

Análisis de la estabilidad del túnel Complejo Caribe 3 de Moa*

Arsene Levy Keya

Kahundu Matengu

Nicholas Mwiine

Mateo Ipinge

Carrera: Ingeniería en Minas.

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (Cuba).

Resumen: El presente trabajo se propuso analizar el agrietamiento del macizo rocoso alrededor del túnel complejo Caribe 3 y determinar la formación de bloques de rocas potencialmente peligrosos para el mismo. Se realizó el análisis de la estabilidad de las cuñas tetraédricas o prismas de rocas que se forman debido a la presencia de la excavación en el macizo. Se clasificó geomecánicamente el macizo rocoso y se realizaron las proyecciones estereográficas, además de analizar la estabilidad de las cuñas tetraédricas o bloques de rocas que se forman debido al agrietamiento del macizo. Esto fue posible con la asistencia de los softwares de mecánicas de rocas: Autocad 2004, Dip5 y Unwedge 3.0.

Palabras clave: Túnel; estabilidad; cuña tetraédrica; macizo rocoso; excavación.

Analysis of the stability of the Complex tunnel Caribe 3 of Moa

Abstrac: The following work is all about an analysis carried out on fractures and cracks in the rock formation surrounding the "Complejo Caribe 3" tunnel and on potential zonal wedge-shaped rocks that could collapse inside the tunnel. A thorough analysis of the stability of these tetrahedral wedge-shaped rocks produced by the contact between fractures and the free surface of the tunnel was addressed by means of geomechanical methods and stereographic projections. Autocad, Dip 5 and Unwedge were considered the most suitable software for the analysis.

Key Words: Tunnel; stability; tetrahedral wedge-shaped rocks; rock formation.

Introducción

Los túneles son obras subterráneas realizadas para la protección de personas y mercancías que en tiempos de paz suelen utilizarse también como almacenes. En ocasiones se excavan con el objetivo de crear lugares secretos, escondites o refugios.

Se ha generalizado el uso de los túneles a nivel mundial para cualquiera de los fines anteriormente mencionados. Los túneles como obras de ingeniería civil se dividen en túneles en rocas blandas y túneles en rocas duras. La construcción de túneles en rocas duras se realiza a partir de la perforación, excavación y extracción de la roca, mientras la perforación en rocas blandas es más fácil de llevar a cabo, siempre prestando atención al posible hundimiento de las mismas. En la construcción de túneles en rocas duras después de excavar puede ser necesario un sostenimiento que pueda soportar las rocas denudadas en el techo y las paredes e impedir su derrumbe en dependencia de la fuerte presencia de grietas y juntas. Estas discontinuidades en el macizo rocoso pueden ser muy peligrosas y generar bloques, cuñas, y una zona de rocas fragmentadas susceptibles de caer por su propio peso o por el estado tensional actuante en el macizo.

Teniendo en cuentas estas características se ha centrado el trabajo en el estudio del agrietamiento del macizo rocoso alrededor de una galería del túnel complejo Caribe 3

de Moa por lo cual tendremos en cuenta la clasificación geomecánica de las rocas, la orientación de las grietas y la representación de los bloques que se formarían alrededor del túnel.

Ubicación geográfica del túnel

El área de estudio se encuentra enmarcado en el Reparto Caribe del municipio Moa, ubicado en la Ciudad del mismo nombre; extendiéndose de Norte a Sur hasta la carretera Sagua-Moa.

Características geológicas de la región

La geología del área se caracteriza por una marcada complejidad condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el transcurso del tiempo geológico, lo que justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizados basadas en criterios y parámetros específicos.

El macizo Moa-Baracoa se localiza en el extremo oriental de la faja Mayarí-Baracoa, ocupando un área aproximadamente de 1500 km². Esta zona presenta un gran desarrollo de los complejos ultramáficos, de gabros y volcano-sedimentarios, mientras que el complejo de diques de diabasas está muy mal representado, apareciendo las diabasas descritas en la región en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del sistema cumulativo en el que se estima un espesor de aproximadamente 1000 m para el complejo ultramáfico y 500 m para el de gabro, mientras que para el complejo volcano-sedimentario es estimado un espesor de 1000 m. (Rodríguez, 1998)

Características del túnel

Para la construcción del túnel se realizó la excavación de las rocas con un martillo picador neumático. El mismo tiene una sección transversal de paredes rectas con techo abovedado de una altura aproximadamente de 2 metros, e igual distancia de longitud para la base.

Para la estabilidad del túnel se realizó un sostenimiento en el techo abovedado con elementos prefabricados de hormigón armado; y el sostenimiento de los hastiales con piedras de hormigón.

En el estudio se ha analizado particularmente el agrietamiento del frente de excavación de una de las galerías del túnel en cuestión (Galería 12). El túnel tiene dirección S 68 W y es horizontal.

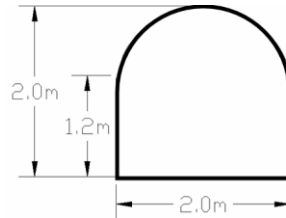


Figura 1. Sección transversal del túnel.

Clasificación del macizo rocoso

De acuerdo con las propiedades de las rocas, el macizo estudiado posee una fortaleza de 6.5 y el tipo de roca es la peridotita. A continuación se describen las principales características del macizo rocoso de acuerdo con la clasificación RQD, el sistema Q. (Barton, 2002)

Índice de la calidad RQD

El RQD se ha estimado midiendo en el macizo la cantidad de discontinuidades en 1m. Su valor fue determinado usando la fórmula empírica propuesta por Bienawski. (Bieniawski, 1974)

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

J: Número de discontinuidades en 1m.

$$RQD = 115 - 33 \times 12,5$$

$$RQD = 115 - 41,25$$

$$RQD = 73,75 \quad (70 - 85)$$

De acuerdo con la clasificación de Deere, la calidad de la roca se considera media.

El sistema Q

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \left(\frac{J_w}{SRF} \right)$$

$$Q = \frac{73.75}{9} + \frac{4}{6} + \frac{1}{1}$$

$$Q = 5.4$$

El valor de Q entre 4 y 10 implica que la roca es de calidad media.

Donde:

Jn - Índice de diaclasado que contempla la cuantía de juntas.

Jr - Índice que caracteriza la rugosidad, presencia de relleno y continuidad de las juntas.

Ja - Grado de alteración de las juntas y características del relleno.

Jw - Factor de afluencia de agua.

SRF - (Stress Reduction Factor) Factor que tiene en cuenta la influencia del estado tensional en el macizo rocoso.

RQD/Jn - Representa el tamaño de los bloques.

Jr/Ja - Representa la resistencia al corte entre los bloques.

Jw/SRF - Representa la influencia del estado tensional.

Proyecciones estereográficas del agrietamiento del macizo y representación de los bloques y cuñas

Se realizan las proyecciones estereográficas de las grietas del macizo de roca para la obtención de los sistemas de grietas mayores en la galería 12 donde se han recolectado los datos del agrietamiento. Para ello ha sido necesario medir el ángulo y el buzamiento, determinar la humedad, el relleno de grietas en el frente (aproximadamente de 30 a 35) y formar la base de datos para insertarla en el programa DIP. Donde aparezca mayor concentración de puntos, se toman los polos

que han sido representados bajo la forma de planos. En general, se han destacado 3 planos cuyas orientaciones son las de los principales sistemas de grietas en el macizo.

En el frente del túnel se pudieron identificar 3 sistemas de grietas predominantes en el macizo, con la superficie libre y cuyas intersecciones forman cuñas tetraédricas susceptibles de destruirse.

Tabla 1: Sistema de discontinuidades en el macizo

Sistema de grietas	Ángulo de buzamiento (DIP)°	Buzamiento (DIP DIRECTION)°
Sistema 1	18	67
Sistema 2	60	146
Sistema 3	59	268

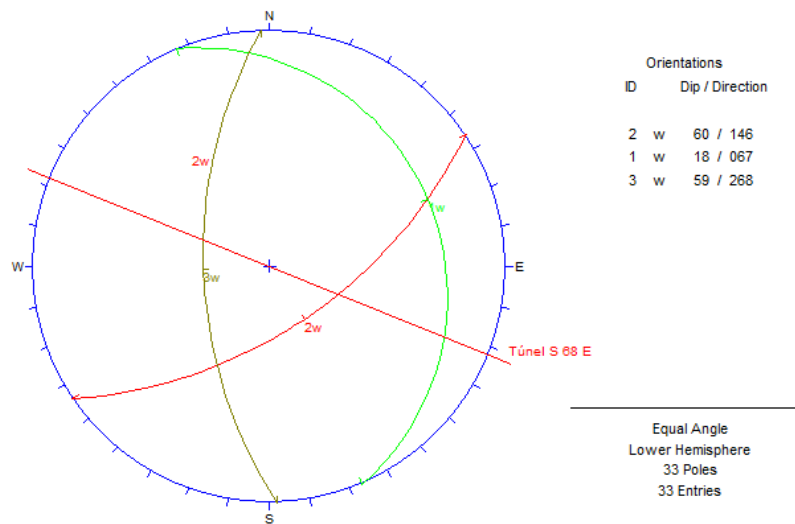


Figura 2. Proyecciones estereográficas de los sistemas de discontinuidades.

Análisis de las cuñas y bloques de rocas formadas

La representación de las cuñas y bloques de rocas que se forman debido a la presencia de las grietas, en los alrededores de la excavación pueden ser representados por el software Unwedge 3.0.

Los datos de las orientaciones de los sistemas de grietas, sus características y naturaleza se introdujeron en el software Unwedge 3.0, que modela visualmente en 3

dimensiones las cuñas tetraédricas que se forman sobre el techo y en los hastiales del túnel.

Después de ser representadas las cuñas, sus respectivos pesos, área de extensión, y factor de seguridad, son calculados automáticamente, y se generan las estimaciones de los mismos. Los resultados se representan en la tabla No. 2.

Tabla 2. Parámetros de las cuñas tetraédricas formadas

Parámetros	Cuña 1	Cuña 2	Cuña 3	Cuña 4
Factor de seguridad	Estable	28.711	71.02	0.00
Peso	0.149 t	1.490	1.056 t	0.004 t
Área ocupada	0.90 m ²	1.55 m ²	1.17 m ²	0.06 m ²

En la figura 3 se puede ver las cuñas rodeando el túnel.

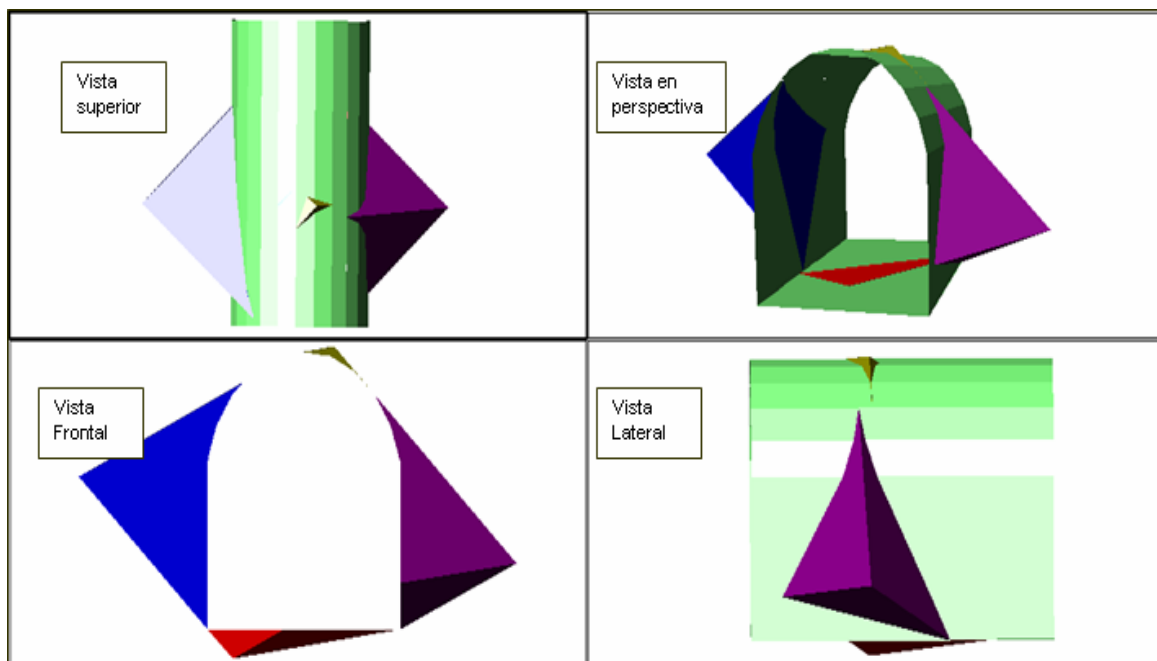


Figura 3. Representación de las cuñas de rocas formadas alrededor del túnel Caribe 3.

Para el análisis de la estabilidad de las cuñas, se asumió que había escasa presencia de agua, ausencia de fuerzas actuantes debido a actividades sísmicas y no se consideró los esfuerzos actuantes en el macizo

Según los resultados arrojados, la mayoría de las cuñas, poseen un gran factor de seguridad. En efecto solo la cuña 4 representa un peligro en el techo de la excavación. Su factor de seguridad siendo cero, implica que estas rocas en el techo a pesar de no tener grandes dimensiones tienden a caer en el túnel. Las cuñas en los laterales a pesar de sus dimensiones tienen un gran factor de seguridad, no obstante sería necesaria una fortificación para llevar el factor a altos valores y prevenir el colapso de los hastiales del túnel.

Conclusiones

Conforme a las clasificaciones geomecánicas el túnel complejo Caribe 3 se encuentra en un macizo de roca peridotita serpentinizada de calidad media.

Se forman 4 cuñas principales en zonas inmediatas al túnel. En los lados, las cuñas son de tamaño considerable, pero proporcionan seguridad. La fortificación empleada en el túnel de bloques aumenta el factor de seguridad de esas cuñas de roca; lo que implica que son estables.

La cuña del piso no presenta peligro alguno, y es estable, mientras la cuña ubicada en el techo podría presentar problemas debido a su factor de seguridad de 0.0 descartando su pequeño peso y dimensión. La fortificación de hormigón armado empleada en este túnel resolvería el problema de estabilidad de esta cuña.

Referencias bibliográficas

BARTON, N. 2002: Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design. *International Journal of Rock Mechanical & Mining Sciences*, 39 (2):185-216.

BIENIAWSKI, Z. T. 1974: Engineering classification of jointed rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics*, 11(12):244-244.

RODRÍGUEZ, A: 1998: Estudio Morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. Tesis de Doctorado. Moa. 129p.

*Trabajo tutorado por la profesora Dr. Maday Cartaya.