

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



**CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE MACIZOS ROCOSOS EN
OBRAS SUBTERRÁNEAS PARA ESTRUCTURAS ESTRATIFICADAS UNIDAD
MINERA LA RINCONADA.**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
PRESENTADO POR:**

JOSE RICARDO YUCRA QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO, PERÚ

2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**

**CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE MACIZOS ROCOSOS EN OBRAS
SUBTERRÁNEAS PARA ESTRUCTURAS ESTRATIFICADAS UNIDAD MINERA
LA RINCONADA.**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

JOSE RICARDO YUCRA QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

.....
Ing. David Velásquez Medina

PRIMER MIEMBRO

.....
MSc. Ing. Lucio Quea Gutierrez

SEGUNDO MIEMBRO

.....
Ing. Emmanuel Hernan Tomy Gomez

TEMA: Caracterización geomecánica del macizo rocoso de obras subterráneas

AREA: Ingeniería de Minas

FECHA DE SUSTENTACION: 15 de noviembre del 2019

DEDICATORIA

A mis padres Dionicio Yucra Chambilla y Feliciano Quispe Jaramillo.

A todos ustedes es una satisfacción y un privilegio dedicarles, con alegría y entusiasmo personal, profesional y también intelectual todo el tiempo invertido en este trabajo de suficiencia profesional, que no es más que la evidencia de la muestra de mi amor y cariño hacia ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a mis padres por darme la vida, a mi madre por los valores y fuerzas para afrontar el día a día, siempre dispuesta a escucharme y darme el apoyo incondicional, también por el sacrificio que hizo para culminar la carrera profesional de Ingeniería de Minas.

Agradezco a los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas, que fueron parte de mi formación académica-profesional, y que estuvieron siempre dispuestos a aclarar mis dudas.

A la Universidad Nacional del Altiplano mi alma mater que me tuvo entre sus aulas durante los años de mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

INDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. MÉTODOS Y MATERIALES.....	12
2.1 METODOLOGÍA.....	12
2.1.1 EL ÍNDICE DE ESFUERZO GEOLÓGICO (GSI)	12
2.1.2 INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (RQD).....	14
2.1.3 CLASIFICACIÓN ROCK MASS RATING RMR:	14
2.2 MATERIALES	17
III. RESULTADOS	18
3.1 MODELADO GEOMECANICO U.M RINCONADA NIVEL SANTA MARÍA SUPERIOR	18
3.2 CARACTERISTICAS GEOMECANCIAS U.M. RINCONADA NIVEL SANTA MARIA SUPERIOR.....	20
IV. DISCUSIÓN.....	21
V. CONCLUSIONES	22
REFEERENCIAS	23

INDICE DE FIGURA

Figura 1 TABLA GSI.....	9
Figura 2 Proposición del uso del RQD para escoger el soporte de roca (Según Merrit).	14
Figura 3 Relaciones entre el tiempo libre de autosostenimiento de una excavación subterránea con la clasificación geomecánica CSRI de Bieniawski.....	11
Figura 4 Proyección estereográfica, distribución de polos del macizo rocoso U M rinconada Nivel Santa María Superior	18
Figura 5 Tiempo de auto sostenimiento vs tramo sin sostener U.M. Rinconada nivel Santa María Superior.....	19
Figura 6 Espaciamiento de las discontinuidades en U.M. Rinconada nivel Santa María Superior	19
Figura 7 Índice volumétrico y tamaño de bloque en U.M. Rinconada nivel Santa María Superior	19
Figura 8 Persistencia de discontinuidades U.M. Rinconada nivel Santa María Superior	19
Figura 9 Apertura de las discontinuidades U.M. Rinconada nivel Santa María Superior.....	20

INDICE DE TABLA

Tabla 1 Relación entre el RQD y la Calidad del macizo rocoso.....	14
Tabla 2 Dirección de las Familias Predominantes uci U.M. Rinconada nivel Santa María Superior.....	18
Tabla 3 Relleno de discontinuidades U.M. Rinconada nivel Santa María Superior.	20
Tabla 4 U.M. Rugosidad de las discontinuidades Rinconada nivel Santa María Superior.	20
Tabla 5 Meteorización de discontinuidades U.M. Rinconada nivel Santa María Superior.....	20
Tabla 6 Resistencia a la compresión uniaxial uci U.M. Rinconada nivel Santa María Superior.	21
Tabla 7 Agua en las discontinuidades uci U.M. Rinconada nivel Santa María Superior.....	21

INDICE DE ACRONIMOS

SFRS : Steel Fiber Reinforced Shotcrete

JRC : Joint Roughness Coefficient

RQD : Rock Quality Design

RMR : Rock Mass Rating

GSI : Geological Strength Index

MPa : Mega Pascales

UCS : Uniaxial Compressive Strength

DIP : Buzamiento

DIP DIR : Dirección de buzamiento

NE : Noreste

N : Norte

E : Este

W : Oeste

UTM : Universal Transverse Marcator

t. : Tonelada

cm. : Centímetros

m. : Metro

mm. : Milímetros

Li. : Libras

**CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE MACIZOS ROCOSOS EN OBRAS
SUBTERRÁNEAS PARA ESTRUCTURAS ESTRATIFICADAS UNIDAD MINERA
LA RINCONADA.**

**GEOMECHANICAL CHARACTERIZATION OF ROCKY MACIZOS IN
UNDERGROUND WORKS FOR STRATIFIED STRUCTURES MINING UNIT LA
RINCONADA**

Bach. Jose Ricardo Yucra Quipe

Universidad Nacional del Altiplano de Puno

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

Josrik31@gmail.com

cel.: 972960701

RESUMEN

El presente trabajo se realizó dentro del área de influencia directa mina La Rinconada. Ubicado en la Cordillera Oriental del Sur del Perú, en el departamento de Puno, provincia San Antonio de Putina, distrito de Ananea. Cuyas coordenadas U.T.M., 451806.40 E, 8383466.98 N, a una altitud de 4,850 metros sobre el nivel del mar.

Teniendo esta una geología estratificada presenta una gran bloquicidad y agrietamiento por eso planteamos los siguientes métodos de caracterización macizo rocoso mediante la estimación del RMR y GSI.

Donde se realizó una valoración de las propiedades físico-mecánicas de las rocas, del agrietamiento y la bloquicidad, con el fin de proponer medidas de laboreo seguro para las excavaciones mineras subterráneas empleando métodos empíricos y numéricos apropiados para su estabilidad. A partir de la evaluación realizada se concluyó que el macizo está compuesto por zonas de rocas de distinta calidad: buena, y regular. como dominio geotécnico de las propiedades de las discontinuidades dio el tipo de falla por el efecto cuña. Por con siguiente, se aplicará el sostenimiento por refuerzo activo, controlando los peligros por desprendimiento de rocas y elevando el factor de seguridad en la unidad minera. En resumen, se pueden señalar que las condiciones geomecánicas del medio rocoso del yacimiento en evaluación son variables, y están relacionados al grado de alteración y estratificación a que ha sido sometido el medio rocoso, por este motivo, el método de minado debe estar asociado aparejado a las condiciones naturales encontradas en el yacimiento.

La metodología de investigación desarrollada (RMR Y GSI) brinda elementos novedosos, además es aplicable y con gran aceptación para estructuras rocosas estratificadas tanto para obras subterráneas como superficiales.

Palabras claves: Agrietamiento, Bloquicidad, Estratificado, Geomecánica, Empírico Sostenimiento, Método numérico.

ABSTRACT

This work was carried out within the area of direct influence of the La Rinconada mine. Located in the Eastern Cordillera of Southern Peru, in the department of Puno, San Antonio de Putina province, Ananea district. Whose coordinates U.T.M., 451806.40 E, 8383466.98 N, at an altitude of 4,850 meters above sea level. Having this stratified geology presents a great blockiness, and cracking that is why we propose the following methods of solid rock characterization by estimating RMR and GSI. Where an assessment of the physical-mechanical properties of the rocks, cracking and blockiness was made, in order to propose safe tillage measures for underground mining excavations using empirical and numerical methods appropriate for their stability. From the evaluation carried out, it was concluded that the massif is composed of areas of rocks of different quality: good, and regular. as a geotechnical domain of the properties of discontinuities, it gave the type of failure due to the wedge effect. As a result, the support for active reinforcement will be applied, controlling the dangers of rockfall and raising the safety factor in the mining unit. In summary, it can be noted that the geomechanical conditions of the rocky environment of the reservoir under evaluation are variable, and are related to the degree of alteration and stratification to which the rocky environment has been subjected, for this reason, the mining method must be associated with the natural conditions found in the site. The developed research methodology (RMR and GSI) provides novel elements, it is also applicable and with great acceptance for stratified rock structures for both underground and surface works.

Key words. Cracking, Blockiness, Geomechanical, Empirical, support, numerical method

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos meses del año 2018 la unidad minera la Rinconada presentó algunas zonas debilitadas por la presencia de rocas agrietadas y algunos bloques de roca colgados, poniendo en riesgo de caída de roca al personal que transita por la U. M y esto llevo a la caracterización del macizo rocoso de forma más detallada y con resultados más certeros en cuanto a la estimación de calidad del macizo rocoso.

Otro método del análisis de la Bloquicidad 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. (Dinis da Gama y Bastos ,1994),

La metodología de investigación, por el diseño de investigación es una investigación de campo, ya que “consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental” (Fidias G., 2012, p. 31)

La Caracterización del macizo rocoso se describe como la recopilación de la información necesaria relativa a las

propiedades y características del macizo rocoso, La recolección de los datos debe definir e identificar todos los rasgos estructurales que controlan la estabilidad de la obra subterránea a ser construida. (Calderon.2018)

Cuando se dispone de muy poca información de la masa rocosa, de los esfuerzos in situ y de las características hidrológicas; la utilización de los esquemas de clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos puede ser muy beneficiosa, a fin de obtener estimaciones iniciales de la resistencia y deformación del macizo rocoso.

Verificando así la variabilidad económica de ejecución, existirá la necesidad de un mayor detalle de los parámetros de caracterización.

En otro enfoque, la caracterización del macizo puede eventualmente ser decidida con los trabajos durante la ejecución de la obra. Sin embargo, no es un buen procedimiento, porque los problemas serán mayores y las soluciones más caras.

Los estudios de caracterización podrán identificar tales problemas a tiempo, de modo que, la solución a ser empleada sea prevista con alguna anticipación, Entonces, la caracterización debe ser hecha antes de la definición del trazado y casi siempre, ajustada durante la ejecución de la obra. Los parámetros serán combinados, para su aplicación y serán descritos en forma individual.

La caracterización del macizo rocoso requiere utilizar los sistemas de clasificación geomecánica reconocidos como: RMR, Q, GSI, RMI y otros que pueden ser utilizados. El objetivo de la caracterización geomecánica es,

cuantificar los parámetros geotécnicos del macizo rocoso. Para la evaluación de resultados, los datos de campo pueden ser analizados e interpretados con la ayuda de software geológicos especializados como el DIPS, UNWEGE, ROCKLAB, FPHASES y otros. Para la elaboración de planos, el AutoCAD, ArcView, Mapinfo, ArInfo, etc.

II. MÉTODOS Y MATERIALES.

El presente trabajo de investigación es de carácter inductivo, conforme a los propósitos de la investigación; el estudio se ubica en el nivel descriptivo porque se describe el proceso de caracterización del macizo rocoso en la UM la Rinconada. dividida por cotas.

2.1 METODOLOGÍA

La metodología por el nivel de investigación es descriptiva, ya que “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere” (Fidias G., 2012, p. 24), según su clasificación se toma los estudios de medición de variables independientes, donde “su misión es observar y cuantificar la modificación de una o más características en un grupo, sin establecer relaciones entre éstas. Es decir, cada característica o variable se analiza de forma autónoma o independiente.” (Fidias G., 2012, p. 25)

La metodología de investigación, por el diseño de investigación es una investigación de campo, ya que “consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios),

La metodología por el nivel de investigación es descriptiva, ya que “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere” (Fidias G., 2012, p. 24), según su clasificación se toma los estudios de medición de variables independientes, donde “su misión es observar y cuantificar la modificación de una o más características en un grupo, sin establecer relaciones entre éstas. Es decir, cada característica o variable se analiza de forma autónoma o independiente.” (Fidias G., 2012, p. 25)

Las variables por su naturaleza son cuantitativas porque usamos valores numéricos para evaluar la calidad del macizo rocoso, asimismo, son discretas porque usa valores enteros (sin decimales), por su complejidad son complejas porque se pueden descomponer en dos dimensiones como mínimo.

2.1.1 EL ÍNDICE DE ESFUERZO GEOLÓGICO (GSI)

La clasificación geomecánica GSI fue propuesta por Hoek & Brown, con el fin de buscar un criterio que se pudiese aplicar de

forma rápida en campo, a partir de observaciones geológicas, y se convirtió en uno de los sistemas más utilizados debido a su practicidad y confiables resultados. El GSI se basa principalmente en dos parámetros para establecer una calidad de la roca, los cuales son: el Rock Quality Designation (RQD), a partir del cual se evalúa que tan fracturada esta la roca; y la resistencia a la compresión uniaxial (RCU). Este sistema de clasificación otorga resultados más confiables cuando se trabaja con rocas de baja calidad, donde otros criterios de clasificación (como el NGI y RMR) fallan al depender en sus expresiones del valor numérico RQD (que en rocas de estas condiciones casi

siempre es cero) muestra la tabla GSI propuesta por Hoek y Brown para clasificación de macizos rocosos, que compara visualmente las características del terreno; por ejemplo, si se observa una roca con una buena superficie (rugosa, ligeramente meteorizada o manchada con hierro) y una superficie fracturada (bloques formados por tres sistemas de discontinuidades), se tiene un GSI de entre 60 y 70. El criterio de clasificación del GSI se utiliza como una herramienta de selección del tipo de malla de perforación para el arranque con voladuras adecuada para cada terreno. En el capítulo 2.3 se muestra que el principal parámetro de control en las mallas de

		CONDICIONES SUPERFICIALES			
		BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) Superficies de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas. (rc 100 a 250 MPa) (se rompe con varios golpes de la picota).	REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) Discontinuidades rugosas, levemente alteradas, manchas de oxidación, ligeramente abiertas (rc. 50 a 100 MPa) (se rompe con uno o dos golpes de la picota)	MALA (MODR. RESIST. LEVE A MODERADA, ALTERADA) Discontinuidades lisas moderadamente alteradas, ligeramente abiertas (rc. 25 a 50 MPa) (se indenta superficialmente con golpes de la picota)	MUY MALA (BLANDA MUY ALTERADA) Superficie pulida o con estrías, muy alterada relleno compacto o con fragmentos de roca (rc. 5 a 25 MPa.) (Se indenta mas de 5mm.).
		ESTRUCTURA			
	(Modificado) A SIN SOPORTE - PERNOS OCASIONALES B PERNOS SISTEMATICOS 1.50 X 1.50 m. (Malla o cinta ocasional) C PERNOS SISTEMATICOS 1.20 X 1.20 m. (Malla o cinta ocasional) D PERNOS SISTEMATICOS 1.00 X 1.00 m. Malla o refuerzo obligatorio (SHOCRETE 5.0 cm. Sin fibra) E PERNOS SISTEMATICOS 1.00 X 1.00 m. Mas (SHOCRETE 5.0 cm. Con fibra) F PERNOS SISTEMATICOS 1.00 X 1.00 m. Mas SHOCRETE 10.0 cm. Con fibra. (Cimbra o Cuadro de madera)				
	LEVEMENTE FRACTURADA tres o menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre si (RQD 75-90%) 2 a 6 fracturas por metro	(A) LF/B	(A) LF/R	(C) F/M	—
	MODERADAMENTE FRACTURADA muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales (RQD 50 a 75%) (6 a 12 fracturas por metro)	(A) F/B	(A) F/R	(A) LF/M	(D) F/MM
	MUY FRACTURADA moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades (RQD 25 a 50%) (12 a 20 fracturas por metro)	(A) MF/B	(C) MF/R	(D) MF/M	(E) MF/MM
	INTENSAMENTE FRACTURADO plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES (RQD 0 a 25%) (MAS DE 20 FRACTURAS POR METRO).	(C) I/B	(D) IF/R	(E) IF/M	(F) IF/MM

Figura 1 TABLA GSI

perforacion es el espaciamento, por lo que la tabla geomecánica construida busca. Correlacionar el GSI con esta variable. (Hoek, et al. 1995)

2.1.2 INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (RQD)

Fue desarrollado por (Deere ,1967), provee una estimación cuantitativa de la calidad de la masa rocosa a partir del registro de perforaciones diamantinas.

El RQD se define como el porcentaje de piezas de roca intacta mayores que 100 mm., que se recuperan enteras del largo total del barreno.

El testigo debería tener al menos 50 mm., recuperado con una perforadora diamantina de doble carril. Generalmente se da un valor de RQD para cada dos metros de perforación.

Esta operación es bastante sencilla, rápida y, se ejecuta conjuntamente con el registro geológico normal del sondeo.

$$RQD = \frac{\text{Sumatoria de longitudes de piezas mayores de 100mm}}{\text{longitud total del barreno}}$$

Deere propuso la siguiente relación entre el valor numérico RQD y la calidad de la roca.

Tabla 1 Relación entre el RQD y la Calidad del macizo rocoso

RQD	CALIDAD DE ROCA
25%	Muy mala
25-50%	Mala
50-75%	Regular
75-90%	Buena
90-100%	Muy Buena

Merrit que el criterio de refuerzos RQD tiene limitaciones en el caso de que exista fracturas

con rellenos delgados de arcilla o de material meteorizado. Este caso puede presentarse cerca de la superficie donde la meteorización y las infiltraciones hayan producido arcilla, lo que reduce la resistencia a la fricción a lo largo de los planos de fractura. Esto genera una roca inestable aún si las fisuras están muy separadas una de otra y el valor de RQD es alto.

El RQD no toma el factor orientación de las discontinuidades lo cual es muy importante

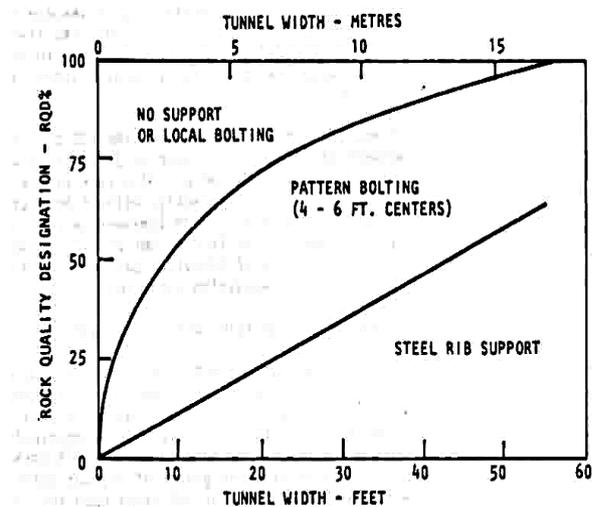


Figura 1 Proposición del uso del RQD para escoger el soporte de roca (Según Merrit).

para el comportamiento de la roca alrededor de una obra subterránea.

2.1.3 CLASIFICACIÓN ROCK MASS RATING RMR:

Bieniawski, en 1976, publicó su clasificación de masas rocosas llamada Clasificación Geomecánica o Rock Mass Rating. Con el pasar de los años, este sistema ha sido refinado sucesivamente cambiando los índices asignados a cada uno de los parámetros de

clasificación. El sistema que se presenta data de 1989 y es la más reciente.

Bieniawski utilizó 6 parámetros para clasificar las masas rocosas haciendo uso del sistema Rock Mass Rating:

1. Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta.
2. Rock Quality Designation (RQD)
3. Espaciamiento de discontinuidades.
4. Condición de discontinuidades.
5. Condición de agua subterránea.
6. Orientación de discontinuidades.

Para aplicar este sistema, la masa rocosa debe dividirse en áreas llamadas dominios estructurales; cada uno de éstos debe clasificarse separadamente. La periferia de los dominios estructurales generalmente coincide con una estructura mayor o cambio del tipo de roca. En algunos casos, cambios significantes en el espaciamiento o características de las discontinuidades, dentro de un mismo tipo de roca, pueden hacer necesario dividir la masa rocosa en varios dominios estructurales pequeños.

El sistema Rock Mass Rating se presenta en las tablas siguientes, los cuales proporcionan los índices para cada uno de los seis parámetros listados arriba. Estos índices se suman y dan un valor R.M.R.

Bieniawski publicó, en 1989, una serie de reglas para la selección del sostenimiento en túneles ejecutados en masas rocosas que han sido valorados con el sistema R.M.R.

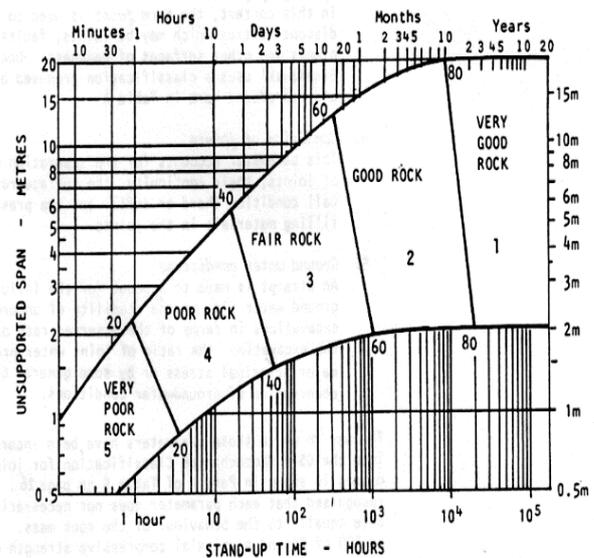


Figura 3 Relaciones entre el tiempo libre de autosostenimiento de una excavación subterránea con la clasificación geomecánica CSRI de Bieniawski

Estas reglas se han publicado para túneles de 10 m de ancho, construidos utilizando métodos convencionales de perforación y voladura, asumiendo esfuerzos verticales menores a 25 MPa (equivalente a una profundidad menor de 900 m).

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 Designation de Deere de 1964) según López-Jimeno (1998).

Técnicas de Recolección de Datos para el

Según el formato de mapeo Geomecánico, la técnica aplicada para la presente investigación es por *observación*, que “es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la

naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos.” (Fidias G., 2012, p. 69) y dentro de estas es una observación participante ya que formamos parte del medio donde se realiza el estudio, también es una observación estructurada, porque usamos una guía diseñada previamente (Anexo E), de reglamento de seguridad 2018 en la que se especifican los elementos que serán observados.

La recolección de datos se hace mediante el mapeo geomecánico por estaciones, donde se obtuvo todas las características geomecánicas para la presente investigación. De ellos se obtienen los parámetros y propiedades que definen las condiciones del macizo rocoso.

Para el presente estudio se tomarán los datos de los caracteres geomecánico del macizo rocoso haciendo el uso del formato de mapeo que se encuentra en el Anexo E. Se tomará en cuenta lo siguiente:

✓ **Orientación de las discontinuidades**

Las orientaciones de las discontinuidades fueron tomadas con la forma de buzamiento (DIP) y dirección de buzamiento (DIP DIR). Se tomaron 571 datos recaudados con una brújula Brunton Geo a lo largo de la galería (ver Anexos H al K). Los datos fueron procesados en el software Dips v.6.0 de Rocscience.

✓ **Espaciado entre discontinuidades**

El término discontinuidad se refiere a juntas, estratificación o foliación, zonas de corte, fallas menores y otras superficies de debilidad. La distancia lineal entre dos discontinuidades adyacentes debe ser medido para todas las familias de discontinuidades. (...) La presencia

misma de discontinuidades reduce la resistencia del macizo rocoso y su espaciado rige el grado de dicha reducción (Bieniawski, 1973).

✓ **Índice de volumétrico de discontinuidades**

El índice volumétrico de discontinuidades, J_v , se define como la suma del número de discontinuidades por metro de cada una de las familias existentes.

$$J_v = \sum_{i=1}^j \left(\frac{1}{S_i} \right) \dots 0$$

Donde: S_i = espaciamiento de juntas promedio en metros

El macizo rocoso presenta tres familias y por ello $J=3$

✓ **Persistencia de discontinuidades**

Es la distancia de la discontinuidad se mide en metros.

✓ **Abertura de discontinuidades**

Es la distancia de una junta con otra se mide en mm.

✓ **Relleno en las discontinuidades**

Es el relleno en las discontinuidades ya sea blando o duro

✓ **Rugosidad de las discontinuidades**

Es la aspereza de la junta se mide en espejo de falla liso rugoso muy rugoso

✓ **Meteorización de discontinuidades**

Es el grado de intemperización de una junta.

✓ **Resistencia de las paredes de discontinuidades**

Este parámetro incluye superficies de rugosidad de la superficie de discontinuidad, su apertura,

longitud de continuidad, desgaste (meteorización) de la pared rocosa o planos de debilidad y material de relleno (cavidad)..

✓ Agua en las discontinuidades

Para túneles, la cantidad de infiltración de agua subterránea en litros por minuto por cada 10 m de longitud del túnel debe ser determinada, o una condición general puede ser descrita como completamente seco, húmedo, mojado, goteo o flujo.

Técnicas para el procesamiento de la información

Para el procesamiento de la información se prestará ayuda de programas de computación exclusivos para el procesamiento de datos e interpretación de datos. Los datos de la caracterización geomecánica serán almacenados en el software Microsoft Excel. Las orientaciones de las discontinuidades serán procesadas en el software Dips v.6.0 de Rocscience.

✓ Índice volumétrico y tamaño de bloques.

Según (Oyanguren y Monge ,2004) indican que, el índice volumétrico de discontinuidades, Jv , se define como la suma del número de discontinuidades por metro de cada una de las familias existentes. El cálculo de Jv se debe realizar a partir de los espaciados medios de las familias.

Según (Bhawani y R.K. 2011) indican que, “El conteo de discontinuidades volumétricas Jv es para medir la cantidad de discontinuidades dentro de una unidad de volumen del macizo rocoso” y esta se muestra en la siguiente ecuación

$$Jv = \sum_{i=1}^J \left(\frac{1}{S_i} \right) \dots 0$$

Donde S_i es el espaciamiento de discontinuidades promedio en metros para las i -ésimas familias de discontinuidades y J es el número total de familia de discontinuidades excepto la familia de discontinuidades aleatorias

2.2 MATERIALES

Creada por el investigador en base a las normas sugeridas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) y contiene los parámetros del sistema de clasificación RMR los cuales son: tipo de roca, tipo de sistema de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, intemperización y presencia de agua. Adicionalmente se registraron datos de resistencia y del grado de fracturamiento de la roca para definir el RQD (Rock Quality Designation).

Para el registro de los datos en nuestro instrumento, se necesitará también el uso de las siguientes herramientas:

- Martillo de geólogo (pica); Este instrumento es utilizado para determinar la dureza de la roca intacta mediante golpes.
- Flexómetro; Utilizado para medir longitudes de las discontinuidades.
- Laptop; Herramienta donde se procesarán todos los datos obtenidos.
- Brújula; Utilizado para la recolección de data estructural.

III. RESULTADOS

Una vez caracterizado se podrá realizar el diseño de sostenimiento para las labores de desarrollo en la., mina- La Rinconada.

Se apoyará con la Proponer los modelos Geomecánico más representativos de los macizos rocosos de la mina rinconada. Así también se propondrá criterios geomecánico estructurales que permitan un mejor diseño de excavaciones y obras subterráneas en la mina la rinconada.

Como se ha dicho anteriormente la evaluación de las rocas se efectuó por sectores de excavación, entre los que se encontraron aquellos influenciados por las fallas, por el intenso agrietamiento, por la afluencia de agua, por las características específicas de método de explotación (cámaras y pilares) así como para los sectores más sanos y secos.

Al analizar los resultados llegamos a la conclusión de que los tramos altamente agrietados, en zona de fallas, etcétera, se comportaban, como promedio, similar a los tramos afectados por la afluencia de agua; es por esta razón que en las tablas de evaluación de estabilidad se muestran los resultados promedios para las rocas en estado seco y saturado. Estos resultados muestran que las calidades de los macizos rocosos de las obras de estudio varían considerablemente, pudiendo encontrarse en una misma obra. Rocas desde muy buenas hasta extremadamente malas, influyendo en esto el estado de los mismos, es por ello la significativa importancia de estudiarlos y tratarlos de forma diferenciada.

Que aparece a continuación se muestran los valores promedios de los resultados obtenidos con el empleo de la metodología de Bieniawski, para las litologías más características de los macizos rocosos de las obras de estudio. Igualmente se realizó, por la metodología Barton para todas las litologías estudiadas y por la metodología de Bieniawski para las restantes.

3.1 MODELADO GEOMECANICO U.M RINCONADA NIVEL SANTA MARÍA SUPERIOR

- ✓ **Orientación de las familias de discontinuidades predominantes en U.M. Rinconada nivel Santa María superior.**

Tabla 2 Dirección de las Familias Predominantes uci U.M. Rinconada nivel Santa María Superior.

. Familias	Dip	Dip Dir
1	9	239
2	76	84
3	60	14

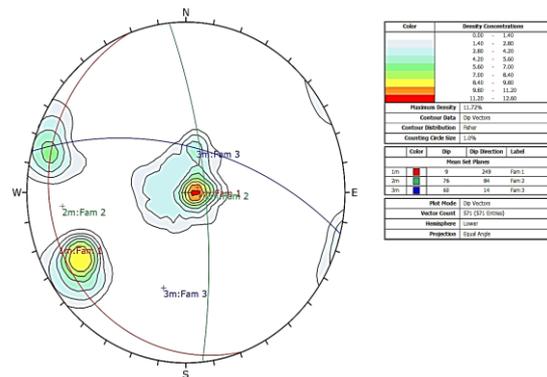


Figura 2 Proyección estereográfica, distribución de polos del macizo rocoso U M rinconada Nivel Santa María Superior

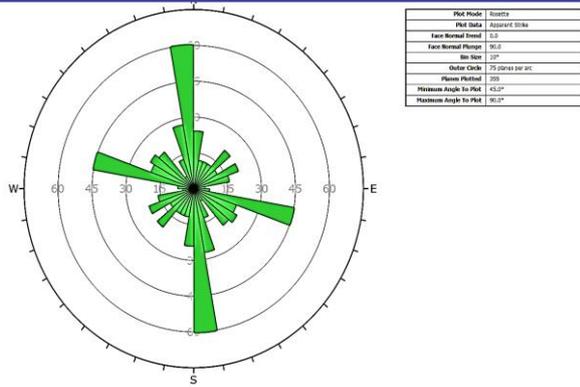


Figura 3 Tiempo de auto sostenimiento vs tramo sin sostener U.M. Rinconada nivel Santa María Superior

- Espaciado entre discontinuidades

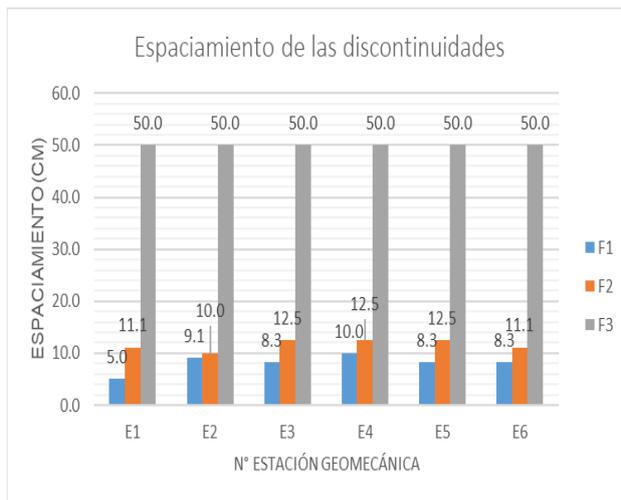


Figura 4 Espaciamiento de las discontinuidades en U.M. Rinconada nivel Santa María Superior

- Índice de volumetrico de discontinuidades

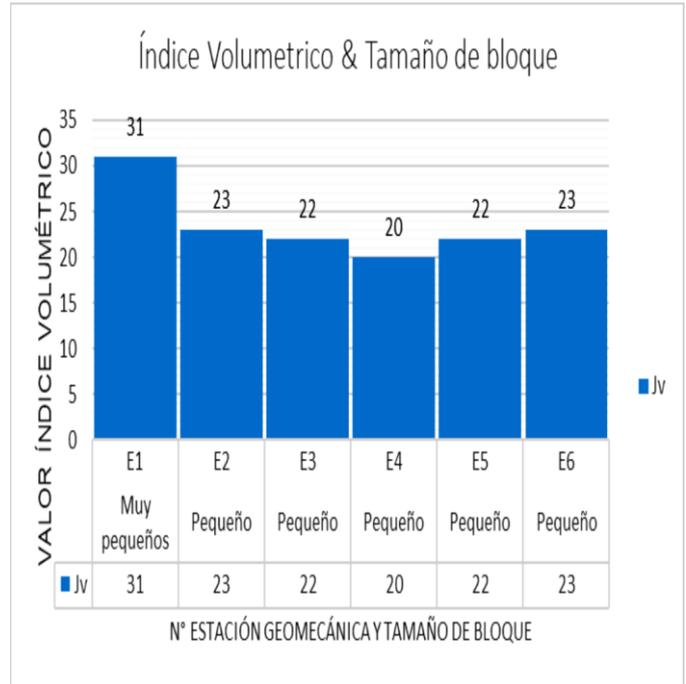


Figura 5 Índice volumétrico y tamaño de bloque en U.M. Rinconada nivel Santa María Superior

- Persistencia de discontinuidades

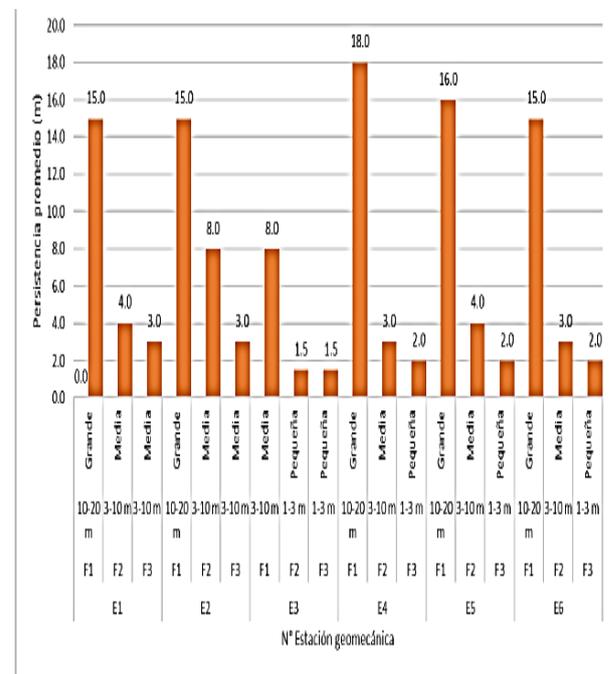


Figura 6 Persistencia de discontinuidades U.M. Rinconada nivel Santa María Superior

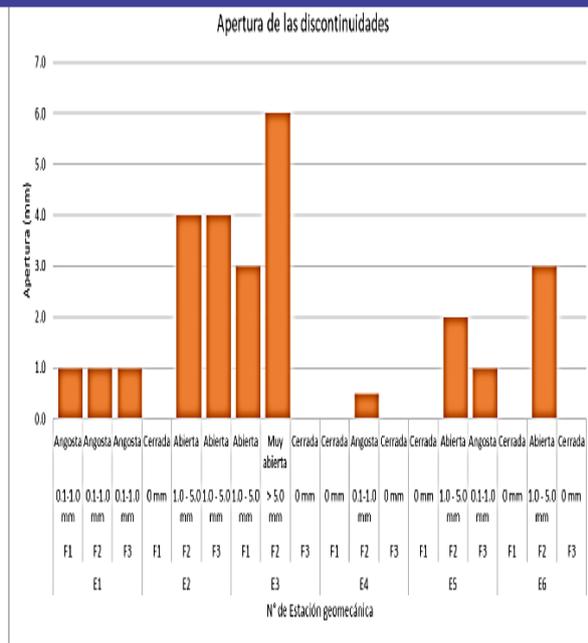


Figura 7 Apertura de las discontinuidades U.M. Rinconada nivel Santa María Superior.

3.2 CARACTERISTICAS GEOMECAÑCIAS U.M. RINCONADA NIVEL SANTA MARIA SUPERIOR.

✓ **-Relleno en las discontinuidades**

Tabla 3 Relleno de discontinuidades U.M. Rinconada nivel Santa María Superior.

FAMILIA	TIPO DE RELLENO
F1	Relleno blando <5mm
F2	Relleno blando <5mm
F3	Relleno blando <5mm
F1	Ninguno
F2	Ninguno
F3	Ninguno
F1	Relleno blando <5mm
F2	Ninguno
F3	Ninguno
F1	Ninguno
F2	Relleno blando <5mm
F3	Ninguno
F1	Ninguno
F2	Ninguno
F3	Ninguno
F1	Ninguno
F2	Relleno blando <5mm
F3	Ninguno

Fuente propio

✓ **Rugosidad de las discontinuidades**

Tabla 4 U.M. Rugosidad de las discontinuidades Rinconada nivel Santa María Superior.

FAMILIA	RUGOSIDAD
F1	Rugoso
F2	Ligeramente rugoso
F3	Ligeramente rugoso
F1	Lisa
F2	Ligeramente rugoso
F3	Lisa
F1	Ligeramente rugoso
F2	Lisa
F3	Ligeramente rugoso
F1	Rugoso
F2	Rugoso
F3	Rugoso
F1	Ligeramente rugoso
F2	Ligeramente rugoso
F3	Ligeramente rugoso
F1	Ligeramente rugoso
F2	Ligeramente rugoso
F3	Ligeramente rugoso

Fuente propio

✓ **Meteorización de discontinuidades**

Tabla 5 Meteorización de discontinuidades U.M. Rinconada nivel Santa María Superior.

FAMILIA	ALTERACION
F1	Ligeramente
F2	Ligeramente
F3	Ligeramente
F1	Ligeramente
F2	Ligeramente
F3	Ligeramente
F1	Ligeramente
F2	Ligeramente
F3	Ligeramente

Fuente propio

IV. DISCUSION

✓ **Resistencia a la compresión uniaxial uci**

Tabla 6 Resistencia a la compresión uniaxial uci U.M. Rinconada nivel Santa María Superior.

FAMILIA	RESINTENCIA	TIPO DE ROCA
F1	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
F2	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
F3	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
F1	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
F2	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
F3	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
F1	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
F2	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
F3	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
F1	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
F2	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
F3	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
F1	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
F2	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
F3	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
F1	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
F2	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
F3	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte

Fuente propio

✓ **Agua en las discontinuidades**

Tabla 7 Agua en las discontinuidades uci U.M. Rinconada nivel Santa María Superior.

FAMILIAS	PRESENCIA DE AGUA
F1	Mojado
F2	Mojado
F3	Mojado
F1	Mojado
F2	Mojado
F3	Mojado
F1	Goteando
F2	Goteando
F3	Goteando
F1	Húmedo
F2	Húmedo
F3	Húmedo
F1	Fluyendo
F2	Fluyendo
F3	Fluyendo
F1	Mojado
F2	Mojado
F3	Mojado

Fuente propio

(Calderón, 2018) concluye que las características geomecánico del macizo rocoso presentes en la galería, sí están controladas por las características estructurales y de las discontinuidades, dentro de estas últimas las condicionantes fueron: la orientación de las discontinuidades, el espaciado, la persistencia, la rugosidad de las discontinuidades, la apertura, el relleno, meteorización, alteración y la presencia de agua. La aplicación de las metodologías que es la estimación por RMR y GSI propuestas para este tipo de análisis cumple con los objetivos de la investigación y resultados que se aproximan a la realidad de la zona de estudio.

La caracterización geomecánica del macizo rocoso es esencial para la determinación del tipo de sostenimiento de la mina la rinconada, tal cual se demuestra con la presente investigación. Se tomaron datos de la caracterización geomecánica, las proyecciones estereográficas más influyentes, condiciones de discontinuidades, entre otros, para la determinación del tipo de sostenimiento según Bieniawski y Barton. Se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 2.0 para las diferentes estaciones geomecánicas; que indica que no habrá problemas de sostenimiento si se cumple con los parámetros de sostenimiento establecidos para cada sector. Al realizar el diseño de sostenimiento se determinó que la variación de la calidad de macizo rocoso en cada sector hace que varíen los diseños de

sostenimiento, en las seis estaciones se mantienen los factores de seguridad.

Sin embargo de en esta investigación deducimos que para la evaluación y caracterización del macizo rocoso se debe realizar estaciones geomecánicas previa limpieza y demarcación de la zona a evaluar, en una área aproximada de 3m x 3m, midiendo y anotando datos de las principales como: la orientaciones de las principales familias de discontinuidades, resistencia a la compresión simple, mediante métodos manuales (uso del martillo o picota geológica), RQD, espaciamiento, persistencia, separación, rugosidad, relleno de las discontinuidades, meteorización y condiciones de humedad; estos datos permitirán estimar los índices de calidad del macizo rocoso, como son índice RMR de Bieniawski y GSI.

En los macizos estudiados se presentan situaciones en que ellos se comportan como un medio discreto, las más comunes son: la presencia de sectores del macizo fracturado en bloques de formas más o menos regulares que yacen con alguna inclinación respecto al eje de la excavación; también en ocasiones se presentan situaciones con bloques acuñaos que tienden a deslizarse hacia la excavación y en no pocos casos sectores triturados del macizo.

- ✓ *Macizo fracturado en bloque:* Para macizos agrietados con la formación de capas de rocas regulares o irregulares por el techo de la excavación, se considera que

la zona de destrucción en general no es simétrica respecto al techo,

- ✓ *Macizos con la presencia de bloques acuñaos:* Cuando el macizo presenta la acción de bloques acuñaos (cuñas) que tienden a deslizarse hacia la excavación.
- ✓ *Macizo triturado:* Cuando el agrietamiento es caótico (desordenado), se forma en el techo y en ocasiones en los hastiales una zona de roca muy fracturada.

V. CONCLUSIONES

La caracterización geomecánica es adecuada dada a la confiabilidad de los resultados y predicción de sucesos y adecuado tipo de sostenimiento.

Se establecen las principales características geomecánicas del macizo rocoso la bloquidad y grado de agrietamiento, estudiado y se proponen los modelos geomecánicos más representativos para cada caso.

Los resultados del estudio del agrietamiento de los macizos rocosos muestran que un gran porcentaje de ellos se presentan agrietados, lo que se relaciona a las formas preponderantes en que se manifiesta la pérdida de su estabilidad y el mecanismo de actuación de la presión.

Como resultado de la evaluación de la estabilidad de los macizos rocosos según su calidad y estabilidad se obtiene que predominan los macizos de calidad regular, aunque en diferentes sectores y obras se presentan macizos en mal estado, lo que es condicionado, además, de por los problemas estructurales, por el

deterioro que ellos han sufrido por efectos del agua, la erosión y la atmósfera subterránea.

Se obtienen un grupo de criterios geomecánicos y una acertada clasificación de calidad de roca por el método RMR(Bieniawski,1986) y. El índice de esfuerzo geológico (GSI).

REFEERENCIAS

- Hoek E. (1994). Strength of rock and rock masses. *ISRM News Journal*, 2(2).
- Fidias G., A. (2012). *El proyecto de investigación*. (Episteme, Ed.) (6ta Edición). Caracas.
- López-Jimeno, C. (2012) *Manual de rocas ornamentales: prospección, explotación, elaboración y colocación*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Miranda-Castro, G. A y Niño-Flórez, 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*
- 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.
- 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.