

## **Evaluación de la blocosidad del macizo rocoso en el yacimiento Mogote San Nicolás**

**Dionísio José Gomes**

[dgomes@ismm.minas.edu.br](mailto:dgomes@ismm.minas.edu.br)

**Inocêncio Chipema Daniel Ricai**

**Rafael Rolando Noa Monje**

Universidad de Moa (Cuba)

**Resumen:** Se evaluó de la blocosidad del macizo rocoso en el yacimiento de caliza Mogote San Nicolás. Para su elaboración se efectuó un estudio ingeniero-geológico, así como el levantamiento de campo del agrietamiento según las litologías presentes. Se utilizó el software Dips V.5 para el procesamiento del agrietamiento y la representación espacial de las familias de grietas, para el cálculo del volumen de los bloques se usó el método desarrollado por Palmstrom. Se empleó el índice RQD de Deere, la clasificación Q de Barton y el RMR de Bieniawski para la obtención de la calidad de las rocas. Como resultados fundamentales se obtiene que las calizas poseen tres familias de grietas en cada tramo analizado.

**Palabras clave:** rocas calizas; carbonato de calcio; bloque geológico; materiales de la construcción.

## Evaluation of the blocosity of the massif in the Mogote San Nicolás deposit

**Abstract:** The rock mass blocosity in the Mogote San Nicolás limestone deposit was evaluated. For its elaboration, an engineering-geological study was carried out, as well as the field survey of the cracking according to the present lithologies. The Dips V.5 software was used for the cracking processing and the spatial representation of the crack families, for the calculation of the volume of the blocks the method developed by Palmstrom was used. Deere's RQD index, Barton's Q classification and Bieniawski's RMR were used to obtain the quality of the rocks. As fundamental results, it is obtained that the limestones have three families of cracks in each analyzed section.

**Keywords:** limestone rocks; calcium carbonate; geological block; construction materials.

## Introducción

La unidad empresarial de base (UEB) Producciones Mineras Santiago es una entidad que cuenta con varios yacimientos de materiales de construcción, dentro de ellas se encuentra Mogote San Nicolás que forma parte de la Empresa Geominera Oriente subordinada al grupo empresarial GEOMINSAL del Ministerio de Energía y Minas, la cantera explota caliza con el objetivo producir y comercializar de forma mayorista productos de materia prima de minerales no metálicos (carbonato de calcio) en sus diferentes variedades.

La caliza de la cual se obtiene el carbonato de calcio, cumple con los requisitos para ser utilizadas en la producción de hidrato de cal, losetas hidráulicas, se utiliza para pienso animal, talco, la caliza se utiliza también como áridos que es usado para diferentes tipos de hormigones, para base de fundamento de pavimento y piedras trituradas para otras construcciones.

Según el informe de rendición de cuentas al comité de prevención y control, la empresa tiene como misión satisfacer las demandas de productos mineros en el territorio oriental y desarrollar la producción y comercialización de productos a partir de recursos minerales (Rodríguez, 2019).

En toda el área que ocupa el yacimiento Mogote San Nicolás, predominan numerosas cavernas de varios metros de profundidad que afloran en la superficie. El resto del área está cubierto por abundante vegetación, pero predomina el mismo material arcilloso rojizo y bloques de caliza de color blanco.

Generalmente los trabajos de explotación de los yacimientos de materiales de construcción y fundamentalmente de calizas, se realiza sin conocer el comportamiento de las rocas, sin evaluar sus características mecánico-estructurales y muchas veces las operaciones que se ejecutan en el proceso minero y que garantizan la explotación de estos recursos, se realizan sin la previa documentación de cómo se evalúan la calidad de esos macizos rocosos.

En 2005, Alfaro aplicó nuevas técnicas en el estudio ingeniero geológico de los macizos rocosos donde realizó un análisis de los trabajos de campo más importantes, utilizados en la evaluación de macizos rocosos a partir de la utilización de métodos de campo no

tradicionales utilizados en nuestro país. En el mismo se hace un análisis y evaluación del agrietamiento del macizo rocoso de varios túneles en las provincias de Granma y Santiago de Cuba.

Cuesta (2010) caracterizó los factores que influyen en los procesos de infiltración y filtración de agua por los macizos rocosos fuertes poco porosos y agrietados, y hacia el interior de las excavaciones subterráneas, se hace una caracterización de los factores que influyen en el proceso de control del agua que afecta las excavaciones subterráneas y realizó un estudio de las principales técnicas utilizadas para controlar el agua que afecta una excavación subterránea. Pero no realiza un estudio de fortificación y estabilidad en este tipo de excavaciones con gran afluencia de agua.

Noa (2013) realizó una caracterización ingenieril de las rocas, lo que permite hacer una evaluación del agrietamiento, el grado de deterioro y el tamaño de los bloques, utilizando en este último, varios métodos. Para ello determinó el que más se adecua a cada macizo estudiado, teniendo en cuenta los resultados obtenidos y las características geo-estructurales de estos.

En el yacimiento de caliza Mogote San Nicolás persisten problemas de evaluación geomecánica, por lo que se hace necesario determinar las propiedades de las rocas, su comportamiento, el que permitirá diseñar las operaciones mineras, evaluar los parámetros que caracterizan las diferentes operaciones del proceso de explotación y a partir de las características mecánico-estructurales evaluar la blocosidad.

El objetivo de la investigación fue evaluar la blocosidad del macizo rocoso en el yacimiento de caliza Mogote San Nicolás lo que permitirá diseñar las operaciones mineras.

### **Materieles y métodos**

Oluwayesi (2017) estableció criterios geomecánicos que permiten evaluar el comportamiento mecánico estructural del macizo rocoso con el empleo de la modelación numérica por el MEF a partir de la geometría de la excavación, las propiedades de los materiales que constituyen este, el agrietamiento y el soporte de la excavación.

Se evaluaron las condiciones de estabilidad de los macizos rocosos donde se ubican las excavaciones objeto de estudio, utilizando cuatro de las metodologías de clasificación geomecánica existentes: el índice RQD de Deere (1989), la clasificación RMR de Bieniawski (1989) y la clasificación Q de Barton (1974).

Se empleó el software Dips V.5 para el procesamiento del agrietamiento y la representación espacial de las familias de grietas; para el cálculo del volumen de los bloques se utilizó el método desarrollado por Palmstrom.

En la actualidad, las clasificaciones geomecánicas se emplean de forma generalizada en ingeniería para hacer una primera predicción del comportamiento de los macizos rocosos frente a excavaciones, principalmente subterráneas, aunque también a cielo abierto. Su utilidad radica en la facilidad de su aplicación y en los buenos resultados conseguidos en muchos casos.

La definición de la geometría del talud minero es de gran importancia para el método de explotación para lograr el aprovechamiento racional del yacimiento mineral. Un elemento importante y fundamental a tener en cuenta en la extracción de una cantera es la estabilidad de los taludes (bancos) en el frente de la explotación, para lograr el control de movimientos de masas, deslizamientos y hasta derrumbe total del frente, lo que trae consigo la complejidad de las labores mineras, ya que de él depende e incrementa el rendimiento económico (Muachissaco, 2017).

### **Ubicación geográfica del yacimiento**

El área de estudio se ubica a unos 10 km al noreste del municipio de Mella, en la provincia de Santiago de Cuba, y a 2 km al suroeste del poblado de Palmarito de Cauto. Ocupa una superficie de 1,7 ha, dentro del área concesionada (12 ha); se localiza en la hoja cartográfica 5076-IV a escala: 1: 50 000 de Santiago de Cuba, está delimitada conforme a las coordenadas Lambert, cuyos vértices se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas Lambert del área de la concesión: 12 ha

Vértice	x(m)	y(m)
1	597 500	184 100
2	597 900	184 100
3	597 900	183 800
4	597 500	183 800
5	597 500	184 100

El yacimiento limita al norte y al oeste con la provincia de Holguín (municipio de Urbano Noris), al este con el municipio de San Luis y nuevamente con Holguín (Mayarí), al sur con los municipios de Palma Soriano y San Luis que pertenecen a la provincia de Santiago de Cuba (Figura 1).

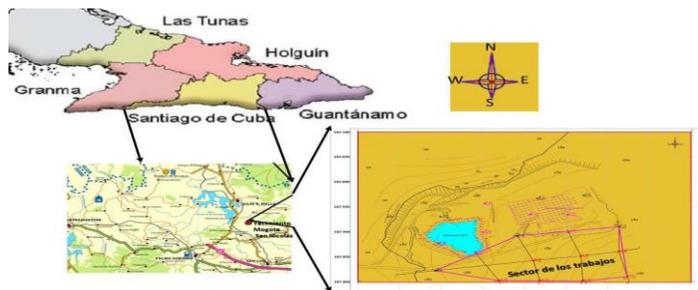


Figura 1. Ubicación geográfica del yacimiento (Ojeda, 2012).

El área de trabajo se ubica a 4 km. de la UEB Producciones Mineras Santiago, perteneciente al poblado Palmarito de Cauto, municipio de Mella, provincia de Santiago de Cuba. Por sus características físico geográficas su territorio es llano, al encontrarse ubicado en la llanura fluvial del río Cauto y solo una pequeña porción al este y noreste tiene un relieve montañoso, perteneciente a la parte suroeste de la Sierra de Nipe.

El relieve del área está formado por elevaciones en forma de mogotes, con cotas entre 250 m y 300 m sobre el nivel medio del mar; presenta hacia el oeste una ladera abrupta en forma de paredón con más de 30 m de altura, mientras que hacia el sureste es menos escarpada y más accesible, aunque presenta gran inclinación (Figura 2).



Figura 2. Alto del Mogote de San Nicolás.

## **Geología del yacimiento**

El área de estudio está constituida por las formaciones geológicas Charco Redondo (Chr) y Sabaneta de edad (P 1 1 - P 2 2). Está formada por calizas compactas recristalizadas, órgano detrítico de color blanco crema, perteneciente a la formación geológica Charco Redondo de edad Eoceno Medio (P22), con una estructura masiva y textura organógena -biomorfodetrítica. Su espesor varía entre 5 m y 40 m, siendo mayor hacia el suroeste donde se localiza un corte natural de unos 30 m.

Por debajo de las calizas yacen discordantemente las rocas vulcanógenas sedimentarias pertenecientes a la formación Sabaneta de edad Paleoceno Inferior-Eoceno Medio (P 1 1 - P 2 2), que constituyen el basamento del depósito, representadas por tobas de color verde, algo alteradas y areniscas tobáceas polimícticas color parduzco.

## **Morfología y litología del yacimiento**

La morfología del depósito se presenta a través de elevaciones en forma de mogotes, de modo irregular, presentando un relieve más suave hacia el norte, mientras que hacia la parte sur las elevaciones son más abruptas, con cotas que llegan hasta 303 m de altura. El cuerpo es morfológicamente masivo y sencillo, al contar con un solo tipo tecnológico de materia prima que en este caso son las calizas.

No se observa variación por el rumbo, siendo sus elementos de yacencia en el área entre 30° y 55°; las intercalaciones estériles están dadas fundamentalmente por el alto grado de carsificación existente, las alteraciones presentes son resultado del proceso de oxidación y lixiviación de las rocas.

Desde el punto de vista ingeniero-geológicos las rocas que forman el mineral útil se clasifican como duras y estables. El yacimiento posee condiciones minero técnica favorable para evaluar y garantizar una explotación minera sencilla y económica, debido al bajo valor promedio de cubierta e intercalaciones estériles presente, los que minimizará el movimiento de material útil en la futura cantera (Cornier, 2017).

## **Mineralización**

El área está constituida por calizas de alto contenido de carbonato mientras que la presencia de arcilla perjudicial es mínima; estos resultados permiten afirmar que la

materia prima estudiada presenta buena calidad minero técnica. Los resultados obtenidos en este trabajo confirman una mineralización muy buena, con contenidos promedios de  $\text{CaCO}_3$  de 98,80 % (Cornier, 2017).

### **Tectónica**

Durante los recorridos geológicos efectuados se observó que el yacimiento, desde el punto de vista tectónico, no presenta complicaciones relevantes, sino que en la superficie se percibe que el agrietamiento principal es generalmente en dirección norte; existe además agrietamiento paralelo, cubierto con material arcilloso ferroso, que en ocasiones terminan anchos en cavernas. Este agrietamiento debe ser post-mineral, no observándose elementos tectónicos que influyan en la génesis del yacimiento.

La complejidad del yacimiento está en la variabilidad de su potencia, que es de forma algo moderada, con los mayores espesores hacia el S, SE, y los menores espesores hacia el NW. Otro aspecto importante a tener en cuenta es que la potencia del mineral útil pudiera variar debido al carso interior en forma de caverna, así como el desarrollo del carso superficial, el cual limita la explotación de las reservas minerales desde la superficie (Cornier, 2017).

### **Análisis de las propiedades físico-mecánicas de las rocas**

El conocimiento profundo de las propiedades de las rocas, así como los métodos para su determinación, es de gran importancia para el buen aprovechamiento funcional del macizo rocoso.

La ecuación para determinar la resistencia a la compresión es la siguiente:

$$R_c = \frac{P_r}{F}$$

Donde:

$P_r$ - Carga de ruptura de la muestra (Kgf)

$F$  - Área transversal inicial de la muestra ( $\text{cm}^2$ )

En caso de las muestras irregulares, la resistencia a la compresión se determina de la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{P}{V^{2/3}} = P \left( \frac{\gamma_v}{g} \right)^{2/3}$$

Donde:

P: esfuerzo de destrucción (kg)

V: volumen de la muestra ( $cm^3$ )

$\gamma_v$  : peso volumétrico de la roca ( $g/cm^3$  )

g: Peso medio de la muestra (g).

Es conocido que la resistencia de las rocas a compresión es relativamente alta, mientras que la resistencia a tracción, flexión y cizallamiento es comparativamente pequeña. Según datos experimentales se pueden establecer la siguiente expresión:

$$R_c \approx (10 \div 30) R_t$$

Resistencia a la tracción: para determinar la resistencia a la tracción, el método más usado es el método brasileño, que consiste en ensayar una muestra cilíndrica con la relación diámetro/longitud, que puede variar de 0,5 a 1,0 aunque en algunos casos suele utilizarse testigos de 40 mm a 45 mm. Matemáticamente se puede expresar:

$$R_t = \frac{2P}{\pi dL}; M_{pa}$$

Dónde:

d: Diámetro de la muestra.

L: Longitud de la muestra.

También, para muestras irregulares en la determinación de la resistencia a la tracción se sigue la metodología expresada anteriormente y que es ya conocida con expresión:

$$R_T = \frac{P}{V^{2/3}} = \frac{P}{F}$$

En este trabajo se determinaron algunas propiedades que no han sido evaluadas con anterioridad y que se hace necesaria su evaluación para el cumplimiento del objetivo del mismo. A continuación, se muestran los resultados de las propiedades físicas de las rocas que se utilizan en esta investigación (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de las propiedades físicas de las rocas

Parámetros determinados	U/M	Tipo de roca		Promedio general
		Caliza dura	Caliza blanda	
Absorción	(%)	1,23	4,2	2,73
Porosidad	(%)	15,215	6,975	11,09
Peso específico	(g/cm <sup>3</sup> )	2,68	1,99	2,33
Peso volumétrico	(g/cm <sup>3</sup> )	2,04	1,62	1,83

## Evaluación de las características estructurales del yacimiento

### Estudio del agrietamiento

El agrietamiento condiciona las propiedades y el comportamiento resistente, así como las deformaciones de los macizos rocosos, por ello es importante definir las características y propiedades de los planos de discontinuidades.

El estudio del agrietamiento se realizó según la diferenciación litológica de las rocas presentes y se definió por tramos. Se midieron los principales sistemas de discontinuidades (denominados familias) y se contabilizaron las grietas aleatorias.

### Descripciones de los tramos analizados

A partir de la litología existente en el yacimiento Mogote San Nicolás se dividió el mismo en seis tramos, obteniendo los siguientes resultados:

**Tramo N° I.** La roca característica es caliza densa, la cual aparece con un color blanco crema a marfil, se sitúa a una altitud de 249 m según las coordenadas GPS Data, con latitud 20° 18' 21" y longitud 75° 53' 55", el tramo se extiende a 19 m, presenta tres familias de grietas que son: para la primera familia 72°/270°, segunda 76°/190° y la tercera familia 70°/180°. Estas están formadas por separación de bloques con un espaciado que varía de 0,42-2,1 mm, las discontinuidades tiene menor persistencia que varían de 30-45 cm, la superficie es plana, rugosas e irregulares en cuanto a su rugosidad, las grietas con minerales de relleno en pequeño espesor de minerales arcillosos expansivo, el factor de reducción por presencia de agua se caracteriza por excavaciones secas con presión de agua <1 l/min localmente. Las condiciones tensionales de las rocas pertenecen zonas débiles aisladas, con arcilla o rocas descompuesta (cobertura ≤ 50 mm).

**Tramo N° II.** La roca característica es la caliza blanda, la cual aparece con un color blanco claro, con pocas intercalaciones de arcillas. Se ubica a una altitud con latitud

20° 18' 23" y longitud 75° 53' 53", se extiende a 10 m. Presenta tres familias de grietas, donde la orientación de las grietas es: para la primera familia se orienta a 89°/170°, segunda 48°/200°, tercera 70°/208°. El espaciado que varía de 0,37-1,3 mm. El índice de rugosidad de las discontinuidades está caracterizado por diaclasas onduladas, rugosas, el coeficiente de alteración o relleno de las grietas se presenta con ligeras alteraciones, mientras que el factor de reducción por presencia de agua se caracteriza por excavaciones secas con presión de agua <1 l/min localmente y las condiciones de factor de reducción de esfuerzos pertenecen a rocas deformables (flujo plástico de las rocas) con baja presiones.

**Tramo N° III.** La roca característica es caliza de granos finos, duras, compacta, de color blanco a blanco crema con presencia intercalaciones de arcillas. Se encuentra a una altitud de 240 m, con latitud 20° 18' 23" y longitud 75° 53' 54", medida por variación litológica de 12 m, el tramo presenta tres familias de grietas, de ellas discontinuas, donde las orientaciones de estas son: 89°/209°, 70°/199°, 79°/220°, las juntas de paredes sanas (sin minerales de relleno intermedio), el espaciado que varía de 0,46-1,0 mm. El factor de reducción por presencia de agua se caracteriza por excavaciones secas con presión de agua <1 l/min localmente, mientras que las condiciones de factor de reducción de esfuerzos pertenecen a rocas deformables (flujo plástico de las rocas) con baja presiones.

**Tramo N° IV.** La roca característica es caliza blanda muy alterada de color blanco platino, rellenas de un material areno arcilloso. Se encuentra a una altitud de 250 m, con latitud 20° 18' 24" y longitud 75° 53' 54", tiene una medida de 17 m, presenta tres familias y algunas grietas aleatorias, la orientación de sus grietas son: para la primera familia 87°/233° para la segunda 82°/232° y tercera 80°/240°, con juntas onduladas, rugosas, el espaciado que varía de 0,64-0,9 mm, el coeficiente de alteración o relleno de la junta se caracteriza con minerales de relleno en pequeño espesor con minerales arcillosos expansivos, mientras que el factor de reducción de esfuerzos se caracteriza rocas deformables con baja presiones y como sucede en toda la cantera el coeficiente de reducción por presencia de agua se caracteriza por excavaciones secas con presión de agua <1 l/min localmente.

**Tramo N° V.** Caliza alterada es la roca característica, rellenas de un material areno arcilloso con un color de blanco crema a blanco perla. Se sitúa a una altitud de 246 m con latitud 20° 18' 22" y longitud 75° 53' 49", se extiende a 13 m. Presenta tres familias de grietas que son: 89°/210°, para la primera familia, 89°/220° para la

segunda y  $87^{\circ}/221^{\circ}$  para la tercera. Presenta rocas muy fracturadas, planas, rugosas e irregulares, el espaciado que varía de 0,4-2,2 mm y el coeficiente de alteración o relleno de la junta se caracteriza con minerales de relleno en gran espesor, con roca triturada, desintegrada y arcilla, mientras que el factor de reducción de esfuerzos se caracteriza por zonas débiles aisladas con cobertura  $> 50$  mm y como siempre el coeficiente de reducción por presencia de agua se caracteriza por excavaciones secas con presión de agua  $<1$  l/min localmente.

**Tramo N° VI.** Caliza muy alterada es la roca característica, rellenas de un material areno arcilloso con un color de blanco crema a blanco arena, se sitúa una altitud de 245 m con latitud  $20^{\circ} 18' 23''$  y longitud  $75^{\circ} 53' 48''$ , se extiende a 10 m. Presenta tres familias de juntas que son: para la primera familia  $74^{\circ}/150^{\circ}$ , para la segunda  $69^{\circ}/172^{\circ}$  y tercera  $90^{\circ}/54^{\circ}$ . La rugosidad de las juntas se caracterizan por planas, rugosas e irregulares, el coeficiente de alteración o relleno de la junta se caracteriza con minerales de relleno en pequeño espesor, con minerales arcillosos blandos, mientras que el factor de reducción de esfuerzos se caracteriza por haber problemas tensionales en las rocas en roca competente de pequeña cobertura ( $\frac{\sigma_c}{\sigma_1} = 200$ ) y el coeficiente de reducción por presencia de agua se caracteriza por excavaciones secas con presión de agua  $<1$  l/min localmente.

### **Análisis de las orientaciones de las grietas**

Los elementos de yacencia se determinaron in situ, donde se realizaron 18 mediciones correspondientes a los seis tramos analizados, en el cual cada tramo se realizó tres mediciones, donde se midió el acimut y su ángulo de inclinación de las grietas. Para el procesamiento del agrietamiento se utilizó la proyección estereográfica de los elementos de yacencia con el uso del software Dips V.5. A continuación se muestra el diagrama de polos y rosetas del tramo N° I (Figura 3).

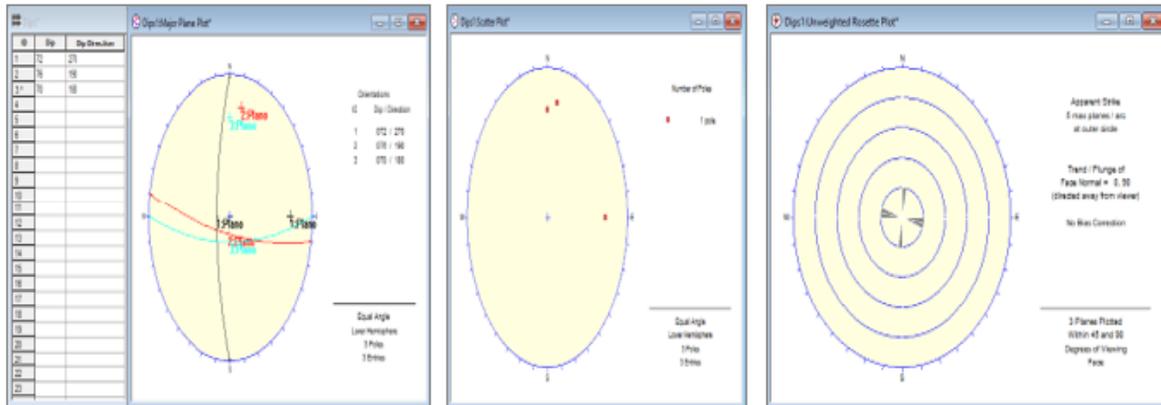


Figura 3. Diagrama de polos y rosetas del tramo N° I, Software Dips v.5.

Para el tramo N° I, como se observa en el diagrama de roseta (Figura 4), las principales direcciones de agrietamientos y fallas del macizo, están orientados en las direcciones noroeste. Los ángulos entre los planos de grietas del tramo N° I se representan en la Figura 4.

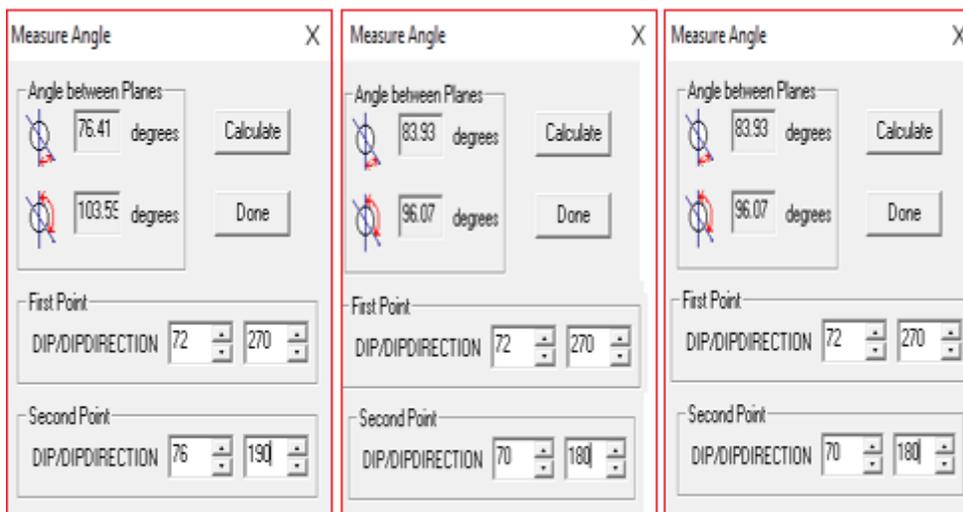


Figura 4. Ángulos entre planos de grietas del tramo N° I, Software Dips v.5.

Para la representación estereográfica de los tramos analizados, donde la dirección es de N55°E, se concentra las mayores fracturaciones o roturas del macizo (Figura 5).

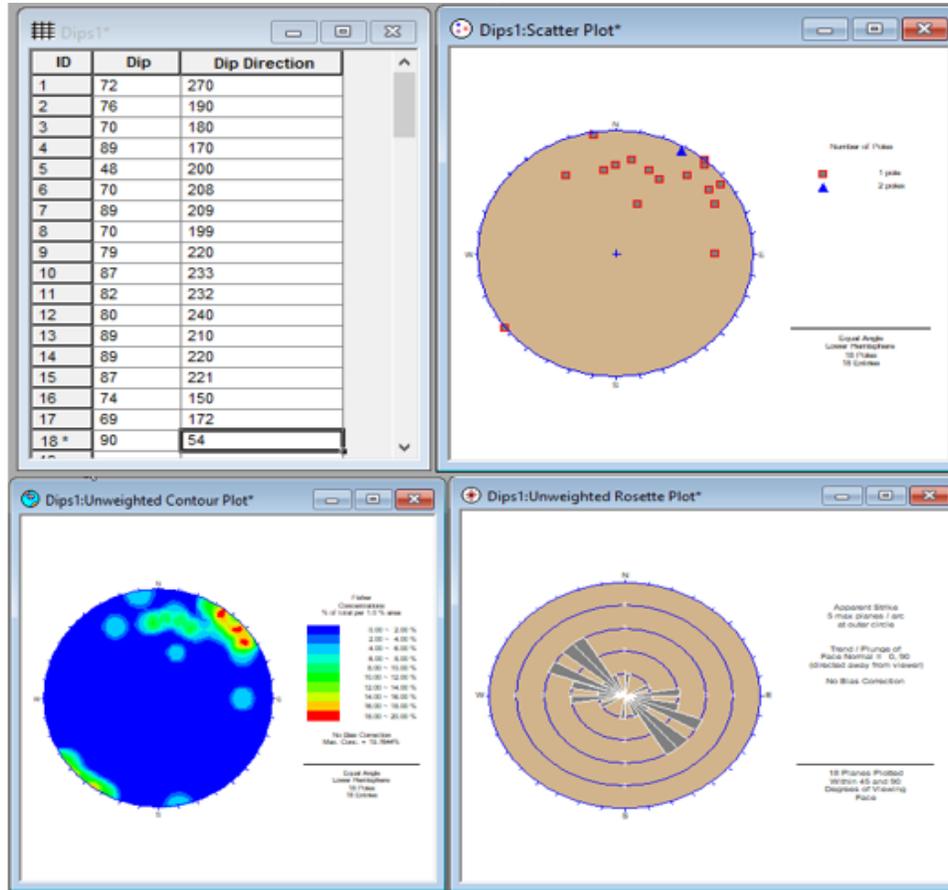


Figura 5. Representación estereográfica de los planos de grietas.

Representación estereográfica de los planos de grietas en el macizo rocoso del yacimiento de caliza Mogote San Nicolás, para los seis tramos analizados.

**Evaluación de la blocosidad**

Para la evaluación de la blocosidad se utilizaron varios métodos, teniendo en cuenta las características y comportamiento estructural del macizo estudiado y otros parámetros que caracterizan a las rocas. Para llevar a cabo este proceso se utilizaron los métodos que más se adaptan a las condiciones reales del yacimiento, de los cuales sus resultados se analizan a continuación. Para determinar el tamaño y la forma de los bloques, así como el volumen de los bloques a partir del número de grietas por metros cúbicos (Tablas 3 y 4), se tuvieron en cuenta los aportes de Palmstrøm (2001).

- Volumen de los bloques a partir del tipo y forma de los bloques

El método para clasificación del volumen de los bloques relacionado con el tamaño de la partícula (método de Palmstrom) y se debe determinar el tipo y forma de los

bloques teniendo en cuenta la distancia entre las grietas de cada familia. A continuación, se muestra la gráfica para la determinación del tipo y forma de los bloques a partir de la distancia entre las grietas.

- Volumen del bloque a partir del número de grietas por m<sup>3</sup>

El método para determinar el volumen del bloque a partir del número de grietas por m<sup>3</sup>, este se basa en la distancia de grietas de cada familia y el número de grietas aleatorias.

$$J_v = \sum \left( \frac{1}{S_i} \right) + \frac{N_r}{5}$$

Donde:

$S_i$ : Distancia entre las grietas de cada familia.

$N_r$ : Número de grietas aleatorias.

En la tabla 3 se muestra la distancia entre grietas de cada familia y número de grietas aleatorias obtenidos a partir de la medición y observación in situ.

Tabla 3. Valores de  $S_i$  y  $N_r$  obtenidos

Tramos	$S_i$ (cm)	$N_r$
I	47	35
II	31	38
III	29	27
IV	28	36
V	20	44
VI	26	31

Volumen de los bloques mediante espacios entre grietas

$$V_b = \frac{S_1 \times S_2 \times S_3}{\sqrt{1 - (\cos\alpha)^2 - (\cos\beta)^2 - (\cos\gamma)^2 - 2\cos\alpha \times 2\cos\beta \times 2\cos\gamma}}$$

Donde:

$S_1, S_2, S_3$ : Distancia entre grietas de cada familia.

$\alpha, \beta, \gamma$ : Ángulo entre las familias de grietas.

Teniendo los valores de  $S_1, S_2, S_3$  se pueden conformar los círculos de tensiones mediante el DIP y determinar los ángulos  $\alpha, \beta, \gamma$  para obtener el tamaño de los bloques. Conociendo el valor de  $V_b$  y utilizando la Tabla 4, se puede determinar el tamaño de los bloques.

Tabla 4. Tamaño del bloque en dependencia del rango de variación del volumen del bloque según Palmstrøm (2001)

Tamaño del bloque	Volumen del bloque, $V_b$ (m <sup>3</sup> )
Extremadamente pequeño	< 0,00001
Muy pequeño	0,00001 - 0,00002
Pequeño	0,00002 - 0,01
Medio	0,01 - 0,2
Grande	0,2 - 10
Muy grande	10 - 200
Extremadamente grande	> 200

Cálculo de la cantidad de grietas por m<sup>3</sup> ( $J_v$ ). Tramo I a VI

$$J_v = \sum \left( \frac{1}{S_i} \right) + \frac{N_r}{5}$$

Tabla 5. Tamaño de los bloques según  $J_v$  (Palmstrøm 2001)

Tramos	$J_v$ (grietas/m <sup>3</sup> )	Descripción
I	7	Bloques de tamaño medio
II	8	Bloques de tamaño medio
III	5	Bloques de tamaño medio
IV	7	Bloques de tamaño medio
V	9	Bloques de tamaño medio
VI	6	Bloques de tamaño medio

El volumen de bloque mediante espacios entre grietas se basó en los resultados determinados en campo de las distancias entre grietas de cada familia (Tabla 6).

Tabla 6. Distancias entre grietas de cada familia

Tramo	Espacio entre grietas de cada		
	$S_1$	$S_2$	$S_3$
I	0,7	2,1	0,42
II	1,3	0,8	0,37
III	0,7	1,0	0,46
IV	0,64	0,7	0,9
V	0,5	0,45	2,2
VI	1,6	0,4	0,48

Los ángulos entre planos de discontinuidades y los resultados obtenidos se muestran a continuación (Tabla 7 y 8, respectivamente).

Tabla 7. Ángulos entre planos de discontinuidades

Tramo	Ángulos		
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
I	76,41°	83,93°	11,28°
II	58,49°	30,27°	81,59°
III	78,36°	39,64°	59,48°
IV	12,02°	89,82°	83,80°
V	85,73°	67,62°	86,72°
VI	58,82°	85,41°	37,73°

Tabla 8. Resultados de volumen de los bloques; ( $V_b$ ). Palmström (2001)

Tramos	$V_b(m^3)$	TAMAÑO DEL BLOQUE
I	0,66	Grande
II	2,13	Grande
III	3,55	Grande
IV	1,82	Grande
V	0,53	Grande
VI	0,32	Grande

## Conclusiones

Se realiza una evaluación de las características ingeniero-geológicas del yacimiento; se determinan las propiedades físico-mecánicas y se hace un análisis del comportamiento estructural, dividiendo por tramos litológicos, en el macizo rocoso donde aparecen generalmente tres familias de grietas en cada tramo.

Empleando varios métodos por la evaluación de la blocosidad se obtiene que los bloques tienen un volumen que varía entre 0,32 m<sup>3</sup> a 3,55 m<sup>3</sup> y su tamaño están entre medio y grande.

## Referencias bibliográficas

- ALFARO, A. 2005. Clasificación geomecánica del macizo rocoso en la zona de Momes, Proyecto Bellavista, Miramar de Puntarenas. *Revista geológica de América Central* (32): 68-69.
- BARTON, C. M. 1974. *Engineering clasification of rock masses for the design of tunnel support*. Rock Mechanics.
- BIENIAWSKI, Z. 1989. *Engineering Classification of Jointed Rock Masses*. Trans South African Institute of Civil Engineer.
- CORNIER, L. 2017. Prospección geofísica a través del método de tomografía eléctrica en el yacimiento Calizas Mogotes de San Nicolás. Mella, Santiago de Cuba.
- CUESTA, A. 2010. Caracterización de los factores que influyen en los procesos de infiltración y filtración de agua por los macizos rocosos poco porosos y agrietados en el interior de las excavaciones subterráneas. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín.

- MUACHISSACO, C. A. 2017. *Evaluación de la estabilidad de los taludes en la cantera de calizas Urbano Noris*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín.
- NOA, R. 2013. Indicaciones metodológicas para la elección del método de arranque de las rocas durante el laboreo de excavaciones subterráneas horizontales de pequeña y mediana sección en Cuba oriental. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín.
- OJEDA, S. 2012. Proyecto de explotación minera del yacimiento de caliza Mogote San Nicolás. Geominera Oriente, Santiago de Cuba.
- OLUWAYESI, A. 2017. *Criterios para la evaluación del comportamiento mecánico-estructural del macizo rocoso con el empleo de la modelación numérica*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa, Holguín.
- PALMSTRÖM, A. 2001. Measurement and characterization of rock mass jointing. In: *In situ characterization of rocks* (p. 49-97). AA Balkema publishers.
- RODRÍGUEZ, D. 2019. Informe de rendición de cuentas al comité de prevención y control. UEB Geominera Oriente, Santiago de Cuba.