



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



**“APLICACIÓN DE LA GEOMECANICA EN LA MINERIA  
SUBTERRANEA”**

**EXAMEN DE SUFICIENCIA DE COMPETENCIA PROFESIONAL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ELMER ANTONIO BARRIOS APAZA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO - PERU**

**2019**



## DEDICATORIA

*A mis padres Alejandro y Teófila que con su amor, perseverancia y comprensión apoyaron a que sea consecuente con mis ideales y firme con mis decisiones.*

*También dedicarle a mi esposa Deycy, mis hijos Yamir y Samir que siempre me brindaron su apoyo.*

**Elmer Antonio Barrios Apaza**



## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, agradezco a mis padres por darme la vida, por los valores y fuerzas para afrontar el día a día, siempre dispuestos a escucharme y darme su apoyo incondicional, también por el sacrificio que ellos realizaron para que yo culmine 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 responder mis preguntas y aclarar mis dudas, impartiendo conocimiento y experiencias que fueron vitales en mi aprendizaje.*

*A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, mi alma mater que me tuvo entre sus aulas durante los años de mi formación profesional, otorgándome parte del conocimiento que eh adquirido y que me servirá en mi desenvolvimiento profesional.*

**Elmer Antonio Barrios Apaza**



## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>RESUMEN</b> .....	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>8</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>II. MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>12</b>
2.1. Clasificación Geomecanica. - .....	13
2.1.1. Designación de la calidad de rocas (RQD). .....	13
2.1.2. Valoración del macizo rocoso (RMR). .....	14
2.1.3. Índice (Q). .....	15
2.1.4. Índice de resistencia geológico (GSI) .....	16
<b>III. RESULTADOS Y DISCUSIONES</b> .....	<b>17</b>
3.1. GENERALIDADES. ....	17
3.2. DESCRIPCION DEL AREA EN ESTUDIO .....	17
3.3. ESTABILIDAD DE LA ABERTURA .....	17
3.4. EVALUACION DE LA ESTABILIDAD EN GALERIAS .....	17
3.5. EVALUACION DE LA ESTABILIDAD EN LABORES DE DESARROLLO	18
3.6. DISEÑO DE SOSTENIMIENTO .....	18
3.7. TIEMPO DE AUTOSOSTENIMIENTO .....	19
3.8. CARTILLA GEOMECANICA PRELIMINAR (GSI).....	20
<b>IV. CONCLUSIONES</b> .....	<b>20</b>
<b>V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>21</b>

**TEMA:** Geomecanica.

**AREA:** Ingeniería De Minas

**FECHA DE SUSTENTACION:** 20 de noviembre 2019



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> RQD vs. Calidad de roca.....	13
<b>Tabla 2.</b> RMR <sub>76</sub> Vs. RMR <sub>89</sub> .....	14
<b>Tabla 3.</b> Valor de ESR Vs. Categoría de excavación.....	15



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> RQD.....	13
<b>Figura 2.</b> Índice de resistencia geológico.....	16
<b>Figura 3.</b> Evaluación de la estabilidad. ....	18
<b>Figura 4.</b> Evaluación de la estabilidad de los bypass y cruceros .....	18
<b>Figura 5.</b> Evaluación del sostenimiento con la tabla empírica de Barton. ....	19
<b>Figura6.</b> Estimación del tiempo de autosostenimiento .....	19
<b>Figura 7.</b> Cartilla geomecanica preliminar para bypass, galería, crucero. ....	20



## **APLICACIÓN DE LA GEOMECHANICA EN LA MINERIA SUBTERRANEA**

### **APPLICATION OF GEOMECHANICS IN UNDERGROUND MINING**

*Bach. Elmer Antonio Barrios Apaza*  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**  
**DIRECCIÓN: AV. FLORAL 1153, CIUDAD UNIVERSITARIA**  
**barrioselmer@gmail.com      cel. 973673774**

### **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación es descriptivo, tiene como objetivo la aplicación de la geomecanica al minado subterráneo, para determinar los diversos parámetros geológicos y geomecánicos, para establecer el comportamiento del macizo rocoso donde se aplicará el sistema de minado con la finalidad de garantizar la estabilidad de dichas labores mineras. Puesto que la aplicación de la geomecanica en las operaciones de minado, es tan necesario en la actualidad para realizar trabajos que optimicen los resultados técnicos de operación. Los estudios geomecánicos están referidos a la determinación de las características del macizo rocoso, mediante el análisis litológico estructural del mismo; para posteriormente establecer el comportamiento mecánico del macizo rocoso, determinando las propiedades físicas, mecánicas y la resistencia compresiva del macizo rocoso y del mineral. El ámbito del estudio se ubica en: Distrito de Cayarani, Provincia de Condesuyos, en el Departamento de Arequipa, en el año 2016 en la Mina Arcata. Para cumplir con el objetivo mencionado, fue necesario realizar trabajos de campo, laboratorio y gabinete., con el fin de obtener la información necesaria, que permitirá evaluar los factores principales del control de la estabilidad, y estimar los parámetros geomecánicos básicos.

**Palabras clave.** Estabilidad, Propiedades físicas; Resistencia compresiva, Análisis litológico, macizo rocoso



## ABSTRACT

The present research work is descriptive, its objective is the application of geomechanics to underground mining, to determine the various geological and geomechanical parameters, to establish the behavior of the rock mass where the mining system will be applied in order to guarantee the stability of said mining work. Since the application of geomechanics in mining operations, it is so necessary at present to perform work that optimizes the technical results of operation. Geomechanical studies are referred to the determination of the characteristics of the rock mass, through the structural lithological analysis of it; to subsequently establish the mechanical behavior of the rock mass, determining the physical, mechanical properties and compressive strength of the rock mass and the mineral. The scope of the study is located in: Cayarani District, Province of Condesuyos, in the Department of Arequipa, in 2016 at the Arcata Mine. In order to fulfill the mentioned objective, it was necessary to carry out field, laboratory and cabinet work, in order to obtain the necessary information, which will allow to evaluate the main factors of stability control, and estimate the basic geomechanical parameters.

**KEY WORDS.** - Stability, Physical properties, Compressive resistance. Lithological analysis, rock mass



## I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación permitirá establecer los lineamientos para cualificar y cuantificar el sistema de información geomecánica, considerando los estándares del ISRM (Society International For Rock Mechanic's) que servirá como base para un análisis detallado y obtener como resultado un adecuado sistema de minado del yacimiento minero de Arcata. Las consideraciones de la calidad de la roca en las diferentes labores mineras y en las diferentes ubicaciones nos conducen a determinar su permanencia de apertura y consecuentemente las consideraciones para poder aplicar un sistema de sostenimiento frente a un posible riesgo de caída de rocas.

La aplicación de la geomecánica en las operaciones de minado, es tan necesario en la actualidad, por lo que, en el presente trabajo de investigación, se puede indicar las siguientes preguntas que se necesita resolver para viabilizar la aplicación de un sistema de explotación de la mina Arcata: ¿Cuáles son las diferentes variables y condiciones geomecánicas, para determinar la calidad del macizo rocoso, en un sistema de información geomecánica, como se obtienen y como se evalúan? ¿Cómo se determinan los parámetros de la Clasificación Geomecánica de Bieniawski - RMR (Rock Mass Rating)

para cuantificar la calidad del macizo rocoso? ¿De qué manera influyen los parámetros de la Clasificación Geomecánica de Bieniawski en la elección de un determinado proceso de minado? ¿De acuerdo a la calidad del macizo rocoso será posible la selección de las características de las labores mineras de desarrollo y preparación y la selección del método de explotación adecuada en la Mina Arcata? Las respuestas dadas a las preguntas establecidas nos permiten concretizar que la aplicación de la geomecánica es un proceso de suma importancia para establecer condiciones operativas adecuadas en un sistema de explotación de un yacimiento y en este caso en los Yacimiento de la mina Arcata.

Los sistemas de clasificación de los macizos rocosos tienen por objetivo, aplicar la geomecánica para evaluar sus características y determinar de forma cuantitativa su calidad. Su caracterización requiere el conocimiento de los siguientes parámetros: La resistencia y comportamiento de la roca. Familias de discontinuidades existentes. Espaciado de los planos de discontinuidad y fracturación del macizo, caracteres geomecánicos de las discontinuidades, condiciones del agua en las juntas. Tensiones in situ, naturales o



inducidas, alteraciones producidas en el macizo rocoso por las excavaciones.

Según (Torres-Yupanqui, Ruiz-Castro, Daga-Huaricanha, 2009) Los estudios geológicos y geomecánicos son necesarios para diseñar el sistema de explotación de un proceso de minado.

Según (Cordova-Rojas, 2008) “La ingeniería de minas moderna ha adoptado a la geomecánica como una herramienta tecnológica importante para lograr mejores condiciones de seguridad y eficiencia en las operaciones mineras. Las actividades geomecánicas que se realizan en una mina subterránea requieren ser conducidas en un medio ambiente organizacional que permita la integración de conceptos, información y actividad analítica de parte del personal involucrado con la explotación de la mina.”

Según (Vidaure, 2018) “Creado el Departamento de Geomecánica debe realizarse la cuantificación de los parámetros para determinar la calidad del macizo rocoso mediante la clasificación geomecánica de Bieniawski RMR y Barton Q, siendo necesaria la aplicación del sistema de información geomecánica, estandarizado por el ISRM (Society Internacional For Mechanic’s), cuyo procedimiento es de caracterizar el macizo rocoso, mediante el levantamiento litológico-estructural, la

caracterización de los componentes mecánicos de la masa rocosa, mediante los ensayos de laboratorio, que nos determinan las propiedades físico-mecánicas de las rocas y el mineral, los ensayos in-situ, como es el caso de la utilización del martillo Schmidt para estimar la resistencia compresiva de la roca y mineral, y mediante las clasificaciones geomecánicas determinar los dominios estructurales.”

Según (Cordova-Rojas,2008) En la industria minera, la geomecánica tradicionalmente ha sido considerada como un asunto ligado primordialmente a la seguridad. Actualmente, además de la seguridad, hay un reconocimiento creciente sobre su impacto en los aspectos económicos de las operaciones mineras. Por estas razones está habiendo importantes progresos en integrar esta herramienta tecnológica dentro del proceso cotidiano de toma de decisiones en la operación minera

Según (Aceijas-Pérez,2019) “la excavación de un túnel en un medio rocoso produce inevitablemente desequilibrio de la masa circundante en un corto periodo de tiempo lo que origina deformaciones en el medio rocoso, a veces en un corto periodo de tiempo, las que hay que tener presente para asegurar la estabilidad del túnel mediante la aplicación de sostenimiento oportuno y



eficiente. Por otra parte, un túnel puede atravesar rocas de distinta competencia duras a blandas y las fallas de los macizos se pueden presentar por zonas de debilidad o de discontinuidad estructural. Las rocas blandas fallan principalmente a través del cuerpo de la masa rocosa y menos a través de sus defectos estructurales”

Según (Kartaya -Pire, 2006) “A partir del conocimiento de las propiedades de los macizos rocosos y de su caracterización geomecánica es posible analizar particularmente en cada situación que se presenta las formas de su comportamiento mecánico – estructural, lo que sin lugar a dudas, reviste gran importancia para garantizar un diseño más seguro y económico de la obra subterránea.”

Según (Arzúe, Alejandor, & Perez-Rey, 2013) “Las clasificaciones geomecánicas se utilizan mucho actualmente, sobre todo en los estudios geotécnicos de túneles, (donde de los diez mil kilómetros de túneles y galerías que se excavan anualmente aproximadamente un 80 % se excavan atendiendo únicamente a la clasificación geomecánica de los terrenos), pero es conveniente aplicarlas no perdiendo de vista los datos sobre los que se fundamentan.”

Según (Cervantes, 2011) “El método Rock Mass Rating (RMR) para la

clasificación de macizos rocosos fue desarrollado por Bieniawski (1972). Este método permite, de forma sencilla, estimar la calidad del macizo rocoso, mediante la cuantificación de parámetros de fácil medición, los cuales se establecen en el campo de manera rápida y con costos económicos mínimos. El método RMR incluye los siguientes parámetros: resistencia a la compresión uniaxial de la roca, Rock Quality Designation (RQD), espaciamiento de discontinuidades, condición de las discontinuidades, condición del agua subterránea y orientación de las discontinuidades.”

Según (Ortega Ramos, Jaramillo Gil, Molina Escobar, & Escobar, 2016) “Los modelos de clasificación geomecánica de macizos rocosos son una herramienta muy importante en labores de trabajos subterráneos, en especial en minería donde los continuos cambios a los cuales está sometido éste hacen que se presenten condiciones inestables en la roca; en las cuales se vuelve necesario el uso de sistemas de fortificación que eviten el colapso de los túneles. Además de la aplicación antes mencionada, los sistemas de clasificación geomecánica pueden ser utilizados para cualquier operación donde la calidad del macizo afecte la eficiencia de ésta, como lo



es el caso de la perforación y voladura de roca.”

Según (Jimmy Gerardo Cueva Romero & Jhonny lex Arana Cabrera, 2014)“Actualmente la minería es sin duda una de las actividades con mayor riesgo que las personas realizan, constantemente se reportan accidentes en el interior de las labores subterráneas por caída de rocas, es por eso que es necesario cuestionarse ¿Qué se conoce sobre la caracterización geomecánica en minería subterránea durante los años 2013-2019?, para poder entender los fenómenos asociados a los esfuerzos del macizo rocoso, ya que según estudios estadísticos el 23% de los accidentes ocurridos en minaría subterránea son accidentes fatales por inestabilidad de las rocas, ocasionando pérdidas, económicas, productivas y humana.”

## II. MATERIALES Y METODOS

El ámbito de estudio se ubica en:

Distrito de Cayarani, Provincia de Condesuyos, en el Departamento de Arequipa, geográficamente se encuentra al NE del Nevado Coropuna, a 175 Km. Al NE en línea recta de la ciudad de Arequipa dentro del macizo occidental de la cordillera de los Andes, flanco Oeste. Las coordenadas

de la mina Arcata son  $72^{\circ}15''$ , Latitud Oeste  $14^{\circ}50''$  Latitud Sur.

Los materiales utilizados son; textos, bibliografías de diferentes tesis y artículos Para poder determinar la valorización del macizo rocoso nos permitimos utilizar la Clasificaciones Geomecánica Internacionales tales como Clasificación de Bieniawski (RMR89) y el Índice de Resistencia Geológica (GSI), apoyándonos con el uso de software geomecánico para interpretar la orientación de las discontinuidades, estabilidad mediante un factor de seguridad y determinar los esfuerzos actuantes alrededor de una excavación.

Para el presente trabajo de investigación aplicada del tipo descriptivo, donde la población estará constituida por las muestras obtenidas del macizo rocoso que permitirán determinar las características de la misma, desde el punto de vista geomecánico y su condición de estabilidad.

Los instrumentos de investigación estarán constituidos por el martillo Schmidt que permitirá realizar las pruebas de rebote en el macizo rocoso. En caso de rocas incompetentes se hará un muestreo de las mismas para ser analizado en el laboratorio por compresión y consideraciones físicas y mecánicas de la roca.

Teniendo una técnica de procesamiento y análisis de la siguiente manera:

Levantamiento litológico estructural del punto elegido, mediante el método de detalle lineal, determinando las características de las discontinuidades, rumbo, buzamiento, azimut y dirección de buzamiento. Así como el relleno, persistencia, rugosidad, espaciamiento de discontinuidades y presencia de agua.

Mediante clasificaciones geomecánicas como RMR y Q de Barton, se determina la calidad del macizo rocoso.

### 2.1. Clasificación Geomecánica. -

Las clasificaciones geomecánicas tienen como objetivo el de proporcionar una evaluación geomecánica del macizo rocoso que se estudia a partir de ensayos simples, y observaciones de campo.

#### 2.1.1. Designación de la calidad de rocas (RQD).

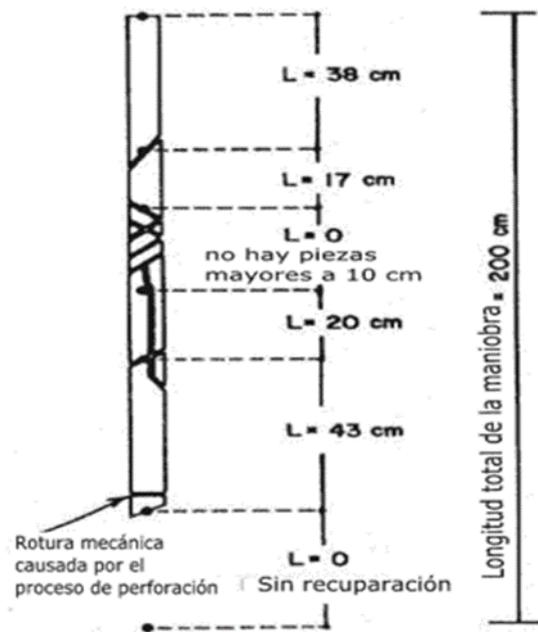
La Designación de la calidad de Rocas (Rock Quality Designation) fue desarrollado por Deere et al. (1967), para estimar cuantitativamente la calidad del macizo rocoso, ver Cuadro 01, basándose en la recuperación de un testigo. Depende indirectamente del número de fracturas y del grado de alteración del macizo.

**Tabla 1.** RQD vs. Calidad de roca

RQD	Calidad de roca
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

Fuente: Deere 1988

El diámetro del testigo tiene que ser igual o superior a 57.4 mm, y tiene que ser perforado con un doble tubo de extracción de testigo. El RQD es el porcentaje de fragmentos de longitud superior a 10 cm, sobre la longitud total del testigo, observar.



**Figura 1.** RQD

Fuente: Deere 1988

Para el cálculo del índice RQD se toma en cuenta la suma total de las longitudes de los fragmentos de testigo mayores que 10 cm y se lo relaciona con la longitud total del tramo

de perforación realizado, mediante la siguiente expresión.

$$RQD = \frac{\sum \text{longitud de testigo} > 10 \text{ cm}}{\text{longitud total logueado}} \times 100$$

### 2.1.2. Valoración del macizo rocoso (RMR).

La valoración del macizo rocoso (Rock Mass Rating), introducido por Bieniawski (1976), es posiblemente la clasificación geomecánica más usada, inicialmente pensado para valorar la estabilidad y los soportes requeridos en túneles, ha resultado ser apto también para la valoración de la estabilidad en taludes. El RMR permite la obtención de la cohesión y ángulo de fricción, parámetros resistentes del criterio de Mohr-Coulomb. En las siguientes ecuaciones se muestran las relaciones entre

RMR y los parámetros resistentes.

$$c = 5 \text{ RMR (KPa)}$$

$$\phi = 5 + 2 \text{ RMR (deg)}$$

Donde  $c$  es la cohesión y  $\Phi$  es el ángulo de fricción.

El RMR es una clasificación geomecánica, en la que se tienen en cuenta los siguientes parámetros del macizo rocoso:

- Resistencia del material intacto que se obtiene mediante ensayo de carga puntual o compresión simple
- RQD

- Espaciado de las discontinuidades, hace referencia a la longitud entre discontinuidades dentro de la zona a estudio.
- Condición de las discontinuidades, que incluye:
- Longitud de la discontinuidad

Una vez obtenido el RMR para el macizo, se pueden obtener los parámetros resistentes, cohesión y el ángulo de fricción.

Hay que tener en cuenta que existen dos versiones para la obtención del RMR, el RMR<sub>76</sub>, del año 1976, y el RMR<sub>89</sub>, del año 1989. Cuadro 02. La diferencia reside en los valores que se les asignan a los parámetros de presencia de agua subterránea, condición de las discontinuidades y RQD conjuntamente con el espaciado de las discontinuidades.

Se muestra la diferencia entre valores que se le dan a los parámetros según el criterio, observe la Figura 03.

**Tabla 2.** RMR<sub>76</sub> Vs. RMR<sub>89</sub>

Parámetro	RMR <sub>76</sub>	RMR <sub>89</sub>
RQD y espaciado de las discontinuidades	8 – 50	8 – 40
Condición de discontinuidades	0 – 25	0 – 30
Presencia agua subterránea	0 – 10	0 – 15

Fuente: Bienwsky (1976)

### 2.1.3. Índice (Q).

Desarrollado por el NGI (Instituto Geotécnico Noruego), basado en un gran número de casos históricos en Escandinavia. (Barton, et al 1974). Propuso un Índice de Calidad de Túneles (Q) para la determinación de las características del macizo rocoso y los requerimientos de soporte del túnel. El valor numérico del índice Q varía en una escala logarítmica de 0,001 a un máximo de 1000.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

Dónde:

RQD: Designación de la calidad de la roca

- J<sub>n</sub>: Número de familias de discontinuidades
- J<sub>r</sub>: Numero de rugosidad de las discontinuidades
- J<sub>a</sub>: Numero de alteración de las discontinuidades
- J<sub>w</sub>: factor de reducción por presencia de agua en las discontinuidades
- SRF: factor de reducción por tensiones.

El primer cociente (RQD/J<sub>n</sub>): Representa el tamaño de los bloques presentes.

El segundo cociente (J<sub>r</sub>/J<sub>a</sub>): Representa la rugosidad y características de resistencia al

corte de las discontinuidades (paredes o relleno).

El tercer cociente (J<sub>w</sub>/SRF): Representa las tensiones activas Presencia de agua y estado tensional para distintos tipos de macizos rocosos.

Cabe recalcar que el índice Q, no incluye la orientación de las discontinuidades.

En relación al valor del índice Q para los requerimientos en la estabilidad y soporte de las excavaciones subterráneas, (Barton et al 1974) define un parámetro adicional a la que llamaron la dimensión equivalente (D<sub>e</sub>), de las excavaciones.

$$D_e; \frac{\text{Apertura excavada (diámetro o altura m.)}}{\text{Ratio de soporte de excavación ESR}}$$

El valor de ESR se relaciona con el uso previsto de la excavación y para el grado de seguridad que se exige del sistema de soporte instalado para mantener la estabilidad de la excavación. Barton et al (1974) sugiere lo siguiente tabla 3.

**Tabla 3.** Valor de ESR Vs. Categoría de excavación

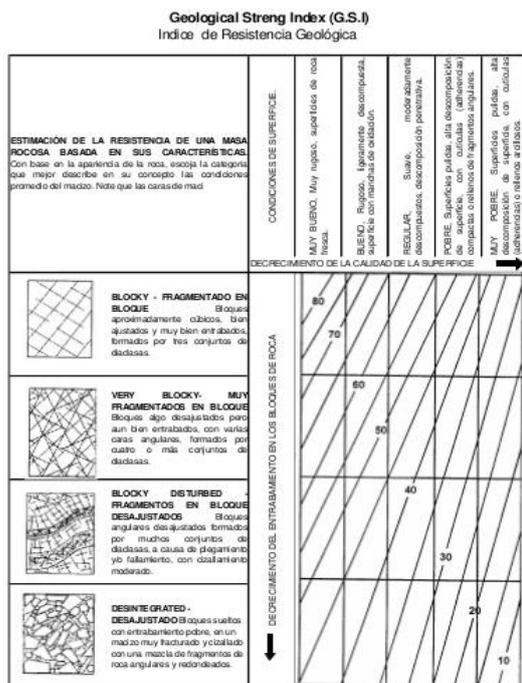
Categoría de excavación	ESR
A: Excavación temporal (mina)	3 – 5
B: Excavación permanente (mina túneles)	1.6
C: Cámaras de almacenaje de agua	1.3
D: Túneles permanentes de trenes	1.0
E: Estaciones subterráneas nucleares	0.8

Fuente: Bartón et.al (1974)

### 2.1.4. Índice de resistencia geológico (GSI)

Con la aparición del criterio de rotura de Hoek & Brown el uso del RMR ya no es adecuado, sobre todo para el caso de rocas débiles, y se introduce de esta forma el GSI (Hoek, et al. 1995)

El GSI es un sistema para la estimación de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo, ver figura 06.



**Figura 2.** Índice de resistencia geológico  
Fuente: Hoek, et al. 1995

Las observaciones se basan en la apariencia del macizo a nivel de estructura y a nivel de condición de la superficie. A nivel de estructura se tiene en cuenta el nivel de alteración que sufren las rocas, la unión que

existe entre ellas, que viene dada por las formas y aristas que presentan, así como de su cohesión. Para las condiciones de la superficie, se tiene en cuenta si ésta está alterada, si ha sufrido erosión o qué tipo de textura presenta, y el tipo de recubrimiento existente.

Una vez realizadas las observaciones se escoge en la tabla la situación que más se acerca a la realidad del macizo a estudio, obteniendo de esta forma, el valor del GSI., los valores del GSI varían desde 1 hasta 100. Los valores cercanos al 1 corresponden a las situaciones del macizo rocoso de menor calidad, es decir con la superficie muy erosionada, con arcilla blanda en las juntas, y con una estructura poco resistente debido a las formas redondas, y a la gran cantidad de fragmentación que sufre el macizo. Por el contrario, valores de GSI cercanos a 100, implican macizos de gran calidad, ya que significa una estructura marcada por una pequeña fragmentación en la que abundan las formas prismáticas y superficies rugosas sin erosión.

Las relaciones existentes entre GSI y RMR, dependiendo del RMR utilizado, se detallan a continuación:

Para el caso de RMR76

$$RMR76 > 18 \rightarrow GSI = RMR$$



$RMR76 < 18 \rightarrow$  No se puede utilizar el RMR76 para la obtención del GSI

Para el caso de RMR89

$RMR89 > 23 \rightarrow GSI = RMR89 - 5$

$RMR89 < 23 \rightarrow$  No se puede utilizar el RMR89 para la obtención del GSI

Hoek recomienda hacer siempre referencia a un rango numérico y nunca a un solo valor del GSI y también sugiere la posibilidad, a falta de una apreciación directa en campo y solo para macizos rocosos caracterizados por un  $GSI > 25$ , de estimar este a partir del RMR de Bieniawski, depurándolo del factor orientación de las discontinuidades y asignando 10 al factor agua. Russo (1998), propone estimar el GSI también a partir del índice Q de Barton, depurándolo del factor de tensión (SRF) y asignando 1 al parámetro agua (Jw), obteniendo luego, de acuerdo con la preexistente correlación entre Q y RMR:

$$GSI = 9 \lg Q' + 44.$$

### III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1.GENERALIDADES.

Para realizar el estudio geomecánico de las labores mineras subterráneas de la Unidad Minera Arcata. Se ha considerado dichas labores en el inventario minero, en lo referido a la estabilidad de las mismas, es necesario tener disponibles datos de entrada relacionados a los diferentes factores que

condicionan el comportamiento mecánico de la roca y del macizo rocoso.

#### 3.2.DESCRIPCION DEL AREA EN ESTUDIO

La explotación de mineral se encuentra principalmente en el sector denominado Mariana. El método de minado utilizado es, principalmente, el de corte y relleno ascendente convencional y Bench & Fill en algunas zonas del yacimiento.

#### 3.3.ESTABILIDAD DE LA ABERTURA

La estabilidad de aberturas se realizó tomando en cuenta al ancho de la labor y las características geomecánicas del macizo rocoso circundante a las excavaciones, en los trabajos de campo se tomó medidas las aberturas en los diferentes tipos de labores (galerías, bypass, cruceros e intercepciones) con la finalidad de conocer las aberturas reales para cada tipo de labor y compararla con la abertura proyectada por mina.

#### 3.4.EVALUACION DE LA ESTABILIDAD EN GALERIAS

De acuerdo a los dominios geotécnicos determinados, la calidad del macizo rocoso predominante en las galerías para las zonas 1 presentan un RMR menor a 40 y las galerías de Mariana se encuentran en un rango entre

40 y 50 RMR del Grafico N° 01 se puede deducir que las galerías de las zonas 1 están son potencialmente inestables a inestables indicando que se requiere sostenimiento consistente en pernos y malla metálica, para las zonas con RMR menores a 20 se necesita un sostenimiento pesado consistente en una capa de shotcrete o como segunda opción el uso de cuadros de madera.

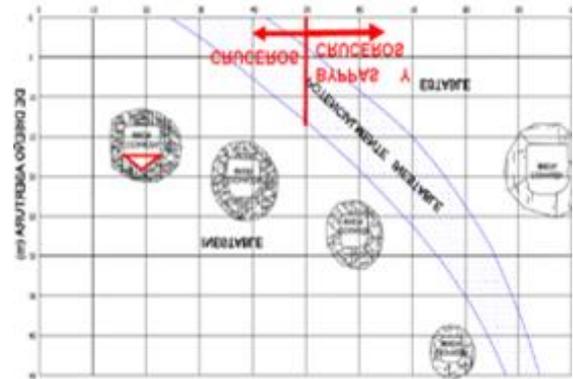


**Figura 3.** Evaluación de la estabilidad.

### 3.5.EVALUACION DE LA ESTABILIDAD EN LABORES DE DESARROLLO

Estas labores se encuentran excavadas en roca encajonante lejana presentando un RMR predominante mayor a 50 y en zonas muy localizadas RMR menores a 50, para las excavaciones con RMR mayores a 50. En la figura se muestra que las excavaciones con RMR mayores a 50 se encontrarán en un estado estable por lo que no necesitarán sostenimiento, las excavaciones con RMR menores a 50 se encontrarán en zonas

potencialmente inestables por lo que necesitarán pernos.

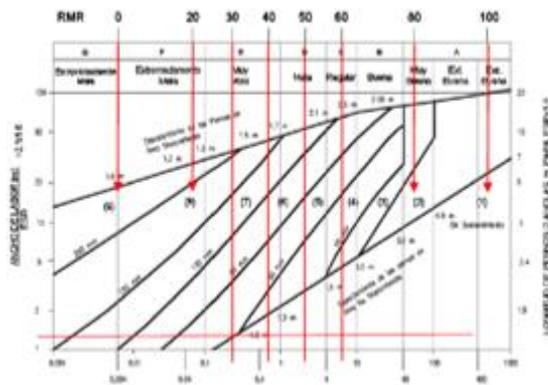


**Figura 4.** Evaluación de la estabilidad de los bypass y cruceros

### 3.6.DISEÑO DE SOSTENIMIENTO

La determinación de los sistemas de sostenimiento se realizó mediante el uso de los métodos empíricos, basado en la tabla de Barton 2000, para el análisis se consideró la calidad de la roca en función a los índices de clasificación geomecánica RMR y Q. La dimensión equivalente de la labor, que es el resultado de dividir, el ancho de la labor entre una constante llamada “ESR” cuyo valor depende del uso que se le va dar a la labor (permanente o temporal). Para el análisis se consideró un SRF de 1.6.

$$\text{Luz de la labor} = 2.1\text{m Luz/ESR} = 2.1/1.6 = 1.3$$



**Figura 5.** Evaluación del sostenimiento con la tabla empírica de Barton.

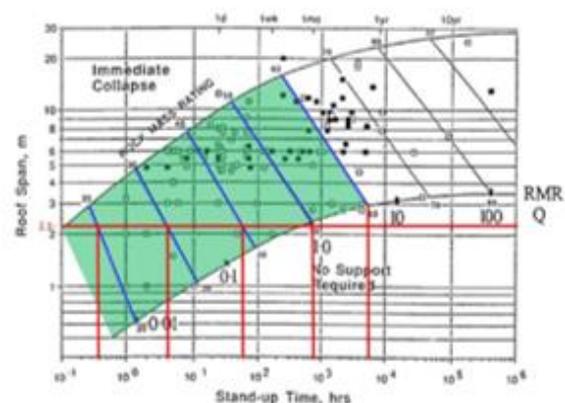
- 1) Categorías de Sostenimiento.
- 2) Sin sostenimiento
- 3) Pernos puntuales
- 4) Perno sistemático
- 5) Pernos sistemáticos con 40-100mm shotcrete sin sostenimiento
- 6) Shotcrete reforzado con fibras 50-90 mm y anclas
- 7) Shotcrete reforzado con fibras 90-120 mm y anclas
- 8) Shotcrete reforzado con fibras 120-150 mm y anclas
- 9) Shotcrete reforzado con fibras >150 mm y anclas con cimbras reforzadas con shotcrete y pernos
- 10) Paneles de concreto armado

De la tabla se deduce que para un RMR menor a 30 se necesita un sostenimiento pesado consistente en shotcrete o cuadro de

madera; para excavaciones con RMR mayores a 30 el sostenimiento consistirá en pernos sistemáticos más malla metálica.

### 3.7. TIEMPO DE AUTOSOSTENIMIENTO

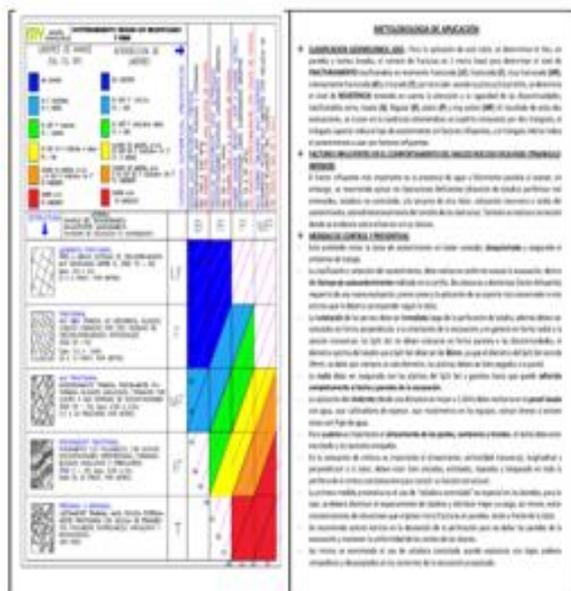
El tiempo de auto-sostenimiento se refiere al período durante el cual la roca podrá permanecer estable sin sostenimiento después de haberse excavado la labor. El Grafico N° 08 correlaciona el ancho de la excavación con el tiempo de auto-sostenimiento, según este ábaco, una excavación con un ancho de 2.1m, el macizo rocoso por lo general requerirá de elementos de sostenimiento. También se tiene que el macizo rocoso con RMR menor a 30 colapsaría inmediatamente; por lo que las excavaciones con estos anchos requerirán la aplicación de sostenimiento para su estabilidad.



**Figura6.** Estimación del tiempo de autosostenimiento.

### 3.8.CARTILLA GEOMECANICA PRELIMINAR (GSI)

Con las condiciones geológicas y las evaluaciones geomecánicas realizadas in situ se ha podido elaborar en forma preliminar la cartilla geomecánica vs el tipo de sostenimiento y tiempo de colocación asignadas para galerías, labores de desarrollo (bypass, cruceros) e intercepciones de labores lineales como bypass con crucero y crucero con bypass.



**Figura 7.** Cartilla geomecanica preliminar para bypass, galería, crucero.

## IV. CONCLUSIONES

Las consideraciones litológicas de las labores mineras subterráneas de la Unidad Minera Arcata, está constituido por cuarcitas, pizarras e intrusivos sub-

volcánicos del tipo cuarzo monzodiorítico (sills y diques). La caja techo de la mineralización está constituido por pizarras; mientras que la caja piso lo conforman en su mayoría las cuarcitas y en muchos casos los sub-volcánicos antes manifestados.

Contribuir al conocimiento de la caracterización del macizo rocoso mediante el sistema de información geomecánica estandarizada por el ISRM (Society International For Rock mechanic's), analizando los parámetros cuantificados de la calidad del macizo rocoso, mediante el análisis de estabilidad, que nos determinará la estabilidad mediante el FS – Factor de seguridad.

El Sistema de Gestión de Seguridad se encuentra en proceso de implementación, con un avance de aproximadamente de 85-90%. El índice de accidentabilidad de la empresa deberá mejorar a medida que el Sistema Integrado de Seguridad avance en forma progresiva y el desenvolvimiento de la alta gerencia.

Los valores obtenidos por los índices de clasificación geomecánica RMR y Q, demuestran la similitud entre ambos sistemas de clasificación, dándole una mayor



confiabilidad a los resultados obtenidos, porque se tendrá que evaluar para determinar la calidad del macizo.

## V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceijas-Pérez, J. P. (2019). *Geomecánica aplicada al control de las labores mineras para la minimización de la caída de rocas en la Mina Paredones Nivel 5*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Arzúe, J., Alejanor, L., & Perez-Rey, I. (2013). Problemas de Mecánica de Rocas - Fundamentos e Ingeniería de Taludes. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 312. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cervantes, J. F. (2011). Clasificación geomecánica y análisis estabilidad de taludes del macizo rocoso Coris, Cartago, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, (28), 91–96. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i28.7791>
- Cordova-Rojas, N. D. (2008). *Geomecánica en el minado subterráneo caso Mina Condestable*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Jimmy Gerardo Cueva Romero & Jhonny lex Arana Cabrera. (2014). *Facultad de Ingeniería Facultad de Ingeniería*. 0–1.
- Ortega Ramos, C. A., Jaramillo Gil, A. F., Molina Escobar, J. M., & Escobar, J. M. M. (2016). Modificación de las mallas de perforación de voladuras a partir del índice de esfuerzo geológico (GSI), caso mina “La Maruja”, Colombia. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 0(40), 32. <https://doi.org/10.15446/rbct.n40.52199>
- Pire, M. C. (2006). *Caracterización Geomecánica de Macisos Rocosos en Obras Subterráneas de la Región Oriental de País*.
- Torres-Yupanqui, Ruiz-Castro, Daga-Huaricanha, & V.-A. (2009). Aplicación de la geomecánica para el mejoramiento del sistema operativo del yacimiento madrugada de la uea admirada atila - minera Huinac sac. *Aporte Santiaguino*, 2(1), 59–62. <https://doi.org/10.32911/as.2009.v2.n1.377.g349>
- Vidaure, F. N. F. (2018). “ *Geomecánica Aplicada al Diseño del Sostenimiento Para Garantizar la Estabilidad de las Labores Mineras Subterráneas de la Unidad Minera Mallay de la Compañía de Minas Buenaventura S.A. AÑO 2018* .”



Porras, J. P. (2017). *Aplicación de la geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes por desprendimientos de rocas en la cia. Minera Reyna Cristina – Ancash* (Universidad Nacional de Huancavelica). Retrieved from <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/U NH/1069>

Chura-Lope, W. (2016). *Caracterización geomecánica del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la unidad económica administrativa Ana Maria- La Rinconada* (Universidad Nacional del Altiplano). Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/U NAP/448>