calidad geomecánica media, con sectores de calidad mala (frente I), asociados a la existencia de roca pizarra. El yacimiento está constituido mayormente por bloques pequeños con formas cúbicas o alargadas y tabulares.

- La representación en 3D de los tres frentes de explotación, con la dirección y tamaño de los bloques naturales del yacimiento, resulta de gran utilidad para definir las direcciones de avance de los frentes de explotación y elevar el grado de conocimiento de la estructura del macizo.

5. REFERENCIAS

- Bieniawski, Z. T. 1989: *Engineering rock mass classification: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons. ISBN 0-471-60172-1.
- 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.
- Cuni-Calzada, J. 2015: *Aprovechamiento integral de las areniscas intemperizadas del yacimiento Castellanos*. Lastra-River José Francisco (Tutor). Tesis de maestría. Universidad de Pinar del Río *Hermano Saiz Montes de Ocas*. Cuba. 97 p.
- 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.
- Díaz-Carmona, A. y Estrada-Núñez, N. 2011: Estimación de recursos y reservas del yacimiento polimetálico Castellanos. Pinar del Río, Cuba.
- Empresa Minera del Caribe (EMINCAR). 2017: Proyecto de la Concesión de Explotación y Procesamiento Castellanos. Pinar del Río, Cuba.
- International Society for Rock Mechanics (ISRM). 1981: *Rock Characterizations 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.
- 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. 82 p. Consulta: 25/04/2018. Disponible en: <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/1683>.

- Palmstrom, A. 1982: The volumetric joint count—a useful and simple measure of the degree of rock mass jointing. In: International Association of Engineering Geology. International congress 4: 221-228. New Delhi, India.
- Palmstrom, A. 1995: *RMi –a rock mass characterizations systems for rock engineering purposes*. PhD thesis. University of Oslo. 405 p.
- Palmstrom, A. 1998: Caracterización de macizos rocosos mediante el Rmi y sus aplicaciones en Mecánica de Rocas. *Ingeotúneles*: Carlos López Jiménez. Madrid. T-II, p. 79–107.
- Palmstrom, A. 2005: Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). *Tunnelling and Underground Space Tchnology*, 20(4): 362-377.

Recibido: 02/09/2019

Aceptado: 18/09/2019