

Comportamiento estructural del macizo rocoso de la cantera Baney, Bioko Sur, Guinea Ecuatorial

Structural performance of the rock massif from Baney quarry in Bioko Sur, Equatorial Guinea

Alfonso Alogo-Nguema^{1*}, Maday Cartaya-Pire¹, Gilberto Sargentón-Romero²,
Armando Cuesta-Recio¹

¹Universidad de Moa, Holguín, Cuba.

²Universidad de Holguín, Holguín, Cuba.

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

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue establecer, a través de parámetros geomecánicos, el comportamiento estructural del macizo rocoso en la cantera Baney, en la ciudad de Malabo. Se realizó un levantamiento geológico para determinar las familias de grietas y el tamaño de los bloques. La calidad geomecánica del macizo se estableció según la clasificación SMR de Romana, con ayuda de los softwares QGís y ArGís. Los resultados de resistencia obtenidos en el laboratorio revelaron rocas de alta fortaleza; se detectaron cuatro familias de grietas y el tamaño de bloques resultó pequeño. El mapeado de los valores del índice SMR obtenido (desde 61 hasta 39) revela la existencia de zonas de diferente estabilidad dentro de la cantera, variando desde zonas estables hasta inestables.

Palabras clave: cantera Baney; rocas basálticas; calidad del macizo; SMR de Romana; estabilidad de macizos rocosos.

Abstract

The aim of this work is to establish the structural performance of the rock massif from Baney quarry, in Malabo city, using geomechanical parameters. A geological survey was carried out to determine the different kinds of cracks

and the size of the blocks. The geomechanical quality of the massif was established according to Romana's SMR classification and by using QGís and ArGís software. The strength results obtained in the laboratory revealed the existence of high - strength rock; four family of cracks were detected and the block size was small. Mapping of SMR index values obtained (from 61 to 39) revealed the existence of zones of different stability within the quarry, ranging from stable to unstable zones.

Keywords: Baney quarry; basaltic rocks; massif quality; Roman's SMR; rock massif stability.

1. INTRODUCCIÓN

En la isla de Bioko predominan rocas basálticas de origen volcánico. El crecimiento progresivo en el marco infraestructural y socio-económico de la isla, ha incrementado considerablemente los volúmenes de extracción de estas rocas por parte de las empresas nacionales, extranjeras y mixtas (Campos 2018). Como consecuencia, a finales del año 2006 se pusieron en vigor las primeras Leyes de Minas y de Protección al Medio Ambiente (modificadas en el año 2019) en el país, y se intensificaron las exigencias técnicas en las formas constructivas de las canteras, criterios de control de calidad de áridos y la garantía del cumplimiento de los requerimientos de sus características y propiedades para la ejecución de las obras de construcción trazadas en los proyectos "Horizonte 2020-2030" y otros proyectos económicos del gobierno guineano, elementos que cobran importancia en la explotación de estos materiales, y que tiene su fundamento en investigaciones geomecánicas realizadas (Esono 2016).

En los últimos años los cambios que se han producido en la explotación de canteras han permitido que estas se consideren de interés. Aquellas que se explotaban con escasa tecnificación y bajas producciones, tradicionalmente contaban con uno o dos bancos o un banco único de gran altura, sin tener previsto un proyecto de explotación con los requerimientos técnicos constructivos.

En la actualidad la concepción de la explotación de canteras anteriormente señalada está desapareciendo debido a las elevadas exigencias técnicas, de calidad, medioambientales y sociales que obligan al cumplimiento simultáneo de múltiples requisitos en el planteamiento y el desarrollo de un proyecto por muy pequeño que sea. A ello se suma el hecho de que los conocimientos prácticos acumulados sobre la tecnología de explotación de las canteras no dan respuesta a los problemas que surgen en la explotación de estos

yacimientos en la Isla de Bioko, de ahí surge la necesidad de realizar investigaciones (Ndong 2016) que permitan ampliar el conocimiento de las condiciones ingeniero-geológicas y geomecánicas del macizo rocoso, que permitan su explotación racional.

La cantera Baney, ubicada en la parte sur de la ciudad de Malabo (Bioko Sur) en Guinea Ecuatorial, se enmarca en un macizo basáltico estratificado con afloramientos del frente de arranque en forma de capas, donde se manifiestan pérdidas de estabilidad que dificultan la correcta explotación.

De gran utilidad para conocer las condiciones de estabilidad, deformación y resistencia, de macizos rocosos resultan los estudios geomecánicos, tanto en superficie como en el subsuelo (Cartaya-Pire 2006; Sargentón 2008; Lito 2019).

El objetivo del presente trabajo fue establecer, a través de parámetros geomecánicos, el comportamiento estructural del macizo rocoso en la cantera Baney, en la ciudad de Malabo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las propiedades de las rocas fueron determinadas en el Laboratorio Central de la empresa L&L HER Company (LCLHC) y en el Laboratorio de Análisis Técnico de Malabo (LATM), ambos certificados por la Dirección General de Minas y Canteras del Ministerio de Minas e Hidrocarburos de Guinea Ecuatorial.

Se realizó el muestreo estratificado simple y se tomaron muestras piloto, seleccionadas en 10 tramos litológicos de 20 m. Las muestras fueron procesadas estadísticamente con el software Excel. El número de muestras se determinó estadísticamente (Chacín 2000; Calero 2003), resultando $n=25$. Para determinar el valor medio aritmético de las muestras (\bar{X}), se aplicó la ecuación tomada de Chacín (2000). Las propiedades máscas y mecánicas se determinaron a partir de métodos directos e indirectos conocidos.

Para la determinación de la Humedad (W) se empleó el método gravimétrico, para la Porosidad (N) el método de saturación; la Masa volumétrica (γ_v) fue determinada por el método de la pesada hidrostática, la Densidad (D) por el método picnométrico; la Resistencia a compresión (R_c) se determinó para el estado uniaxial, con el método de cargas axiales con prensas de 4000 kg; para la Resistencia a tracción (R_t) se usó el método brasileño con prensa de 4000 kg; ambas resistencias según las ASTM-D2166 (2011); para el Módulo de elasticidad de Young (E) y coeficiente de Poisson (μ); se emplearon

indicadores de tipo reloj con muestras cilíndricas, con una relación entre su altura y dimensión transversal de 1,5 a 2.

Según la norma ISO-2582 (2018), se aplicó la carga de compresión uniaxial de manera continua y constante hasta la rotura de la muestra. La Resistencia al corte de las rocas se determinó por el método lineal de Mohr-Coulomb; mediante el software RocData V.4.8 y el ángulo de rozamiento interno (Φ_b), se definió mediante el ensayo de las muestras cilíndricas de las rocas.

El análisis de los resultados de las propiedades másicas y mecánicas de las rocas se realizó a partir del número de muestras tomadas y, sobre la base de los principios de la distribución t-Student, se trabajó con un margen de error máximo de 5 % y, un margen de confiabilidad de 95 %. Para la validación de estos resultados se empleó el modelo estadístico de Gauss.

Las características del agrietamiento se determinaron mediante el levantamiento geológico del campo en tres tramos litológicos de 10 m, 10 m y 14 m, según las coordenadas topográficas del área, determinándose los principales elementos de yacencia de las grietas y sus características como: abertura, continuidad, espaciamiento, rugosidad, familia de las grietas, entre otras; para la proyección estereográfica de las mismas, se empleó el software DIP V.5.0.

Para la determinación del tamaño de los bloques se utilizó el método de recuento de juntas volumétricas (J_v) de Palmström (2005), según la siguiente ecuación:

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3}; \text{ grietas/m}^3 \quad (1)$$

Siendo:

S_1 , S_2 y S_3 – espaciamiento entre grietas de cada familia.

A partir de clasificaciones geomecánicas tales como el RMR (*Rock Mass Rating*) de Bieniawski (1989), y SMR (*Slope Mass Rating*) de Romana (1994), se determinó la calidad de las rocas.

El valor de RMR se definió teniendo en cuenta parámetros como: la resistencia a compresión de la roca intacta, el RQD de Deere *et al.* (1967), el espacio entre grietas, el estado del agrietamiento, la orientación de las grietas y la presencia de agua; para ello se aplicó la tabla de clasificación geomecánica de Bieniawski (1989)

Para el SMR, se empleó la ecuación 2:

$$\text{SMR} = \text{RMR} + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4 \quad (2)$$

Siendo:

RMR – clasificación de las masas rocosas de Bieniawski (1989).

F₁ – factor que depende del paralelismo entre el rumbo de las juntas y de la superficie del talud.

F₂ – parámetro que depende del buzamiento de las juntas en las roturas planas.

F₃ – factor que refleja la relación entre los buzamientos de las juntas y el talud.

F₄ – factor de ajuste según el método de excavación.

Una vez clasificado el macizo rocoso a partir del SMR, se digitalizaron los datos de la cantera y se obtuvieron los parámetros geomecánicos con los Software QGís y ArGís, con lo que se establecieron los sectores estables o inestables según el SMR al combinar la información geológica y geomecánica mediante un SIG.

Los dominios se clasifican en tres tipos: clase I, clase II y clase III, los cuales se obtienen de la superposición de los planos (litológicos, tectónicos y topográficos), que consiste en la sumatoria de los factores geológicos y geomecánicos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Propiedades másicas y mecánicas de las rocas basálticas

La Tabla 1 muestra los valores de las propiedades másicas y mecánicas de las rocas basálticas. Atendiendo a los valores de estas propiedades establecidos por Protodyakonov, el valor de la resistencia a compresión de 194,76 Mpa demuestra que las rocas son de alta fortaleza.

Tabla 1. Valores de las propiedades másicas y mecánicas de las rocas basálticas

Basalto	Humedad (%)	Porosidad (%)	Masa volumétrica (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Resistencia a compresión (MPa)	Resistencia tracción (MPa)
Valor promedio	3,6	1,2	1,7	2,4	169,7	11,1
Desviación estándar (S)	0,06	0,01	0,009	0,03	8,9	0,2
Número de muestras	35	35	35	35	35	35
Grado de libertad (n-1)	34	34	34	34	34	34
Coefficiente de varianza (V)	1,6 %	0,8 %	0,9 %	3,9 %	5,2 %	2,3 %
Valor mínimo	3,3	0,9	1,6	2,1	168,8	10,7
Valor máximo	4,0	1,3	2,0	2,5	169,8	11,4

3.2. Agrietamiento

Con los valores promedios obtenidos del procesamiento estadístico de las mediciones, proyectados sobre el plano horizontal del diagrama estereográfico de Schmidt fueron obtenidos los diagramas de círculos máximos y de rosetas de las familias de grietas en la cantera de Baney que se muestran en las Figuras 1 y 2.

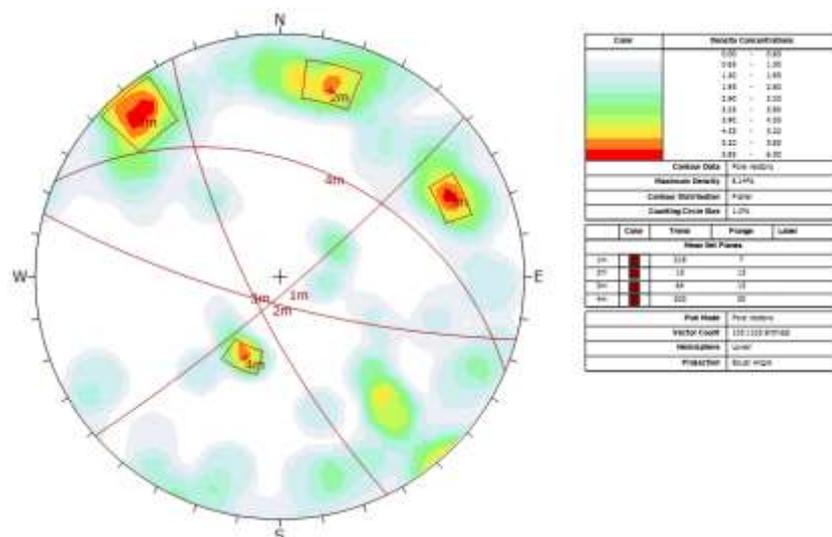


Figura 1. Diagrama de círculos máximos de las familias de grietas.

Como se observa, según la orientación y concentración de polos se reportan cuatro familias de grietas predominantes en la cantera, las cuales se describen en la Tabla 2. En el diagrama de rosetas representado en la

Figura 2 se observa que las orientaciones predominantes de las familias de grietas son del NE-SW.

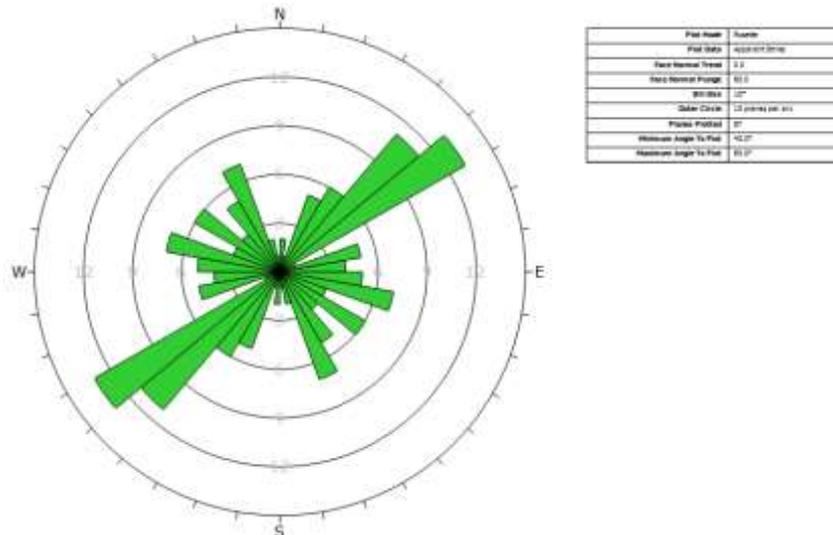


Figura 2. Diagrama de rosetas de las familias de grietas.

3.3. Tamaño de los bloques

A partir de las mediciones realizadas en el campo, el espaciamiento promedio entre las familias de grietas en los tramos litológicos medidos es de 0,30 m para la Familia I; para la Familia II de 0,10 m; para la Familia III es de 0,50 m y para la Familia IV = 0,42 m. El número de grietas por metro cúbico ($J_v = \text{grietas}/\text{m}^3$) obtenido a partir del cálculo del J_v según el recuento volumétrico de las grietas es de 17,7 lo que expresa que los bloques formados en las rocas de la cantera de Baney son de tamaño pequeño, según lo establecido por Palmström (2005).

3.4. Calidad del macizo rocoso según las clasificaciones geomecánicas

En las Tabla 2 y 3 se muestran los valores de los parámetros calculados para la determinación del RMR, así como el valor del índice RQD, obtenido a partir de la clasificación de Deere *et al.* (1967). Con lo que se obtiene que la calidad de la roca varía de calidad buena a media, según la clasificación geomecánica RMR.

Los parámetros de las Tablas 2 y 3, junto a los de orientación de los planos de grietas y de su disposición respecto a la dirección de los bancos, constituyen la base para la determinación del índice de calidad de rocas en la cantera de Baney mediante la clasificación geomecánica SMR de Romana (Tabla 4).

Tabla 2. Parámetros según Bieniawski (1979)

Parámetros		Valoración
Resistencia a compresión (MPa)		169,7
RQD (%)		56,59
Espaciado entre las grietas (m)		0,30
Condiciones de las grietas	Continuidad (m)	1,0
	Abertura (mm)	2,0
	Rugosidad	Rugosa plana
	Relleno	Sin relleno
Grado de meteorización		Ligeramente meteorizada
Presencia de agua		Goteo
Orientación de las grietas		Favorable

Tabla 3. Parámetros de las rocas según clasificación de las rocas mediante el RMR de Bieniawski (1979)

R _c	RQD	Espaciado	Meteorización	Presencia de agua	Orientación de las juntas	RMR	Clasificación
12	13	10	25	4	Favorable	64	Buena
12	8	10	25	4	Favorable	59	Media
12	3	10	25	4	Favorable	54	Media

Tabla 4. Clasificación del macizo rocoso mediante el índice SMR de Romana (1994)

RMR	Factores de ajuste				SMR	Clasificación	Clase
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄			
64	1	1	-3	0	61	Estables	II
59	1	1	-8	0	51	Parcialmente estables	III
54	1	1	-15	0	39	Inestables	IV

En el estudio realizado se obtuvieron valores cuantitativos del índice SMR que varían entre 61 hasta 39, lo que demuestra que el macizo rocoso de la cantera de Baney varía desde estable, parcialmente estable hasta inestable, en lo que influye el número de familias de discontinuidades y su orientación respecto a la dirección de los bancos. En la Figura 3 se ilustran las tres clases obtenidas mediante el índice SMR.

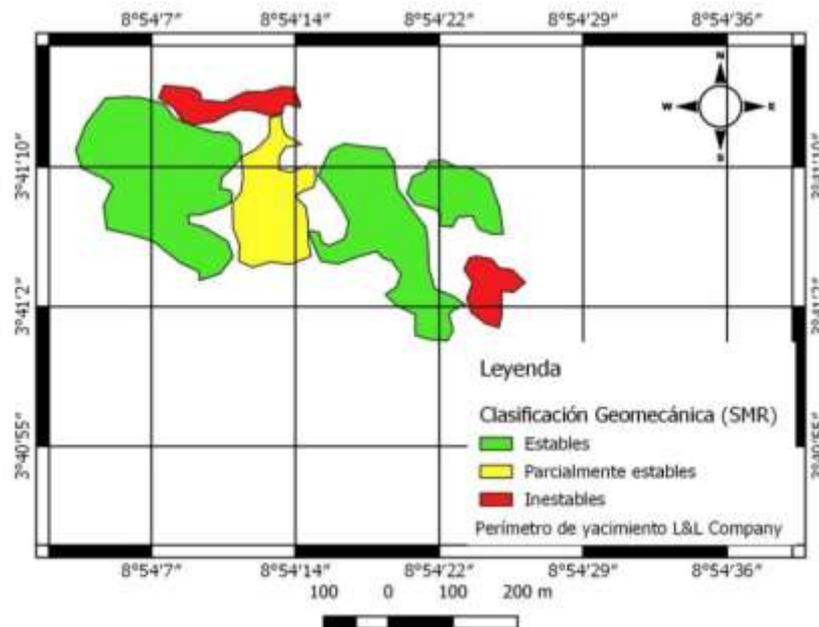


Figura 3. Representación de la calidad del macizo rocoso en la cantera de Baney según la clasificación geomecánica del índice SMR de Romana (1994).

A partir de la caracterización geomecánica mediante índice SMR de Romana (1994) se establecen los sectores estables, parcialmente estables e inestables en la cantera, los que constituyen sectores o áreas del macizo rocoso con semejante comportamiento geomecánico; estos sectores se ubican en las coordenadas geográficas de la concesión minera: 3° 41' 09" N y 8° 54' 09" E; 3° 41' 04" N y 8° 54' 20" E; 3° 41' 08" N y 8° 54' 21" E, con un área total de 79 hectáreas.

4. CONCLUSIONES

- Las rocas basálticas de la cantera Baney son rocas de alta fortaleza.
- Mediante la representación estereográfica de las mediciones del agrietamiento en el campo se identifican cuatro familias de grietas.
- El tamaño de los bloques de rocas es pequeño (J_v de 17,7 grietas/m³).
- La estabilidad del macizo rocoso de la cantera de Baney tiene un comportamiento variable; actúa como un macizo estable en algunos sectores llegando a ser medianamente estable e inestable en otros, con valores del SMR de Romana que van de 61 a 39.

5. REFERENCIAS

- Bieniawski, Z. T. 1989: *Engineering Rock Mass Classifications*. USA.
- Campos, A. 2018: *La isla de Bioko en el mundo atlántico: dinámicas de enclave y órdenes transfronterizos*. Vegueta.

- Chacín, F. 2000: *Diseño y análisis de experimentos I*. Caracas, Venezuela: FEPUVA-UCV.
- Calero, A. 2003: *Estadísticas III*. La Habana, Cuba: Félix Valera.
- Cartaya-Pire, M. 2006: Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país. *Minería y Geología*, 22(3).
- Deere, D.; Hendron, A.; Patton, F. & Cording, E. 1967: Design of Surface and Near-Surface Construction in Rock. In: *Failure and Breakage of Rock*. New York: C. Fair Hurst.
- Esono, S. 2016: *Principales efectos ambientales de la autovía nacional Malabo-Lubá (Isla de Bioko, Guinea Ecuatorial) y propuesta de medidas correctoras desde un enfoque de restauración ecológica*. Tesis de maestría. Universidad de Alcalá de Henares (Rey Juan Carlos) Madrid, España.
- Lito, H. V. 2019: Evaluación geomecánica del macizo rocoso en frentes de explotación del yacimiento polimetálico Castellanos Rock mass geomechanical assessment on exploitation areas of Castellanos polymetallic deposit. *Minería y Geología*, 35: 430-440.
- Ndong, N. 2016: *Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la cantera Oas*. Tesis de diploma. UNGE, Malabo, Guinea Ecuatorial.
- Palmström, A. 2005: Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20: 362-377. doi:10.1016/j.tust.2005.01.005.
- Romana, M. R. 1994: Clasificación de macizos rocosos para la excavación mecánica de túneles. *INGEOPRES*, 18.
- Sargentón, G. 2008: *Criterios para el diseño de voladuras en el laboreo de excavaciones subterráneas*. Tesis doctoral. ISMMM, Moa, Cuba.

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores no tienen conflictos de intereses que declarar

Contribución de autores

AAN: Recolección y análisis de datos, interpretación de resultados, elaboración del original, revisión y aprobación de la versión final. MCP: idea de la investigación, interpretación de resultados, elaboración de conclusiones, revisión y aprobación de la versión final. GSR: revisión del original, corrección de la redacción y aprobación de la versión final. ACR: interpretación y discusión de resultados, revisión y aprobación de la versión final

ORCIDAAA, <https://orcid.org/0000-0002-0341-591X>MCP, <https://orcid.org/0000-0003-0057-52611>GSR, <https://orcid.org/0000-0002-1888-3097>ACR, <https://orcid.org/0000-0002-5683-1175>

Recibido: 15/09/2020

Aceptado: 20/06/2022