



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA GALERÍA SAN
ANTONIO DE LA U.E.A. ANA MARÍA – LA RINCONADA**

EXAMEN DE SUFICIENCIA DE COMPETENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

Bach. EFREN ROYER QUISPE ARELA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2019



DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de llegar a este momento y llenarme de fortaleza en mis momentos difíciles durante mi vida y dándome la oportunidad de ser una mejor persona cada día y valorar más las personas que Amo y finalmente por darme la dicha de ser Ingeniero de Minas

A mis padres Pedro Wenceslao Quispe Bellido por guiarme durante mi vida universitaria y por los consejos obtenidos de su persona y Luz Marina Arela Pérez por estar siempre ahí para Mí Incondicionalmente y haber hecho de mí la persona que soy, este logro es para ustedes.

A mis hermanos, Erick, Raul, Pamela, y Luis por el apoyo moral y amical que me brindan siempre durante todos los días de mí Vida.

Efren Royer Quispe Arela



AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento sincero y profundo a las siguientes personas que permitieron se pudiera realizar este trabajo de investigación, brindándome su apoyo incondicional, como también moral y material hacia mi persona.

A Dios por Permitirme llegar hasta este momento.

A mis padres por su constante apoyo tanto moral como material durante mis estudios.

A la Corporación Minera Ananea S.A. (CMASA), por el apoyo de brindar facilidades para obtener algunos datos importantes por este trabajo.

Al laboratorio de Geotecnia y mecánica de rocas de la Facultad de Ingeniería de minas por su apoyo en mi investigación.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería de minas de la Universidad Nacional del Altiplano quienes durante los 5 años de mi formación profesional supieron impartirme sus conocimientos y experiencias.

Efren Royer Quispe Arela



INDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRONIMOS

RESUMEN	9
ABSTRACT.....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. METODOLOGÍA Y MATERIALES.....	12
2.1 ÁREA DE ESTUDIO	12
2.2 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	12
2.3 TRATAMIENTO DE LA MUESTRA.....	12
2.4 TÉCNICAS Y MATERIALES EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN.....	12
2.5 RECOLECCIÓN DE DATOS.....	12
2.6 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	17
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
3.1 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA GALERÍA	17
3.1.1 Orientación de las discontinuidades y número de familias.....	17
3.1.2 Espaciamiento de Discontinuidades	18
3.1.3 Índice volumétrico y tamaño de bloques	18



3.1.4 CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	18
3.1.5 Presencia de Agua.....	20
3.1.6 Resistencia de las paredes de las discontinuidades.....	20
3.1.7 RQD Grado de fracturación del macizo rocoso.....	20
IV. CONCLUSIONES.....	26
V. BIBLIOGRAFÍA.....	26

Área: Ingenierías

Línea: Caracterización Geomecánica en Subterránea

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 de noviembre 2019



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Espaciado de Discontinuidades	14
Tabla 2 Clasificación de conteo de Discontinuidades	14
Tabla 3 Condiciones de agua subterránea.....	15
Tabla 4 Correlación entre RQD y Calidad de Roca.....	17
Tabla 5 Familia de Discontinuidades.....	18
Tabla 6 Persistencia de las discontinuidades	18
Tabla 7 Apertura de discontinuidades	19
Tabla 8 Relleno de discontinuidades	19
Tabla 9 Rugosidad de las discontinuidades	19
Tabla 10 Alteración de las discontinuidades	20
Tabla 11 Presencia de agua en las discontinuidades.....	20
Tabla 12 Resistencia de las paredes de discontinuidades	20
Tabla 13 Resultados Interrelación RMR y Q.....	25
Tabla 14 Valores del Índice de Q de Barton.....	25



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Índice de Manual de Resistencia (ISRM 1978).....	16
Figura 2 Clasificación RMR ₈₉ de la estación N. ° 1	22
Figura 3 Clasificación RMR ₈₉ de la Estación N. ° 2.....	23
Figura 4 Clasificación RMR ₈₉ de la Estación N. ° 3	24



ÍNDICE DE ACRONIMOS

CMASA	: Corporación Minera Ananea S.A
DIP DIR	: Dirección de buzamiento
DIP	: Dirección
ISRM	: Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas
JCS	: Joint Wall Compression Strenght
JV	: Índice Volumétrico
RMR	: Rock Mass Rating
RQD	: Rock Quality Designation
S	: Espaciamiento de Discontinuidades
UCS	: Uniaxial Compression Strenght
UEA	: Unidad Económica Administrativa



Caracterización Geomecánica de la Galería San Antonio de la UEA Ana María – La Rinconada

Geomechanical characterization of the San Antonio gallery of the Ana María– La Rinconada

Bach. Quispe Arela Efren Royer

Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas, Av.

Sesquicentenario N.º 1154 Ciudad Universitaria, Puno, Perú, efren.arela@gmail.com.

Cel. 951282895

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación titulado caracterización geomecánica de la Galería San Antonio de la U.E.A. Ana María ubicado en el departamento de Puno, provincia de San Antonio de Putina distrito de Ananea, La Rinconada desarrollado en el mes de octubre del presente año se observó zonas debilitadas en la galería exponiendo la seguridad del personal que labora y dado que no existe ningún estudio geomecánico preliminar, surge la necesidad de la caracterización del macizo rocoso en estas zonas y así evitar y/o disminuir incidentes/accidentes por caída de rocas para posteriormente la Empresa pueda aplicarlo para un sostenimiento. El objetivo general de esta investigación fue la caracterización geomecánica del macizo rocoso, y los objetivos específicos determinar los parámetros de los valores del RMR_{89} , utilizando la metodología descriptiva del macizo rocoso que se da en función de una serie parámetros los cuales nos dan un valor numérico, para ello usamos equipos como brújula, picota, flexometro, dándonos un valor de la calidad del índice del macizo rocoso. Siendo nuestra hipótesis la caracterización geomecánica que nos permitirá identificar los parámetros del macizo rocosos como las propiedades de las discontinuidades. Los resultados obtenidos de la caracterización geomecánica para las estaciones 1 y 3 nos dieron como calidad de roca III (REGULAR) y en la estación 2 calidad de roca II (BUENA) según RMR_{89} , concluyendo satisfactoriamente la Caracterización Geomecánica en la investigación, y hallando los parámetros para el RMR_{89} estos resultados obtenidos de la caracterización hacen más confiable cualquier evaluación o pronóstico de estabilidad, campo tensional, riesgos, presión minera y otros que se realice en la actividad del proyecto.

Palabras Clave: Macizo rocoso, Caracterización Geomecánica, Roca Intacta, RMR .



ABSTRACT

In the present research work entitled geomechanical characterization of the San Antonio Gallery of the Ana María UEA located in the department of Puno, province of San Antonio de Putina district of Ananea, La Rinconada developed in October this year, areas were observed weakened in the gallery exposing the safety of the personnel that works and since there is no preliminary geomechanical study, the need arises for the characterization of the rock mass in these areas and thus avoid and / or reduce incidents / accidents due to rock falls for later Company can apply it for a support. The general objective of this investigation was the geomechanical characterization of the rock mass, and the specific objectives to determine the parameters of the RMR89 values, using the descriptive methodology of the rock mass that is given based on a series of parameters which give us a numerical value for this we use equipment such as compass, cherry, flexometer, giving us a value of the quality of the index of the rock mass. Our hypothesis being the geomechanical characterization that will allow us to identify the parameters of the rock massif as the properties of discontinuities. The results obtained from the geomechanical characterization for stations 1 and 3 gave us as rock quality III (REGULAR) and in station 2 rock quality II (GOOD) according to RMR89, satisfactorily concluding the Geomechanical Characterization in the investigation, and finding the Parameters for RMR89 These results obtained from the characterization make any evaluation or prognosis of stability, stress field, risks, mining pressure and others that are carried out in the project activity more reliable.

Keywords: Rock Massif, Geomechanical Characterization, Intact rock,RMR



I. INTRODUCCIÓN

El Presente trabajo presentado realizado en la Unidad Económica Administrativa Ana María donde se explota por el método subterráneo es necesario la caracterización geo mecánica del macizo rocoso debido a la gran cantidad de excavaciones realizadas, debido al alto índice de accidentes, por tal motivo es necesario realizar estudios de campo y laboratorio con el fin de obtener las características del macizo rocoso sobre la cual se realizan las operaciones mineras.

Si bien es cierto que al realizar un excavación subterránea se generan esfuerzos, donde es difícil la medición de la intensidad de las mismas, es muy importante determinar esos valores mediante la caracterización del macizo rocoso, esta se da en función de una serie de parámetros a los que se les asigna un valor, que por medio del mismo se llega a obtener un índice de la calidad de la roca, permitiendo describir numéricamente la calidad de este último, con el presente trabajo de investigación se propone dar solución y obtener esos valores. Como la guía de (Osinergmin, 2017) En los últimos 10 años, los accidentes por caída de roca han encabezado la lista de accidentes con consecuencias mortales en minería subterránea. Sobre la base de este hecho, Osinergmin ha iniciado un esfuerzo para difundir los criterios geomecánicos que según las mejores prácticas de la ingeniería

se emplean actualmente para el diseño, construcción, operación y cierre de labores mineras, a fin de disminuir drásticamente esta fatal estadística. Por tanto Oyanguren & Monge, (2004) recomienda que, *“Para caracterizar un macizo roco donde se pretende insertar una excavación, se requiere conocer los parámetros básicos de la roca y de las discontinuidades, así como la estructura del macizo que incluye aspectos como el número de familias de discontinuidades existentes, el espaciado medio de planos de discontinuidad, las características geomecánicas básicas de las discontinuidades”*. Así Como Chura L. (2016) *“En la Unidad Económica Administrativa Ana María, la descripción y caracterización física y mecánica es de gran importancia debido a la cantidad de excavaciones realizadas, por tal motivo es necesario realizar una serie de estudios con el fin de conocer las características de la masa rocosa sobre la cual operan los contratistas por el método de cámara y pilares”*. Mientras que Blanco C. (2018) *“La caracterización geomecánica de la masa rocosa a través de la, descripción, valoración, y análisis a través de los índices geomecánicos conocidos como RMR de Bienawski, Índice Q de Barton permiten un análisis de la aplicación del perno Hydrabolt en el sostenimiento de labores, realizado en la Mina Casapalca S.A.”* En tanto Medina A. (2017) indica que, *“En Corporación Minera*



Ananea S. A. donde se realizó el estudio de la mecánica de rocas mediante las características geomecánicas del macizo rocoso a través del cual es posible analizar y determinar la distancia entre pilares y la sección más conveniente para la estabilidad del techo del método de explotación de cámaras y pilares.” Por otro lado el Autor de la tesis Nina C. (2016) “En el proyecto San Gabriel en su fase de desarrollo y preparación de labores subterráneas tiene la necesidad de determinar las características del macizo rocoso del material circundante en la mina y así diseñar las excavaciones subterráneas de forma segura y así poder obtener un factor de seguridad que ayude a entender el problema.” Finalmente Soto Vilca. (2016) determina que, “En la construcción del Diseño de sostenimiento del Tunel Wayrasenca – Ollahecha, para determinar el tiempo de vida útil se llevo a cabo determinar las características de geotécnicas y geomecánicas del macizo rocoso, a través de las teorías y recomendaciones de sostenimiento planteadas por Bienawski y Barton.”

II. METODOLOGÍA Y MATERIALES

2.1 Área de Estudio

La investigación se realizó en la mina UEA Ana María ubicada en el departamento de Puno en la provincia de San Antonio de Putina

2.2 Tipo y diseño de Investigación

El presente trabajo de investigación identificado como caracterización geomecánica del macizo rocoso es de tipo descriptivo, que se caracteriza por describir las características a tomar en cuenta en su aplicación.

2.3 Tratamiento de la muestra

Como muestra se tomará la labor de desarrollo en la galería san Antonio con una sección de 3 x 3 Pertenece a la empresa.

2.4 Técnicas y materiales empleados en la investigación

Los instrumentos para la recolección de datos, que se realizó en la caracterización geomecánica del macizo rocoso y correlación, son los siguientes:

- ✓ Formatos de mapeo geomecánica RMR₈₉
- ✓ Martillo de geólogo
- ✓ Flexómetro
- ✓ Brújula Marca Brunton
- ✓ Tablero y lápiz

2.5 Recolección de Datos

El procedimiento o forma particular de obtener datos o información, la aplicación de una técnica conduce a la obtención de información, la cual debe ser guardada en un medio material de manera que los datos puedan ser recuperados, procesados, analizados e interpretados posteriormente. A dicho

sostenimiento se le denomina instrumento. (Fidias G., 2012)

El instrumento utilizado es el formato de mapeo el cual está 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).

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)

A. Registro de data en campo

Para la caracterización de la masa rocosa, se registran datos a partir del mapeo geomecánico de las labores subterráneas, que se llevará acabó

utilizando el “método directo por celdas de detalle”. Mediante este método se realizará mediciones sistemáticas de las condiciones presentes en una estación de medición.

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

- Orientación de las discontinuidades
- Espaciado entre discontinuidades
- Índice de volumétrico de discontinuidades
- Persistencia de discontinuidades
- Abertura de discontinuidades
- Relleno en las discontinuidades
- Rugosidad de las discontinuidades
- Alteración de discontinuidades
- Resistencia de las paredes de discontinuidades
- Agua en las discontinuidades

Espaciado entre Discontinuidades

El termino 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). En la Tabla 13 se aprecia la descripción de las discontinuidades y su calificación para el RMR.

Tabla 1 Espaciado de Discontinuidades

Descripción	Espaciado (m)	Calificación
Muy amplio	> 2	20
Amplio	0.6 - 2	15
Moderado	0.2 - 0.6	10
Cerrado	0.06 - 0.2	8
Muy cerrado	< 0.06	5

Fuente: (Bhawani Y R. K., 2011.p.46)

Índice Volumétrico de Discontinuidades

Oyanguren y Monge (2004) indican que, 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. El cálculo de J_v se debe realizar a partir de los espaciados medios de las familias.

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

Tabla 2 Clasificación de conteo de Discontinuidades

Nº	Grado de discontinuidades	J_v
1	Muy bajo	< 1.0

2	Bajo	1 – 3
3	Moderado	3 – 10
4	Alto	10 – 30
5	Muy Alto	30 – 60
6	Triturado	> 60

Fuente: Tabla extraída de (Bhawani y R. K., 2011,p.24)

Condiciones de Discontinuidad

Persistencia de Discontinuidades

Según Gonzales de Vallejo (2002) indica que la persistencia o continuidad de un plano de discontinuidad es su extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento. Es un parámetro de gran importancia, pero de difícil cuantificación a partir de la observación de afloramientos, en los que normalmente se ven las trazas de los planos de discontinuidad según un buzamiento aparente.

Apertura

Oyanguren y Monge (2004) indican, las discontinuidades pueden ser cerradas, abiertas y rellenas. Se define apertura como la distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de roca de una discontinuidad. Las grandes aperturas pueden ser resultado de desplazamientos cortantes de discontinuidades, cuando éstas tienen una rugosidad apreciable, o bien pueden ser debidas a tracciones,

lavado o disolución. Las aperturas se miden con una regla graduada en milímetros. A gran profundidad las aperturas suelen ser inferiores a medio milímetro, en la mayoría de los macizos rocosos, y la forma de medirlas es mediante láminas calibradas. Se deben anotar las aperturas de todas las discontinuidades intersectadas por la línea de toma de datos, cuando se utiliza esta técnica de observación. Las variaciones de apertura que suelen tener las grandes discontinuidades se suelen medir a lo largo de la traza de las mismas.

Relleno

Oyanguren & Monge, (2004), se denomina relleno de una discontinuidad al material que ocupa el espacio entre sus labios, por ejemplo: calcita, fluorita, limo, etc. Normalmente el espesor de relleno es igual a la distancia perpendicular entre los labios. Es conveniente medir los espesores máximo y mínimo y estimar, a partir de ellos, el espesor medio. Si la diferencia entre los espesores máximo y mínimo es grande, puede ser debido a que la discontinuidad ha experimentado desplazamientos cortantes.

Rugosidad

Bordehore et. at. (2016) indica, el término rugosidad hace referencia tanto a la ondulación de las superficies de la

discontinuidad (waviness, ondulación) como a las irregularidades o rugosidades a pequeña escala (roughness, aspereza), presentes en la discontinuidad (ISRM, 1977).

Meteorización o Alteración de Discontinuidades

Según Bordehore et. al. (2016) indica que el concepto de meteorización engloba en su sentido más amplio a todos aquellos procesos que modifican y cambian las características de las rocas aflorantes. La meteorización de las rocas se refiere a la modificación en la composición o estructura de una roca situada en la superficie terrestre o en sus proximidades, debido a la acción de los agentes atmosféricos (Ramírez et al., 1991).

Agua en las Discontinuidades

Según Gonzales de Vallejo, (2002), la presencia de agua en el interior de un macizo rocoso procede generalmente del flujo que circula por las discontinuidades (permeabilidad secundaria), aunque en ciertas rocas permeables las filtraciones a través de la matriz rocosa (permeabilidad primaria) pueden ser también importantes.

Tabla 3 Condiciones de agua subterránea

Descripción general	C. seco	Húmedo	Mojado	Goteando	Con flujo
---------------------	---------	--------	--------	----------	-----------

Influencia por 10 m de longitud de túnel (L/min)	Ning uno	<1 0	10- 25	25- 125	>12 5
Cantidad de presión de agua en la discontinuidad hacia la tensión principal mayor	0	0- 0.1	0.1 - 0.2	0.2- 0.5	>0.5
Calificación	15	10	7	4	0

Fuente: Tabla extraída de (Bhawani y R.K., 2011, p.48)

Resistencia de las paredes de las discontinuidades

El Joint Wall Compression Strength (JCS) es un parámetro empleado para estimar la resistencia a la compresión de las paredes de la discontinuidad. Cuando las paredes de las discontinuidades no se encuentran alteradas, el valor de JCS coincide con el de la resistencia a compresión simple de la matriz rocosa. Siendo el caso podemos tratar la resistencia de las paredes de las discontinuidades como la resistencia de compresión simple o resistencia de compresión uniaxial.

Resistencia de compresión uniaxial (UCS).

Para determinar la resistencia de compresión uniaxial por un tema de presupuesto y practicidad de esta medición, se hizo el uso del martillo de geólogo (picota) de índice manual de resistencia de la roca propuesta por la

ISRM en 1978 en su publicación International Society for Rock Mechanics Commission on Standardization of Laboratory and Field Test, en base a la misma haremos la prueba por golpes de picota y según el comportamiento de las discontinuidades con el número de golpes comparamos los valores para obtener un valor aproximado de la resistencia de compresión simple.

GRADOS	DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN DEL CAMPO	Valor Aproximado De La Resistencia A Compresión Simple
			Mpa
R1	ROCA MUY DÉBIL	Puede rayarse con una navaja Deleznable (se disgrega o deshace fácilmente) bajo golpes fuertes con la parte puntiaguda del martillo geológico	1.0 - 5.0
R2	ROCA DÉBIL	Puede rayarse con dificultad con la navaja se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente con la punta del martillo	5.0 - 25
R3	ROCA MEDIA DÉBIL	No se puede rayar con una navaja la muestra en mano se puede romper con un golpe firme del martillo de geólogo al impacto la punta del martillo indenta hasta 5 mm	25 - 50
R4	ROCA DURA	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra especímenes sostenidos en la mano se rompe con un simple golpe de martillo	50 - 100
R5	ROCA MUY DURA	Se necesita muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra	100 - 250
R6	ROCA EXTREMADAMENTE DURA	El martillo produce solamente descarillado de la muestra, sonido metálico de golpe	>250

Figura 1 Índice de Manual de Resistencia (ISRM 1978)

Índice de calidad de la roca “RQD”

La clasificación de RQD da valores en porcentaje al macizo rocoso, donde el más duro es 100%, este valor se obtiene con los siguientes modelos matemáticos:

$$RQD = 100 * e^{(0,1\lambda + 1) - 0,1\lambda}$$

Propuesto por Priest y Hudson en 1967.

Dónde: $\lambda = N^{\circ}$ de fracturas / m línea

Por manipuleo y diámetro del testigo tiene que ser mayor a 57.4 mm.

$$RQD = \frac{\sum \text{longitud fragmentos} \geq 10\text{cm}}{\text{ongitud total perforada}} * 100\%$$

Tabla 4 Correlación entre RQD y Calidad de Roca

RQD (%)	CALIDAD
< 25	Muy Mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Media
75 - 90	Buena
90 - 100	Muy Buena

Fuente: (Bordehore et al., 2016, p. 83)

Interrelación entre el índice Q de Barton y RMR de Bieniawski.

Las interrelaciones entre los dos índices de clasificación más utilizados, el RMR de Bieniawski (1976) y el Q de Barton et al. (1974), han sido propuestos por muchos investigadores. Bieniawski (1976) utilizó 111 historiales de casos que incluyeron 62 escandinavos, 28 sudafricanos y 21 otros casos documentados de los Estados Unidos que cubren todo el rango de Q y

RMR para proponer la siguiente correlación:

- Interrelación de Bieniawski (1978)

$$RMR = 5.9 \ln Q_{74} + 44$$

2.6 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.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización geomecánica de la galería

Dentro de la caracterización del macizo rocoso algunos de estos parámetros, como la rugosidad, espaciado, continuidad, meteorización de juntas, apertura, presencia de agua y relleno, determinan el comportamiento mecánico y la resistencia al corte de las discontinuidades, todos estos parámetros son tomados en campo por estaciones, mostrados en los siguientes cuadros. (Ferrer, M. et al., 1999).

3.1.1 Orientación de las discontinuidades y número de familias

Se realizará la toma de datos en el proyecto por estaciones detalladas en las tablas geomecánicas, aquí se desarrolla la caracterización del macizo rocoso como se

detalla en los cuadros.

Tabla 5 Familia de Discontinuidades

Familia	Dip	Dip Dir
1	9	239
2	76	84
3	60	14

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Espaciamiento de Discontinuidades

Se tomo el espaciamiento de discontinuidades midiendo de forma perpendicular a cada familia tomando así el espaciado normal de familia en cada estación geomecánica como se ve a continuación.

3.1.3 Índice volumétrico y tamaño de bloques

Se define como la suma del número de discontinuidades por metro de cada una de las familias existentes.

$$Jv = \sum_{i=1}^a \left(\frac{1}{s_i}\right) = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_3} \dots \dots$$

Donde:

Jv: Índice volumétrico

S_n: Espaciamiento de discontinuidades

Primera Estación

$$Jv = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_3}$$

$$Jv = \frac{1}{0.045} + \frac{1}{0.125} + \frac{1}{0.450}$$

$$Jv = 32$$

Segunda Estación

$$Jv = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_3}$$

$$Jv = \frac{1}{0.090} + \frac{1}{0.105} + \frac{1}{0.500}$$

$$Jv = 23$$

Tercera Estación

$$Jv = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_3}$$

$$Jv = \frac{1}{0.085} + \frac{1}{0.120} + \frac{1}{0.500}$$

$$Jv = 22$$

3.1.4 Condición de las discontinuidades

Se hace la recolección de datos según los rangos de cada parámetro de la clasificación RMR de Bieniawski.

Persistencia

Se puede apreciar que las persistencias van desde medianas, grandes y pequeñas.

Tabla 6 Persistencia de las discontinuidades

N° Estación Geomecánica	N° de Familia	Persistencia (m)	Rango	Descripción de la persistencia
	F1	3.0	3-10 m	Media
E1	F2	4.0	3-10 m	Media
	F3	15.0	10-20 m	Grande
	F1	8.0	3-10 m	Media
E2	F2	15.0	10-20 m	Grande
	F3	3.0	1-3 m	Pequeña
	F1	8.0	3-10 m	Media
E3	F2	15.0	10-20 m	Grande
	F3	7.0	3-10 m	Media

Fuente: Elaboración propia

Apertura

El valor de las aperturas se detalla en la siguiente tabla, dándonos resultados desde angosta en la primera estación y cerrada y abiertas en la 2da estación y abierta, muy abierta y cerrada en la 3ra estación.

Tabla 7 Apertura de discontinuidades

N° Estación Geomecánica	N° de Familias	Rango	Descripción	Apertura (mm)
E1	F1	0.1-1.0 mm	Angosta	1.0
	F2	0.1-1.0 mm	Angosta	1.0
	F3	0.1-1.0 mm	Angosta	1.0
E2	F1	0 mm	Cerrada	0.0
	F2	1.0 - 5.0 mm	Abierta	4.0
	F3	1.0 - 5.0 mm	Abierta	4.0
E3	F1	1.0 - 5.0 mm	Abierta	3.0
	F2	> 5.0 mm	Muy abierta	6.0
	F3	0 mm	Cerrada	0.0

Fuente: Elaboración propia

Relleno

El relleno de las discontinuidades se detalla en la siguiente tabla, donde se aprecia relleno blando menor a 5mm en la primera estación y ninguna en las 2da y 3ra estación.

Tabla 8 Relleno de discontinuidades

N° Estación Geomecánica	N° de Familia	Rango
E1	F1	Relleno blando <5mm
	F2	Relleno blando <5mm
	F3	Relleno blando <5mm
E2	F1	Ninguna
	F2	Ninguna
	F3	Ninguna
E3	F1	Relleno blando >5mm
	F2	Ninguna
	F3	Ninguna

Fuente: Elaboración propia

Rugosidad

Se hizo la medición mediante la estimación visual donde se puede apreciar una rugosidad que va desde rugosa, ligeramente rugosa y lisa para las diferentes estaciones geomecánicas.

Tabla 9 Rugosidad de las discontinuidades

N° Estación Geomecánica	N° de Familia	Rango
E1	F1	Rugoso
	F2	Rugoso
	F3	Ligeramente rugosa
E2	F1	Ligeramente rugosa
	F2	Rugoso
	F3	Lisa
E3	F1	Rugosa

F2	Lisa
F3	Lisa

Fuente: Elaboración propia

Alteración

Se hizo la medición mediante la observación, donde se pudo apreciar una alteración ligera en las 3 estaciones.

Tabla 10 Alteración de las discontinuidades

N° Estación Geomecánica	N° de Familias	Alteración
E1	F1	Ligeramente
	F2	Ligeramente
	F3	Ligeramente
E2	F1	Ligeramente
	F2	Ligeramente
	F3	Ligeramente
E3	F1	Ligeramente
	F2	Ligeramente
	F3	Ligeramente

3.1.5 Presencia de Agua

Se aprecia claramente la presencia de agua en las 3 estaciones geomecánicas.

Tabla 11 Presencia de agua en las discontinuidades

N° Estación Geomecánica	N° de Familia	Presencia de agua
E1	F1	Mojado
	F2	Mojado
	F3	Mojado
E2	F1	Húmedo
	F2	Húmedo
	F3	Húmedo
E3	F1	Goteando

F2	Goteando
F3	Goteando

Fuente: Elaboración propia

3.1.6 Resistencia de las paredes de las discontinuidades

Se hizo uso del martillo de geólogo (picota) por practicidad de esta medición propuesta por la ISRM en 1978. En las 3 estaciones nos dio como resultado una dureza mayor a 250 MPa, la roca es la misma galería.

Tabla 12 Resistencia de las paredes de discontinuidades

N° Estación Geomecánica	N° Familia	Rango	Detalle
E1	F1	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
	F2	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
	F3	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
E2	F1	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
	F2	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
	F3	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
E3	F1	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
	F2	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte
	F3	> 250 Mpa	Extremadamente fuerte

Fuente: Elaboración propia

3.1.7 RQD Grado de fracturación del macizo rocoso

Se hizo uso del método indirecto mediante la ecuación de (Palmstrom, 2005) debido a que



el macizo se presenta en forma de bloques largos y planos apreciándose los siguientes RQD, un 12.7% en la primera estación y 39.1% y 42.4% consecuentemente.

$$RQD = 115 - 3.3 J_V$$

Primera Estación

$$RQD = 115 - 3.3 (32) = 115 - 105.6$$

$$RQD = 9.4 \%$$

Segunda Estación

$$RQD = 115 - 3.3 (23) = 115 - 75.9$$

$$RQD = 39.1 \%$$

Tercera Estación

$$RQD = 115 - 3.3 (22) = 115 - 72.6$$

$$RQD = 42.4 \%$$

3.2 Clasificación Geomecánica

La clasificación geomecánica tienen como objetivo el de proporcionar una evaluación geomecánica del macizo rocoso que se estudia a partir de ensayos simples y observaciones de campo, hay diferentes tipos de clasificaciones las cuales tomaremos en cuenta será: RMR₈₉

3.2.2 Valoración del Macizo Rocosos RMR₈₉

La valoración del macizo rocoso (Rock Mass Rating), introducido por Bieniawski (1976),

A continuación, hallamos el RMR para cada una de las estaciones por cada una de las familias.

es posiblemente la clasificación geomecánica más usada, inicialmente pensado para valorar la estabilidad y los soportes requeridos en túneles.

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

- (1) Resistencia del material intacto que se obtiene mediante ensayo de carga puntual o compresión simple.
- (2) RQD
- (3) Espaciado de las discontinuidades, hace referencia a la longitud entre discontinuidades dentro de la zona a estudio
 - a. Condición de las discontinuidades, que incluye:
 - b. Longitud de la discontinuidad
 - c. Abertura
 - d. Rugosidad
 - e. Relleno
 - f. Alteración
- (4) Presentación de agua subterránea

A cada uno de los parámetros anteriores se le asigna un valor, el RMR se obtiene como la suma de todos ellos.

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

PROGRESIVA		000 + 050		
N° ESTACION		1		
FAMILIA		1	2	3
RESISTENCIA	UCS (Mpa)	> 250MPa	250MPa	> 250MPa
	Calificacion	15	15	15
FRACTURAS/m (#Frac/1m) = I.F.=(1/Si)		20	9	2
$Jv = \sum_{i=1}^J (1/Si)$		32		
RQD= 115 -3.3Jv	RQD (%)	9.4%		
	Calificacion	3		
ESPACIAMIENTO	(cm)	5 cm	11cm	50cm
	Calificacion	5	8	10
CONDICION DE JUNTAS	PERSIST. (M)	3 m	4 m	15 m
	Calificacion	2	2	1
	ABERTURA (mm)	1.00 mm	1.00 mm	1.00 mm
	Calificacion	4	4	4
	RUGOSIDAD (N°)	2 Rugosa	2 Rugosa	3 lig. Rugosa
	Calificacion	5	5	2
	RELLENO (N°)	1 RB< 5mm	1 RB< 5mm	1 RB< 5mm
	Calificacion	0	0	0
	ALTERACION (N°)	2 ligeram.	2 ligeram.	2 ligeram.
	Calificacion	5	5	5
PRESENCIA DE AGUA	Estado	3 (mojado)	3 (mojado)	3 (mojado)
	Calificacion	7	7	7
RMR BASICO		46	46	44
AJUSTE POR ORIENTACION (N°)		0° - 20°	0° - 20°	0° - 20°
Calificacion		-5	-5	-5
RMR CORREGIDO		41	41	39
RMR +10 (VOLADURA PESADA)		51	51	49
CLASE		III	III	III
DESCRIPCION DEL MACIZO		REGULAR	REGULAR	REGULAR
RMR POR ESTACION G		50		
DESCRIPCION		REGULAR		
TIPO		III		

Figura 2 Clasificación RMR₈₉ de la estación N. ° 1

En la Estación N° 1 de la progresiva 000+055 obtenemos un Índice de la calidad de la Roca III, siendo esta de tipo REGULAR.

PROGRESIVA		055 + 094		
N° ESTACION		2		
FAMILIA		1	2	3
RESISTENCIA	UCS (Mpa)	> 250MPa	250MPa	> 250MPa
	Calificacion	15	15	15
FRACTURAS/m (#Frac/1m) = I.F.=(1/Si)		11	10	1
$Jv = \sum_{i=1}^J (1/Si)$		23		
RQD= 115 -3.3Jv	RQD (%)	39.1%		
	Calificacion	8		
ESPACIAMIENTO	(cm)	9 cm	10 cm	100 cm
	Calificacion	8	8	15
CONDICION DE JUNTAS	PERSIST. (M)	8 m	15 m	3 m
	Calificacion	2	1	4
	ABERTURA (mm)	0.00 mm	1.00 mm	1.00 mm
	Calificacion	6	1	1
	RUGOSIDAD (N°)	3 lig. Rugosa	2 Rugosa	4 Lisa
	Calificacion	2	5	1
	RELLENO (N°)	Ninguna	Ninguna	Ninguna
	Calificacion	6	6	6
	ALTERACION (N°)	2 ligeram.	2 ligeram.	2 ligeram.
	Calificacion	5	5	5
PRESENCIA DE AGUA	Estado	2 (Humedo)	2 (Humedo)	2 (Humedo)
	Calificacion	10	10	10
RMR BASICO		62	51	57
AJUSTE POR ORIENTACION (N°)		0° - 20°	0° - 20°	0° - 20°
Calificacion		-5	-5	-5
RMR CORREGIDO		57	46	52
RMR +10 (VOLADURA PESADA)		67	56	62
CLASE		III	III	III
DESCRIPCION DEL MACIZO		BUENA	REGULAR	REGULAR
RMR POR ESTACION G		62		
DESCRIPCION		BUENA		
TIPO		II		

Figura 3 Clasificación RMR₈₉ de la Estación N. ° 2

En la estación N° 2 de la progresiva 055+ 094 se obtuvo según la caracterización geomecánica un Índice de calidad de Roca II de tipo BUENA.

PROGRESIVA		094 + 160		
N° ESTACION		3		
FAMILIA		1	2	3
RESISTENCIA	UCS (Mpa)	> 250MPa	250MPa	> 250MPa
	Calificacion	15	15	15
FRACTURAS/m (#Frac/1m) = I.F.=(1/Si)		12	8	1
$Jv = \sum_{i=1}^J (1/Si)$		22		
RQD= 115 -3.3Jv	RQD (%)	42.4%		
	Calificacion	8		
ESPACIAMIENTO	(cm)	8 cm	13 cm	100 cm
	Calificacion	8	8	15
CONDICION DE JUNTAS	PERSIST. (M)	8 m	15 m	7 m
	Calificacion	2	1	2
	ABERTURA (mm)	3.00 mm	6.00 mm	0.00 mm
	Calificacion	1	0	6
	RUGOSIDAD (N°)	2 Rugosa	4 Lisa	4 Lisa
	Calificacion	5	1	1
	RELLENO (N°)	1 RB< 5mm	Ninguna	Ninguna
	Calificacion	0	6	6
	ALTERACION (N°)	2 ligeram.	2 ligeram.	2 ligeram.
Calificacion	5	5	5	
PRESENCIA DE AGUA	Estado	4 Goteando	4 Goteando	4 Goteando
	Calificacion	4	4	4
RMR BASICO		48	40	54
AJUSTE POR ORIENTACION (N°)		0° - 20°	0° - 20°	0° - 20°
Calificacion		-5	-5	-5
RMR CORREGIDO		43	35	49
RMR +10 (VOLADURA PESADA)		53	45	59
CLASE		III	III	III
DESCRIPCION DEL MACIZO		REGULAR	REGULAR	REGULAR
RMR POR ESTACION G		52		
DESCRIPCION		REGULAR		
TIPO		III		

Figura 4 Clasificación RMR₈₉ de la Estación N. ° 3

Finalmente, en la Estación N° 3 se obtuvo en la caracterización geomecánica de la progresiva 094+160 un Índice de Calidad de la Roca III de tipo REGULAR.

Tabla 13 Resultados Interrelación RMR⁽⁸⁹⁾
y Q⁽¹⁹⁷⁸⁾

Interrelación	N°	1	2	3
	estación			
RMR y Q	Valor RMR	50	62	52
Bieniawski (1976)	Q	2.76	21.13	3.88

Fuente: Elaboración propia

Después de hallar los valores de Q⁽¹⁹⁷⁸⁾ identificamos el tipo de roca a la que pertenece dándonos como resultado en la estación 1 y 3 Roca Mala y en la estación 2 Roca Buena

Tabla 14 Valores del Índice de Q de Barton

N° estación	Q	Calidad del macizo rocoso
1	2.7	Roca Mala
2	21.1	Buena
3	3.8	Roca Mala

Fuente: Elaboración propia

Mediante la clasificación de RMR₈₉ se pudo hallar el Índice Q Barton dándonos como resultado una calidad del macizo rocoso REGULAR en la primera estación y BUENA tanto en la segunda estación como en la tercera estación. Según (Calderon, 2018) concluyo que la caracterización geomecánica del macizo rocoso de la zona de estudio, mediante la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton determinaron el tipo de sostenimiento en la galería Gavilán de Oro de la UEA Ana María. Como también Cartaya & Blanco, (2000) en su tesis doctoral titulada Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país, en sus conclusiones indica “La metodología de

investigación desarrollada constituye un aporte científico y brinda elementos novedosos, además es aplicable a cualquier tipo de macizo tanto en obras subterráneas como de superficie”. La caracterización geomecánica es de aporte novedoso para evaluar el macizo rocoso, aplicable a cualquier tipo de macizo rocoso.

Así mismo Canchari P. (2015), en su tesis titulada Aplicación de la geotecnia para la construcción del túnel de exploración Ollachea, presentado a la Universidad Nacional del Altiplano, en sus conclusiones indica “Analizando y aplicando el índice de clasificación RMR (Bieniawski, 1989), tiene una confiabilidad de 95%”. El trabajo se relaciona con la investigación planteada, por el uso de la clasificación RMR y la confiabilidad que tiene de 95%.

Ccapa, H. (2016), en su tesis titulada Influencia de las características geomecánicas de la estructura mineralizada en la recuperación de pilares en la mina San Vicente, presentado a la Universidad Nacional del Altiplano, en sus conclusiones indica “Las características geomecánicas nos sirven para utilizar los métodos empíricos, analíticos y numéricos, para poder analizar e ingresar a recuperar la mayor parte del mineral existente en el tajo”. El trabajo se relaciona con la investigación planteada, por la utilidad de las características geomecánicas que sirven para utilizar los métodos empíricos.



Amanqui, P. (2009), en su tesis titulada *Aplicaciones de geomecánica en la actividad minera*, presentado a la Universidad Nacional del Altiplano, en sus conclusiones indica “La evaluación geomecánica del macizo rocoso, es fundamental para elegir y dimensionar el sostenimiento. (...) El estudio de Geomecánica es de suma importancia porque tiene influencia directa en accidentes por desprendimiento de rocas por ello es necesario cuidar este aspecto”. El trabajo se relaciona con la investigación planteada, por su influencia directa con la evaluación geomecánica del macizo para dimensionar el sostenimiento y la influencia que tiene en accidentes por desprendimiento de rocas.

IV. CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización geomecánica del macizo rocoso estudiado por estaciones en la excavación.
- La clasificación geomecánica obtenido en la ejecución de la presente investigación nos da a conocer que, según el RMR_{89} de Bieniawski, da como resultado una calidad de tipo regular (III) en las estaciones 1 y 3 mientras que en la estación 2 nos resulta como roca buena (II).
- Se recomienda seguir investigando respecto al tema de caracterización geomecánica siendo esta necesaria y de gran importancia tanto para las

explotaciones mineras subterráneas como en cielo abierto, siendo este de gran beneficio para las empresas mineras.

- Desarrollar otros criterios mecánico – estructurales que puedan ser empleados en excavaciones subterráneas.

V. BIBLIOGRAFÍA.

- Amanqui - Palli, Y. (2009). *Aplicaciones de geomecánica en la actividad minera*. (Universidad Nacional del Altiplano)
- Fidias, G.A. (2006). *El Proyecto de Investigacion*. Caracas. Venezuela. Editorial Episteme
- Bhawani, S. & Goel, R. K. (2011). *Engineericg Rock Mass Classification*.
- Calderon - Mena, M. (2018). *Caracterización Geomecánica Para La Determinación Del Tipo De Sostenimiento En La Galería Gavilán De Oro De La Uea Ana María*. (Universidad Nacional Del Altiplano). Retrieved from http://repositorio.unap.edu.pe/handle/U_NAP/8409
- Cartaya - Pire, M., & Blanco - Torrens, R. (2000). *Caracterización geomecánica de los macizos rocosos en minas subterráneas de la región oriental del país*. *Minería y Geología*, 17(1), 66–74.
- Ccoa - Quiro, E. (2015). *"Geomecánica aplicada al minado subterráneo para la minimización de caída de rocas en el*



- nivel morro pelado cooperativa minera lunar de oro - MDH ingenieros.*"
(Universidad Nacional del Altiplano)
- 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 María – La Rinconada*" (Universidad Nacional del Altiplano). Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2996%0A>
- Hinostroza - Campos, W. (2019). "*Caracterización geomecánica en el análisis de estabilidad generados por la explotación subterránea compañía minera aurífera Retamas S.A.*" (Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion)
- Blanco - Curi, J. (2018). "*Caracterización Geomecánica Para El Análisis De Pernos Hydrabolt En El Sostenimiento De Labores Subterráneas Compañía Minera Casapalca*" (Universidad Daniel Alcides Carrion). Retrieved from <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/565>
- Medina - Aguilar, V. (2017). "*Diseño De Cámaras Y Pilares Basado En Las Características Geomecánicas Del Macizo Rocoso En La Corporación Minera Ananea S.A. – 2016*" (Universidad Nacional del Altiplano). Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6510>
- Nina - Condori, G. (2016). "*Evaluación Geomecánica Y Estabilidad De Labores En El Proyecto San Gabriel Cia De Minas Buenaventura*" (Universidad Nacional del Altiplano). Retrieved from http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2996/Soto_Vilca_Angel_Christopher.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Osinergmin. (2017). *Guía de Criterios Geomecánicos para diseño, construcción, supervisión, y cierre de labores subterráneas* (Primera Ed, Vol. 66). Lima.
- Oyanguren, P. R., & Monge, L. A. (2004). Problemas de Mecánica de Rocas - Fundamentos e Ingeniería de Taludes. In *Journal of Chemical Information and Modeling*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Palmstrom, A. (2005). Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20(4), 362–377. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2005.01.005>



Soto - Vilca, A. (2016). *Diseño De Sosténimiento En El Túnel Wayrasencca - Ollachea* (Universidad Nacional del Altiplano). Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream>

/handle/UNAP/9408/Rosa_Enriquez_Yuca.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Vallejo, L. G. (2002). *Ingeniería eológica*. Madrid. España. Isabell Capella