

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

Categorización geomecánica del macizo rocoso en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el sostenimiento

Cesar Valerio Bujaico Mallma
Alan Jesus Gonzales Surichaqui

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios todopoderoso por su amor infinito, por todo lo que nos ha dado: la vida, la posibilidad de crecer y desarrollarnos profesionalmente y poder completar nuestras metas.

Asimismo, agradecemos a la universidad Continental por darnos la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos para realizar nuestros estudios superiores, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Agradecemos también a nuestro asesor de tesis el Ing. Julio Fredy Porras Mayta por habernos brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento.

Agradecemos también a la Compañía Minera Poderosa S.A. por darnos la oportunidad de realizar el presente trabajo de investigación.

Bach: Cesar Valerio Bujaico Mallma
Bach: Alan Jesus Gonzales Surichaqui

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo de investigación a nuestros padres por su incondicional apoyo guiándonos por el buen camino, sumando fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, a cada uno de nuestros seres queridos quienes han sido nuestros pilares para seguir adelante.

Bach: Cesar Valerio Bujaico Mallma

Bach: Alan Jesus Gonzales Surichaqui

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
ÍNDICE GENERAL.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
INTRODUCCIÓN	X
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	12
1.1. Planteamiento y formulación del problema	12
1.1.1. Problema general	13
1.1.2. Problemas específicos.....	13
1.2. Objetivos.....	14
1.2.1. Objetivo general	14
1.2.2. Objetivos específicos.....	14
1.3. Justificación	14
1.3.1. Justificación práctica.....	14
1.3.2. Justificación metodológica	14
1.4. Hipótesis y descripción de variables	15
1.4.1. Hipótesis general.....	15
1.4.2. Hipótesis específicas.....	15
1.4.2. Variables	15
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Antecedentes del problema.....	17
2.2. Bases teóricas.....	24
2.2.1. Propiedades mecánicas de las discontinuidades.....	24
2.2.2. Clasificación geomecánica de las rocas	28
2.2.3. Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos	28
2.3. Definición de términos básicos	44
CAPITULO III METODOLOGÍA.....	51
3.1. Métodos y alcances de la investigación	51
3.1.1 Método general.....	51

3.1.2 Tipo de investigación	51
3.1.3 Nivel de investigación.....	51
3.2. Diseño de investigación	51
3.3 Población y muestra.....	52
3.3.1 Población	52
3.3.2 Muestra	52
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	52
3.4.1 Técnicas de recolección de datos	52
3.4.2 Instrumentos de recolección de datos	52
CAPITULO IV RESULTADOS.....	53
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información	53
4.1.1 Datos de la unidad minera	53
4.2. Clasificación de Barton et al. (1974).....	56
4.2.1 Evaluación de los índices de calidad Q	56
4.3. Discusión de resultados	66
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Índice de calidad de la roca	30
Tabla 2. Número de familias de Juntas. Jn	31
Tabla 3. Rugosidad de las juntas. Jr	32
Tabla 4. Meteorización de las juntas. Ja	32
Tabla 5. Tensiones en la excavación. S.R.F.	33
Tabla 6. Agua en las juntas. Jw	35
Tabla 7. Rangos de variación de parámetros del Q de Barton	36
Tabla 8. Resistencia aproximada al corte a partir de los parámetros Jr y Ja	37
Tabla 9. Clasificación de Barton et al. (1974) de los macizos rocosos	38
Tabla 10. Intervalos de valores del RMR y Q para categorías similares de macizos rocosos.....	43
Tabla 11. Número de familias de Juntas. Jn	56
Tabla 12. Resultado considerado para la meteorización de las juntas. Ja.....	57
Tabla 13. Resultado de la evaluación de la rugosidad de las juntas. Jr.....	59
Tabla 14. Resultado de la evaluación de la presencia de agua en las juntas. Jw	60
Tabla 15. Tensiones en la excavación. S.R.F.	61
Tabla 16. RQD "Rock Quality Designation	62
Tabla 17 Tipos de macizos	63
Tabla 18. Matriz de consistencia	72

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Discontinuidades naturales en un afloramiento rocoso	24
Figura 2. Ensayo de corte y respuesta clásica de una discontinuidad plana ...	25
Figura 3. Ensayo de corte sobre una discontinuidad rugosa con asperezas totalmente regulares y con un ángulo de inclinación “i”, y criterios de rotura propuestos para su análisis	26
Figura 4. Perfiles normalizados que propusieron Barton y Choubey (1977) para obtener el índice de rugosidad de una junta o JRC. Cortesía de Springer-Verlag	27
Figura 5. Método alternativo de Barton (1982) para calcular el JRC	28
Figura 6. Estimación del R.Q.D. a partir de testigos de sondeo	30
Figura 7. Valores del índice ESR de la clasificación Q	38
Figura 8. Categoría de sostenimiento Q de Barton	39
Figura 9. Correlación entre el RQD y el espaciado	42
Figura 10. Categoría de sostenimiento Q de Barton	44
Figura 11. Sostenimiento a partir del índice Q	64

RESUMEN

El presente trabajo de investigación planteó como objetivo general: Calcular los resultados de la categorización geomecánica del macizo rocoso en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el sostenimiento, nivel 2995 RA LIZA compañía minera Poderosa S.A. 2021. La hipótesis general fue que la categorización geomecánica del macizo rocoso mediante la evaluación de los parámetros tales como RQD, Jn, Jr, Ja, Jw y SRF en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton permiten determinar el sostenimiento a aplicar en el nivel 2995 RA LIZA compañía minera Poderosa S. A. 2021.

El método general de investigación fue el científico, tipo aplicado, de nivel correlacional y de diseño no experimental, la población y la muestra conformada por el nivel 2995 RA LIZA compañía minera Poderosa S. A.

Producto de la investigación se concluye que los resultados de la categorización geomecánica del macizo rocoso, respecto al índice de calidad de la roca fue del 90 % con una categoría de buena, las juntas conformadas por tres familias y algunas juntas ocasionales cuya valoración es de 12; las juntas presentan rugosidad irregular plana cuya puntuación es de 1.5; la alteración con partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla la puntuación es de 4, por otro lado la presencia del agua es de fluencia grande o presión alta; considerable lavado de los rellenos de las juntas con una puntuación de 0.33, seguidamente la puntuación del factor reductor de esfuerzos corresponde a una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente; es estos valores se establece que el tipo macizo es muy malo, para lo cual se establece que el sostenimiento está conformado por hormigón proyectado con fibras, 120 - 150 mm y bulonado S(fr)+B.

Palabras claves: categorización geomecánica, macizo rocoso, labores de avance, cartilla del Q de Barton y sostenimiento.

ABSTRACT

The present research work was proposed as a general objective: To calculate the results of the geomechanical categorization of the rocky massif in advance work using the Barton Q chart to determine the support, level 2995 RA LIZA company minera Poderosa S.A. 2021, whose general hypothesis was: The geomechanical categorization of the rocky massif by evaluating parameters such as RQD, Jn, Jr, Ja, Jw and SRF in advance work using the Barton Q primer allow determining the support to be applied in level 2995 RA LIZA mining company Poderosa SA 2021.

The general research method was scientific, applied type, correlational level and non-experimental design, the population and the sample made up of The population is made up of the level 2995 RA LIZA mining company Poderosa S.A.

As a result of the research, it is concluded that: The results of the geomechanical categorization of the rocky massif, regarding: the rock quality index was 90% with a category of good, the joints made up of three families and some occasional joints whose assessment is 12; the joints present flat irregular roughness whose score is 1.5; alteration with sand particles, disintegrated rock free of clay, the score is 4, on the other hand, the presence of water is high flow or high pressure; considerable washing of joint fillers with a score of 0.33, then the stress reducing factor score corresponds to a weak zone containing chemically disintegrated clay or rock; In these values, it is established that the solid type is very bad, for which it is established that the support is made up of shotcrete with fibers, 120 - 150 mm and bolted S (fr) + B.

Keywords: geomechanical categorization, rock massif, advance work, Barton Q primer and support.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación lleva por título: “Categorización geomecánica del macizo rocoso en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el sostenimiento”; partió de la problemática que se presentan en las labores de avance y se manifiestan con la inestabilidad de la masa rocosa al contorno de la excavación, la que muchas veces crea el desprendimiento de rocas exponiendo a los trabajadores, del mismo modo los equipos de minas tales como Jumbos, cargador frontal, volquetes se encuentran inmerso ante este peligro; además de las labores mineras, las cuales pueden colapsar.

La inestabilidad de la masa rocosa repercute en los altos costos en sostenimiento que viene desembolsando la empresa. La caracterización geomecánica permite evitar y/o disminuir los incidentes/accidentes por caída de rocas, utilizando las herramientas, a fin de controlar su estabilidad, estableciendo tipos de sostenimiento en las diferentes labores mineras y garantizando la estabilidad de la masa rocosa con el fin de brindar una operación segura y de calidad. En labores subterráneas, se presentan agrietamientos de los macizos rocosos, lo se manifiesta la pérdida de su estabilidad y el mecanismo de actuación de la presión, esto se determina mediante la geomecánica.

En tal sentido para un mejor entendimiento del desarrollo de la tesis esta de desarrollo en cuatro capítulos, los mismos que tiene los siguientes contenidos.

En el capítulo I, se encuentra el planteamiento del estudio, en el cual se detalla el planteamiento y formulación del problema citando el problema general y específico, del mismo modo se da a conocer el objetivo general y específico, posteriormente se expone la justificación práctica y metodológica; para finalizar este capítulo se exponen la hipótesis general, específica y las variables de esta investigación.

El capítulo II titulado: Marco teórico, se dan a conocer los antecedentes nacionales e internacionales, de igual manera las bases teóricas y para finalizar se redacta la definición de términos básicos de la investigación.

El capítulo III titulado: Metodología, está referida para la metodología de la investigación, resaltando el método general, tipo, nivel, diseño, población y muestra, así como las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

En el capítulo IV corresponde a resultados y discusión en donde se dan a conocer los datos que se obtuvieron de la investigación.

Y en la parte final se formulan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

Bach: Cesar Valerio Bujaico Mallma
Bach: Alan Jesus Gonzales Surichaqui

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

Los problemas que se presentan en las labores de avance se manifiestan con la inestabilidad de la masa rocosa al contorno de la excavación, la que muchas veces crea el desprendimiento de rocas exponiendo a los trabajadores al trabajar en zonas inseguras, del mismo modo los equipos de minas tales como jumbos, cargador frontal, volquetes se encuentran inmerso ante este peligro y por otro lado las mismas labores mineras las cuales pueden colapsar.

La inestabilidad de la masa rocosa repercute en los altos costos en sostenimiento que viene desembolsando la empresa. La caracterización geomecánica permite evitar y/o disminuir los incidentes/accidentes por caída de rocas, utilizando las herramientas, a fin de controlar su estabilidad, estableciendo tipos de sostenimiento en las diferentes labores mineras y garantizando la estabilidad de la masa rocosa con el fin de brindar una operación segura y de calidad. En labores subterráneas se presentan agrietamientos de los macizos rocosos, lo se manifiesta la pérdida de su estabilidad y el mecanismo de actuación de la presión, esto se determina mediante la geo mecánica.

En tal sentido se hace necesario realizar un estudio con la finalidad de minimizar los problemas que se presentan en las labores de avance.

1.1.1. Problema general

¿Cuáles son los resultados de la categorización geomecánica del macizo rocoso en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el sostenimiento, nivel 2995 RA LIZA compañía minera Poderosa S.A. 2021?

1.1.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son los resultados de la categorización del tamaño de los bloques del macizo rocoso en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el sostenimiento?

- b) ¿Cuáles son los resultados de la categorización de la resistencia al corte entre los bloques del macizo rocoso en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el sostenimiento?

- c) ¿Cuáles son los resultados de la categorización de las tensiones activas del macizo rocoso en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el sostenimiento?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Calcular los resultados de la categorización geomecánica del macizo rocoso en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el sostenimiento, nivel 2995 RA LIZA compañía minera Poderosa S.A. 2021.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Determinar los resultados de la categorización del tamaño de los bloques del macizo rocoso en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el sostenimiento.
- b) Calcular los resultados de la categorización de la resistencia al corte entre los bloques del macizo rocoso en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el sostenimiento.
- c) Analizar los resultados de la categorización de las tensiones activas del macizo rocoso en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el sostenimiento.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación práctica

La presente investigación propone realizar la categorización del estado tensional del macizo rocoso en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el sostenimiento, de esta manera se realizará la propuesta para dar una solución al problema de la inestabilidad del macizo rocoso en las labores de avance.

1.3.2. Justificación metodológica

Con la finalidad de desarrollar de la presente tesis, el tesista empleará metodologías propias para la recolección de los datos de campo, estas metodologías servirán de igual manera para procesar la información de manera ordenada y sistemática, las metodologías podrán servir de base para otras investigaciones que tengan un enfoque similar.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis general

La categorización geomecánica del macizo rocoso mediante la evaluación de los parámetros tales como RQD, Jn, Jr, Ja, Jw y SRF en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton permiten determinar el sostenimiento a aplicar en el nivel 2995 RA LIZA compañía minera Poderosa S.A. 2021.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a) La categorización del tamaño de los bloques del macizo rocoso mediante la evaluación de los parámetros del RQD y Jn en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton, influyen para determinar la valoración y el tipo de sostenimiento.

- b) La categorización de la resistencia al corte entre los bloques del macizo rocoso mediante la evaluación de los parámetros del Jr y Ja en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el inicio del fallamiento el cual sirve para hallar el tipo de sostenimiento.

- c) La categorización de las tensiones activas del macizo rocoso mediante la evaluación de los parámetros del Jw y SRF en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton permiten determinar el esfuerzo activo el cual sirve para hallar el tipo de sostenimiento.

1.4.2. Variables

a) Variable Independiente (X):

Categorización geomecánica del macizo rocoso

Indicadores:

- Tamaño de los bloques del macizo rocoso
- Resistencia al corte entre los bloques del macizo rocoso
- Categorización del estado tensional del macizo rocoso

b) Variable dependiente (Y):

Sostenimiento

Indicadores:

- Sostenimiento pasivo
- Sostenimiento activo

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

a) Tesis titulada: “*Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente unidad minera Yauricocha – Sociedad Minera Corona S. A.*”. El objetivo general de la investigación fue:

- ✓ Determinar cómo influye la evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente, tajeo 0337, RP basculante, piso 0, nivel 1170, zona V, cuerpo mascota - unidad minera Yauricocha, 2018

Los objetivos específicos fueron:

- ✓ Determinar la influencia de las propiedades del macizo rocoso para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente.
- ✓ Evaluar las características de los elementos de sostenimiento a emplear en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente.
- ✓ Cuantificar los costos del sostenimiento a emplear en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente.

Producto de su investigación concluye que:

- ✓ Se concluye que la evaluación geomecánica de tajeo 0337, RP basculante, piso 0, nivel 1170, zona V, cuerpo mascota - unidad minera Yauricocha, conforme a la clasificación de Bieniawski dieron como resultado que el tipo de sostenimiento aconsejado para la roca que se tomó como muestra (de acuerdo a los ensayos realizados en el laboratorio y con la ayuda del programa Geotable) que la valorización es 74 puntos lo cual clasifica a la unidad de análisis como macizo rocoso bueno clase II. Este resultado permite viabilizar el empleo de pernos *Split set* localmente de 3 m en la corona, espaciados a 2.5 m con malla electrosoldada y *shotcrete* ocasionalmente.

- ✓ El macizo rocoso está compuesto de roca ígnea plutónica tipo granodiorita de textura fina compuesto por cuarzo y feldespatos, las propiedades físicas y mecánicas que se analizaron dentro del laboratorio; volumen, densidad, humedad, grado de saturación, porosidad, absorción, entre otros y software de geomecánica y sus parámetros: RQD, resistencia a la compresión uniaxial, espaciamiento, condición de juntas, filtración de agua, influyen en la determinación de elegir un adecuado sostenimiento, un total de 4 pruebas demuestran que la roca es competente Tipo II: roca buena, y para una explotación de corte y relleno ascendente.

- ✓ Las características de los elementos de sostenimiento dependen mucho de su proveedor y fabricación; a partir de ello, los pernos *Split set* consiguen efecto de puesta a carga inmediata y permiten un deslizamiento muy importante ante de la rotura, poseen una resistencia inmediata debido a su función de anclaje de la resina y la reducción de costos de la lechada para los elementos de sostenimiento de roca; de igual manera, la malla electrosoldada es un componente muy importante en este tipo de explotación, ya que previene la caída minuciosa de roca reduciendo accidentes, el acero galvanizado es muy resistente ante las rocas cortantes no dejándolas pasar y resistiendo el peso, ambos componentes de sostenimiento se complementan generando una seguridad y estabilidad dentro de la unidad minera Yauricocha; por otro lado la importancia y solución que nos brinda el *shotcrete* es muy necesaria, se lanza en lugares más inestables, donde se encuentra

con un macizo rocoso inestable, lanzando y previendo deslizamientos y caídas de rocas de gran tamaño.

- ✓ Los costos para el sostenimiento desempeñan un rol muy importante en la elección del tipo de sostenimiento en las labores de preparación desarrollo y explotación en la unidad minera Yauricocha, por lo cual se debe dar prioridad el sostenimiento adecuado por el Departamento de Geomecánica conjuntamente con planeamiento de la unidad minera Yauricocha con el objetivo de minimizar accidentes por caída de rocas. Los costos inmersión de acuerdo al estudio geomecánico son los precios unitarios de *Split set*, malla electrosoldada y *shotcrete*.

b) Tesis titulada: “*Evaluación geomecánica y estabilidad de labores en el proyecto SAN Gabriel CIA de minas Buenaventura*”. El objetivo general de la investigación fue:

- ✓ Evaluar las características geomecánicas y la estabilidad de las labores en el proyecto

Los objetivos específicos fueron:

- ✓ Identificar las características geomecánicas de las labores en el proyecto San Gabriel CIA de Minas Buenaventura.
- ✓ Determinar las condiciones de estabilidad de las labores en el proyecto San Gabriel CIA de Minas Buenaventura.

Producto de su investigación concluye que:

- ✓ La evaluación geomecánica y estabilidad de las labores se determinó siguiendo una metodología de campo, laboratorio y gabinete, obteniéndose óptimos resultados que ayudaran en el proceso constructivo de las labores de exploración del proyecto San Gabriel.
- ✓ Se realizó la evaluación de las características geomecánicas del sitio, a través de la realización de ensayos de laboratorio y mapeo de campo de 40 estaciones geomecánicas por el método de celdas o ventanas, obteniéndose las características típicas del macizo rocoso presente en el proyecto San

Gabriel. Teniendo las siguientes características: se presentan 5 familias de discontinuidades relevantes, con un RQD de valor medio a bueno, espaciados muy junto a extremadamente junto, persistencia media a alta, con superficies rugosa, apertura angosta, relleno típico de óxido y condición de humedad. La clasificación geomecánica nos muestra que el proyecto San Gabriel presenta un tipo de roca regular a buena calidad.

- ✓ Se realizó la evaluación de estabilidad por métodos empíricos, obteniéndose condiciones de estabilidad, tiempo de autosostenimiento, tipo de sostenimiento. Las excavaciones de sección 3.5 x 3.5 m como son las cortadas de exploración en gran parte no requerirán sostenimiento, sin embargo, de presentarse un terreno de mala calidad será necesaria la evaluación de sostenimiento. Las excavaciones de sección 4.5 x 4.5 m como es el caso de la rampa San Gabriel, requerirá un sostenimiento de tipo permanente que puede ser pernos helicoidales distribuidos de manera sistemática y finalmente las excavaciones de sección 7.0 x 7.0 m destinadas a ser Cámaras de perforación diamantina requerirán un sostenimiento más robusto como es el caso del Shotcrete más empernado sistemático. Finalmente, se realizaron modelamientos numéricos por el método esfuerzo deformación para validar la estabilidad de las excavaciones.

c) Tesis titulada: “*Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A.*” El objetivo general fue:

- ✓ Efectuar la caracterización geomecánica, para determinar el tipo de sostenimiento para la estabilidad en el minado subterráneo de la mina Huantajalla – U.P. Uchucchacua de la compañía minera Buenaventura S.A.A.

Los objetivos específicos fueron:

- ✓ Determinar la clasificación geomecánica, para optimizar el sostenimiento en la mina Huantajalla – U.P. Uchucchacua de la compañía minera Buenaventura S.A.A.

- ✓ Establecer los parámetros geotécnicos para poder controlar el factor de seguridad, estabilidad y sostenimiento en la mina Huantajalla – U.P. Uchucchacua de la compañía minera Buenaventura S.A.A.

Las conclusiones de su investigación fueron:

- ✓ El negocio minero se caracteriza por ser una actividad de precio aceptable, lo que constituye un *comodity*. Es imperativo el liderazgo de costos de procesos en la unidad para alcanzar competitividad. Por tanto, Uchucchacua debe operar bajo un modelo de administración estratégica, para el cual posee planes y acciones para lograr los objetivos y metas.
- ✓ A partir de los datos obtenidos de los estudios geológicos, geotécnicos y de los informes previos del Departamento de Geomecánica, que han servido de base para definir los parámetros de control geomecánico y determinar el plan de minado, en mina Huantajalla – UEA. Uchucchacua.
- ✓ Realizado la caracterización de la roca y usando el sistema de clasificación y calificación geomecánica RMR (Bieniawski 1989), se han determinado los tipos de roca presentes en la mina Socorro –UEA. Uchucchacua son las calizas (RMR \approx 48). Determinando de esta manera la capacidad de resistencia de cada tipo de roca, la cual nos da los parámetros de estabilidad de cada área de minado, permitiéndonos tener un adecuado panorama del plan de minado.
- ✓ Calcular la resistencia uniaxial a la compresión en MPa, a partir de los valores de resistencia del martillo *Schmidt*. El martillo se ha aplicado perpendicularmente a una pared vertical durante el ensayo. Ejemplo:
Densidad de mineral: 3.2 kN/m³
Densidad de la caliza: 2.7 kN/m³
Plateando los valores de rebote medio obtenidos en el ábaco se obtiene:
Mineral: 58 MPa
Caliza: 79 MPa

- ✓ El análisis de estabilidad estructuralmente controlado, se ha efectuado para aquellos con más de dos sistemas de discontinuidades, en todos los casos analizados se ha determinado presencia de roca fracturada, de cuñas de mediano y pequeño tamaño los cuales han sido controlados con el sostenimiento con pernos helicoidales y malla electrosoldada y *shotcrete*.
- ✓ El análisis de estabilidad controlado por esfuerzos se realizó mediante la aplicación del método por elementos finitos, enfocado a la estabilidad de puentes, obteniendo puentes de 7.0 m cuando se tiene roca mala y 5.0 m cuando la roca es regular. Asimismo, el mismo análisis se utilizó para análisis la estabilidad de las labores al minar por tajeos, obteniendo factores de seguridad, que van desde 1.50 a 0.95 de acuerdo a determinadas condiciones siendo controlado por relleno detrítico y relleno hidráulico.

d) Tesis titulada: “*Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la corporación minera Toma la Mano – Cormitoma S.A. – año 2018*”.

Su objetivo general fue:

- ✓ Determinar en base a la geomecánica el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la corporación minera Toma La Mano – CORMITOMA S.A. – año 2018

Sus objetivos específicos fueron:

- ✓ Determinar la clasificación del macizo rocoso para el diseño del sostenimiento en la corporación minera Toma La Mano – Cormitoma S.A. – año 2018.
- ✓ Determinar los procedimientos de instalación de los sistemas de sostenimiento en la corporación minera Toma La Mano – Cormitoma S.A. – año 2018

Las conclusiones de su investigación fueron:

- ✓ En este caso el sostenimiento es esporádico, ya que el levantamiento litológico estructural se realizó en la zona mineralizada. Split set de 5 y 7 pies espaciados cada uno de 1.2 x 1.2 m, distribuidos en forma de tres bolillos + malla electrosoldada en terrenos muy fracturados o cuadros de madera donde

requiera; puntales de seguridad, en las partes donde requiera, hacer un buen control de perforación y voladura. Sostenimiento en caso los requiera, por el proceso de meteorización de la roca; realizando control preventivo.

✓ En lo referente al sostenimiento de acuerdo a los valores determinados por Bieniawski (RMR) y Barton (Q), en el caso del mineral no requiere sostenimiento; en el caso de la zona de contacto el sostenimiento es esporádico, ya que el levantamiento litológico estructural se realizó en la zona mineralizada; en el caso de la pizarra el sostenimiento será a través de *Split set* de 5 y 7 pies espaciados cada uno de 1.2 x 1.2 m. distribuidos en forma de tres bolillos + malla electrosoldada en terrenos muy fracturados o cuadros de madera donde requiera; en el caso de la cuarcita el sostenimiento será con puntales de seguridad, en las partes donde requiera, hacer un buen control de perforación y voladura; y en el caso de la granodiorita será cuando lo requiera.

✓ En lo relacionado a las propiedades físico - mecánicas del macizo rocoso de la Corporación Minera S. A., se determinó para las tres rocas predominantes:

– **Pizarra:**

- Cohesión: 1.7785 Kg/cm²
- Angulo de fricción: 28.018°
- Esfuerzo a la tracción: 2.156 MPa
- Esfuerzo compresivo: 5.6926 MPa
- Esfuerzo al corte: 4E-01 MPa
- Módulo de deformación in situ: 16.50GPa
- Densidad: 23.66 KN/m³

– **Cuarcita:**

- Cohesión: 3.8392 Kg/cm²
- Angulo de fricción: 55.441°
- Esfuerzo a la tracción: -1.927 MPa
- Esfuerzo compresivo: 23.837 MPa
- Esfuerzo al corte: 2E-67 MPa

- Módulo de deformación in situ: 39.25 GPa
- Densidad: 24.275 KN/m³

– **Granodiorita**

- Cohesión: 5.379 Kg/cm²
- Angulo de fricción: 61.794°
- Esfuerzo a la tracción: -2.157 MPa
- Esfuerzo compresivo: 40.221 MPa
- Esfuerzo al corte: 5e-164 MPa
- Módulo de deformación in situ: 63.75 GPa
- Densidad: 24.56 KN/m³

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Propiedades mecánicas de las discontinuidades

Los macizos rocosos en la naturaleza presentan comúnmente un elevado número de discontinuidades. Por ello si se quiere conocer y describir adecuadamente el comportamiento mecánico de los macizos rocosos resulta necesario analizar previamente el comportamiento de las discontinuidades naturales.



**Figura 1. Discontinuidades naturales en un afloramiento rocoso
Tomado de Mecánica de rocas fundamentos e ingeniería de taludes (5 pág. 85)**

➤ Discontinuidades lisas

Supongamos una discontinuidad totalmente lisa, sin relleno y cementada. Si se talla un bloque de la misma y se realiza un ensayo de corte, con tensión normal constante, y se representa la evolución de la tensión cortante aplicada y del desplazamiento cortante, se obtendrá una gráfica del tipo de la que se presenta en la misma.

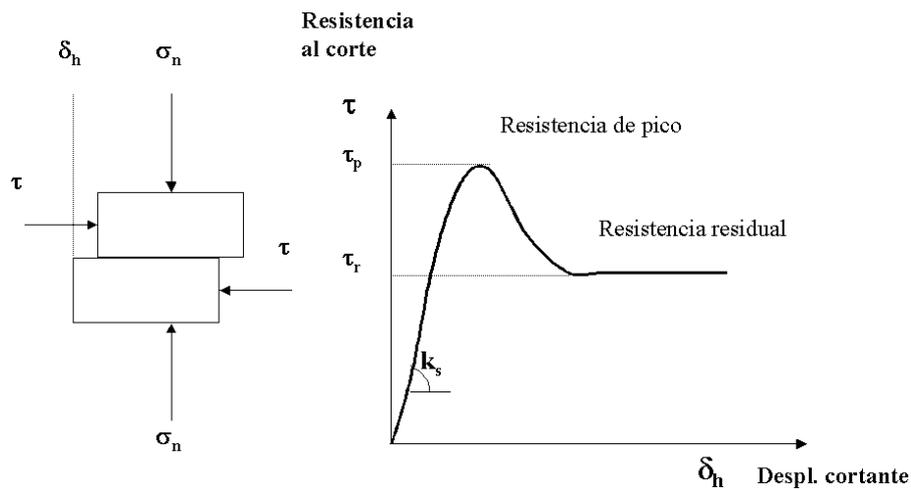


Figura 2. Ensayo de corte y respuesta clásica de una discontinuidad plana
Tomado de Mecánica de rocas fundamentos e ingeniería de taludes (5 pág. 85)

➤ Discontinuidades rugosas sin relleno

Si se tuviera una discontinuidad rugosa con asperezas totalmente regulares y con un ángulo de inclinación "i", como la que se muestra en la siguiente figura, resulta fácil comprender que el ensayo es inicialmente equivalente al de la discontinuidad inclinada, por lo que el efecto que produce una rugosidad regular sobre la resistencia al corte de una discontinuidad es un aumento del ángulo de fricción en una cantidad igual a "i". Esto hará además que el desplazamiento tenga una componente normal y no sólo cortante, efecto asociado con la dilatación de la discontinuidad que se analizará más adelante.

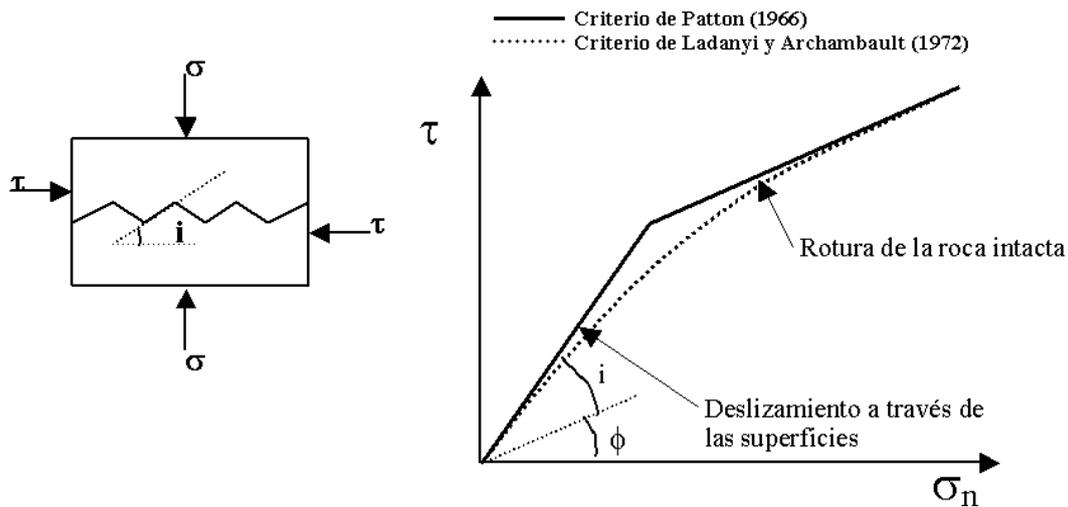


Figura 3. Ensayo de corte sobre una discontinuidad rugosa con asperezas totalmente regulares y con un ángulo de inclinación “i”, y criterios de rotura propuestos para su análisis

Tomado de Mecánica de rocas fundamentos e ingeniería de taludes (5 pág. 88)

➤ **Criterio de rotura de juntas de Barton**

En la naturaleza las discontinuidades son comúnmente rugosas, siendo además su rugosidad muy irregular. Barton inicialmente en 1973 y sus colaboradores a lo largo de los años 1970 a 1990 analizaron en detalle el comportamiento resistente de pico de juntas rugosas naturales sin relleno y propusieron que la ecuación que describe dicho comportamiento se podía escribir de la forma:

$$\tau = \sigma_n \cdot \text{tg} \left[\phi_b + JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right]$$

Donde JRC es el coeficiente de rugosidad de la junta y JCS la resistencia a compresión simple de los labios de la discontinuidad.

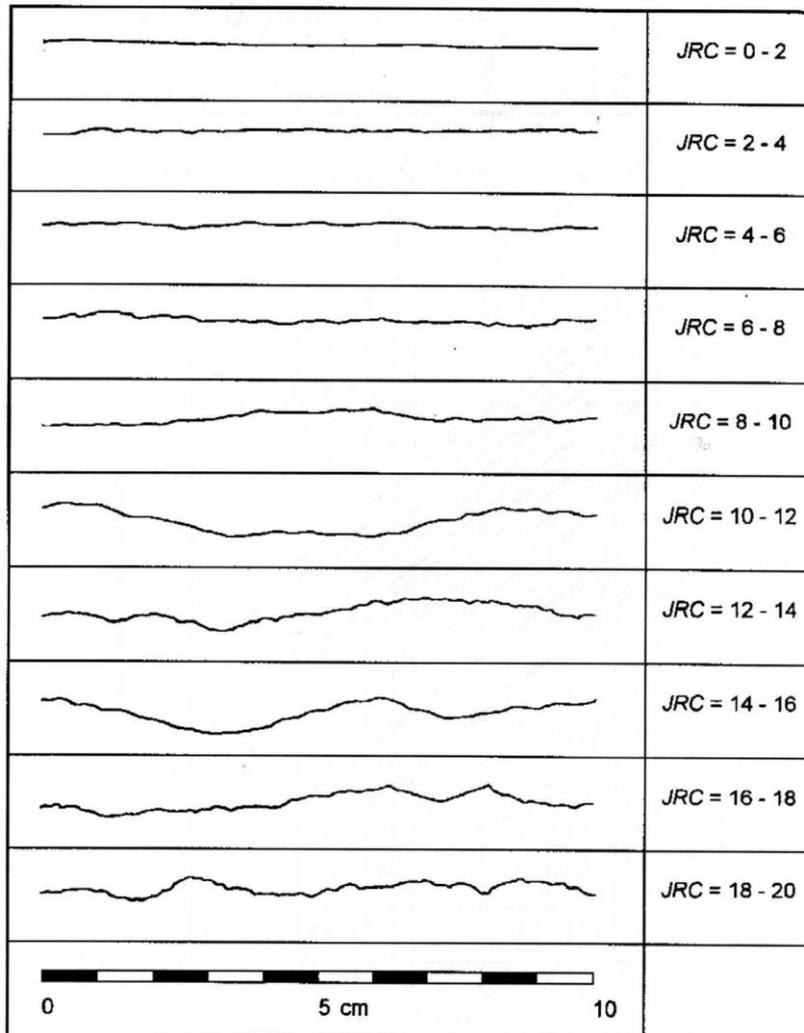


Figura 4 Perfiles normalizados que propusieron Barton y Choubey (1977) para obtener el índice de rugosidad de una junta o JRC. Cortesía de Springer-Verlag
Tomado de *Mecánica de rocas fundamentos e ingeniería de taludes* (5 pág. 90)

Este último procedimiento suele dar lugar a valores de JRC diferentes de los obtenidos mediante los procedimientos indicados anteriormente, lo que pone de manifiesto que la definición de un índice de rugosidad para las discontinuidades es más difícil de lo que parece.

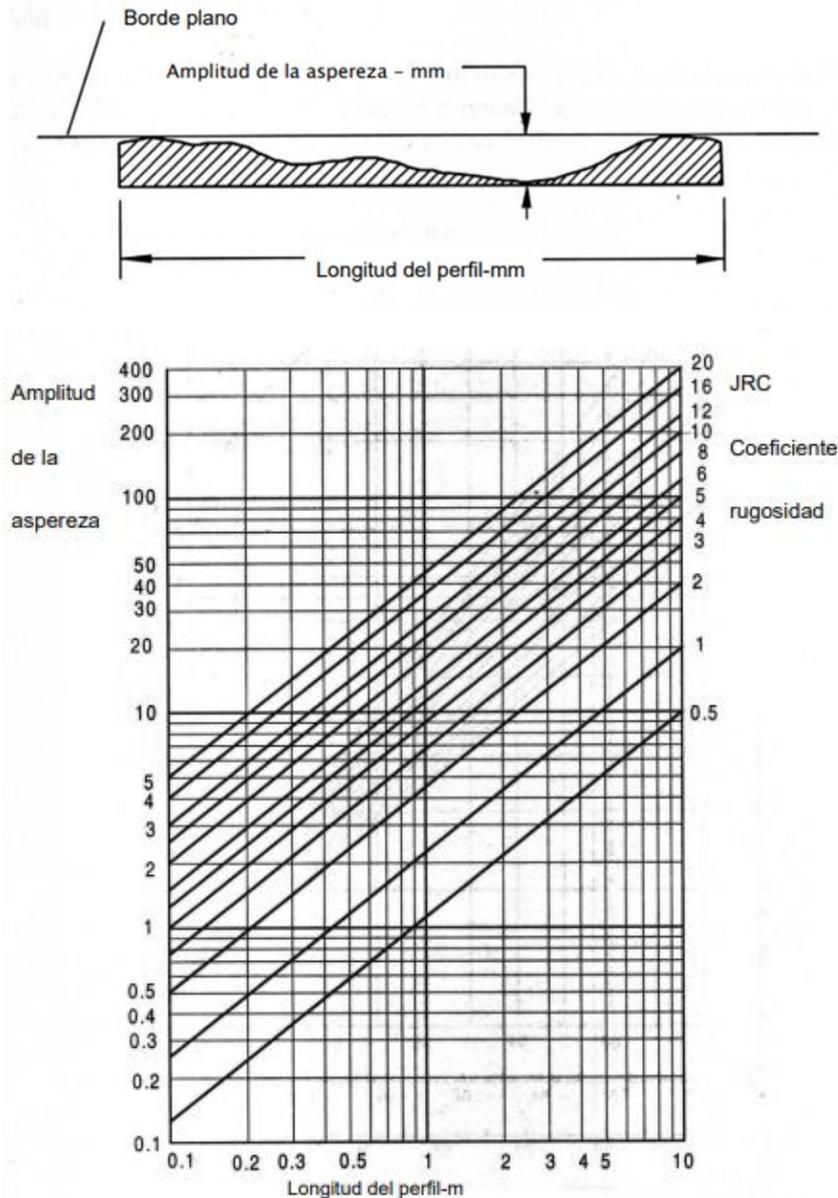


Figura 5 Método alternativo de Barton (1982) para calcular el JRC
Tomado de Mecánica de rocas fundamentos e ingeniería de taludes (5 pág. 91)

2.2.2. Clasificación geomecánica de las rocas

Se denominan rocas a los conjuntos de agregados mono o poli mineral que constituyen la litosfera y que se presentan consolidados, cementados, aglomerados o de cualquier otra forma de modo que dan lugar a un material de cierta resistencia. Las rocas se han originado de la siguiente forma: (5 pág. 29)

2.2.3. Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos

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.

Los sistemas de clasificación de los macizos rocosos tienen por objeto evaluar sus características para determinar de forma cuantitativa su calidad. El término “macizo rocoso” se refiere al conjunto de uno o varios tipos de rocas atravesados por plano de discontinuidad en el que se inserta la obra de ingeniería o la mina.

Su caracterización requiere el conocimiento de los siguientes parámetros:

- 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: continuidad, rugosidad, separación y resistencia de los labios, meteorización y relleno.
- Condiciones del agua en las juntas.
- Tensiones in situ, naturales o inducidas.
- Alteraciones producidas en el macizo rocoso por las excavaciones.

Los criterios de clasificación tienen que ser claros y consistentes para que no haya ninguna duda a la hora de aplicarlos y las categorías que se establezcan deben ser mutuamente excluyentes, de modo que no sea posible asignarle a un macizo rocoso dos categorías distintas. Por otra parte, se gana en objetividad a la hora de definir la calidad de un macizo rocosos si se obtienen índices mediante dos o más clasificaciones que se puedan correlacionar entre sí. (5 pág. 145)

➤ **Clasificación de Deere (1967)**

Para ir dando respuesta a las dificultades planteadas por las clasificaciones primitivas utilizadas para estimar entibaciones de túneles, fueron surgiendo otras clasificaciones, como la de Deere, que en 1967 propuso un sistema de diseño de sostenimientos basado en el RQD. Este parámetro se obtiene a partir del porcentaje de trozos de testigo mayores de 10 cm recuperado en un sondeo, tal

y como muestra la siguiente tabla la cual permite estimar el grado de fracturación del macizo rocoso.

Tabla 1. Índice de calidad de la roca

Índice de calidad de la roca	
Descripción	RQD %
Muy pobre	0 - 25
Pobre	25 - 50
Regular	50 - 75
Buena	75 - 90
Excelente	90 - 100

i) Estimar el RQD con 5% de aproximación
 ii) Cuando no se disponga de testigos
 $RQD = 115 - 3.3 J_v$
 Jv: N° de Diaclasas por m³
 iii) Si el RQD menor de 10, emplear un valor nominal 10

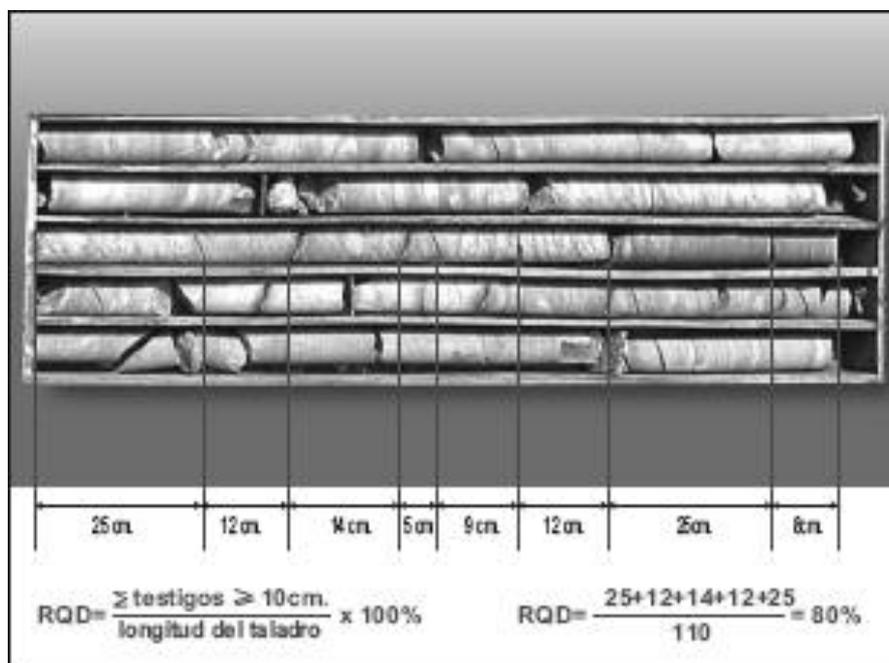


Figura 6 Estimación del R.Q.D. a partir de testigos de sondeo
 Tomado de *Mecánica de rocas fundamentos e ingeniería de taludes* (5 pág. 148)

➤ **Clasificación de Barton et al. (1974)**

Definición del índice de calidad Q

En esta clasificación se catalogan los macizos rocosos según el denominado índice de calidad Q, basado en los 6 parámetros siguientes:

- ✓ RQD "Rock Quality Designation".
- ✓ Jn Número de familias juntas.
- ✓ Jr Rugosidad de las juntas.
- ✓ Ja Meteorización de las juntas.
- ✓ Jw Coeficiente reductor que tiene en cuenta la presencia de agua.
- ✓ SRF "Stress Reduction Factor", factor dependiente principalmente de las tensiones existentes en el macizo rocoso.

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

El primer cociente, RQD/Jn, representa el tamaño de los bloques. Jr/Ja permite estimar la resistencia al corte entre bloques.

Jw/SRF indica el estado tensiones en el macizo rocoso.

Tabla 2. Número de familias de Juntas. Jn

Descripción	Jn
Roca masiva	0,5-1
Una familia de diaclasas	2
Una familia y algunas juntas ocasionales	3
Dos familias	4
Dos familias y algunas juntas	6
Tres familias	9
Tres familias y algunas juntas	12
Cuatro o más familias, roca muy fracturada, "terrones de azúcar", etc.	15
Roca triturada terrosa	20

En boquillas, se utiliza 2 Jn y en intersecciones de túneles 3 Jn

Tabla 3. Rugosidad de las juntas. J_r

Descripción	J_r
* Contacto entre las dos caras de la junta mediante un desplazamiento cortante de menos de 10 cm	
▪ Juntas discontinuas	4
▪ Junta rugosa o irregular ondulada	3
▪ Suave ondulada	2
▪ Espejo de falla, ondulada	1,5
▪ Rugosa o irregular, plana	1,5
▪ Suave plana	1
▪ Espejo de falla, plana	0,5
* No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando ambas se desplazan lateralmente	J_r
▪ Zona conteniendo minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de la junta	1
▪ Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras de la junta	1
NOTA: Si el espaciado de la familia de juntas es mayor de 3 m hay que aumentar el J_r en una unidad.	
Para juntas planas con espejo de falla provisto de lineaciones, si éstas están orientadas en la dirección de mínima resistencia, se puede usar $J_r=0,5$	

Tabla 4. Meteorización de las juntas. J_a

Descripción	J_a	$\phi^{\circ} r$
* Contacto entre las dos caras de la junta.		
▪ Junta sellada dura, sin reblandecimiento, impermeable, p.ej. cuarzo, paredes sanas.	0.75	
▪ Caras de la junta únicamente manchadas.	1	25-30
▪ Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no reblan decibles, partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla, etc.	2	25-30
▪ Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fracción arcillosa no reblandecible	3	20-25
▪ Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción, p.ej. caolinita, mica, clorita, talco, yeso, grafito etc. y pequeñas cantidades de arcillas expansivas, los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos		

de 1 ó 2 mm	4	8-16
*Contacto entre las dos caras de la junta con menos de 10 cm de desplazamiento.	J_a	$\phi^{\circ}r$
▪ Partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	4	25-30
▪ Rellenos de minerales arcillosos no reblandecidos, fuertemente sobre consolidados. Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm de espesor.	6	16-24
▪ Sobre consolidación media o baja, reblandecimiento; rellenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm de espesor	8	12-16
▪ Rellenos de arcillas expansivas, p.ej. montmorillonita, de espesor continuo de 5 mm. El valor J_a depende del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva	8-12	6-12
* No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando ésta ha sufrido un desplazamiento cortante.	J_a	$\phi^{\circ}r$
▪ Zonas o bandas de roca desintegrada o roca machacada y arcilla.	6-8 u 8-12	6-24 6-24
▪ Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fracción de arcilla, sin reblandecimiento Milonitos arcillosos gruesos	5 10-13 o 13-20	6-24 6-24 6-24

Tabla 5. Tensiones en la excavación. S.R.F.

Descripción	SRF
1. Zonas débiles que intersectan la excavación y pueden causar caídas de bloques, según avanza la misma.	SRF
A Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor (cualquier profundidad).	10
B Sólo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menor de 50 m).	5
C Sólo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación mayor de 50 m).	2,5
D Varias zonas de fractura en roca competente (libre de arcilla), roca	

	suelta alrededor (cualquier profundidad).			7,5
E	Sólo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación menor de 50 m).			5
F	Sólo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad mayor de 50 m).			2,5
G	Juntas abiertas sueltas, muy fracturadas, etc. (cualquier profundidad).			5
2.	Rocas competentes, problemas de tensiones en las rocas.	σ_c/σ_1	σ_t/σ_1	SRF
H	Tensiones pequeñas cerca de la superficie.			
		>200	>13	2,5
J	Tensiones medias.	200-10	13-0,66	1,0
K	Tensiones altas, estructura muy compacta (normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales).			
		10-5	0,66-0,33	0,5-2,0
L	Explosión de roca suave (roca masiva).	5-2,5	0,33-0,16	5-10
M	Explosión de roca fuerte (roca masiva).	<2,5	<0,16	10-20
<p>σ_c y σ_t son las resistencias a compresión y tracción, respectivamente, de la roca; σ_1 es la tensión principal máxima que actúa sobre la roca.</p>				
3.	Roca fluyente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.			SRF
N	Presión de flujo suave.			5-10
O	Presión de flujo intensa.			10-20
4.	Rocas expansivas, actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua.			SRF
P	Presión de expansión suave.			5-10
R	Presión de expansión intensa.			10-20

Observaciones al SRF:

Reducir los valores del SRF en un 25-50% si las zonas de rotura sólo influyen, pero no intersectan a la excavación.

En los casos en que la profundidad de la clave del túnel sea inferior a la anchura del mismo, se sugiere aumentar el SRF de 2,5 a 5 (ver H).

Para campos de tensiones muy anisótropos (si se miden) cuando $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, reducir σ_c y σ_t a $0,8 \sigma_c$ y $0,8 \sigma_t$; cuando $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, reducir σ_c y σ_t a $0,2 \sigma_c$ y $0,6 \sigma_t$, donde σ_3 es la tensión principal mínima que actúa sobre la roca.

Tabla 6. Agua en las juntas. J_w

Descripción	J_w	Presión agua kg/cm^2
Excavaciones secas o de fluencia poco importante, p.ej. menos de 5 l/min localmente	1	<1
Fluencia o presión medias, ocasional lavado de los rellenos de las juntas	0,66	1-2,5
Fluencia grande o presión alta; considerable lavado de los rellenos de las juntas	0,33	2,5-10
Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas al dar las pegas, decayendo con el tiempo.	0,1-0,2	>10
Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas y continuas, sin disminución	0,05-0,1	>10

Los valores presentados con el signo * son sólo valores estimativos.

Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar J_w .

Los problemas causados por la formación de hielo no se consideran.

- Cuando no se dispone de sondeos, el RQD se estima a partir de afloramientos, mediante el índice volumétrico de juntas J_v , tal como se indicó en la clasificación de Deere.
- El parámetro J_n puede estar afectado por foliación, esquistosidad, laminaciones, etc. Sólo si estas juntas paralelas están suficientemente desarrolladas se contabilizan como una familia; si no, se contabilizan como juntas ocasionales.
- Se tomarán los valores de los parámetros J_r y J_a de la familia de juntas o discontinuidades rellenas de arcilla más débiles de la zona, pero hay que elegir en primer lugar las juntas de orientación desfavorable, aunque no den el valor mínimo del cociente J_r/J_a .
- En rocas muy anisótropas, la resistencia a compresión simple de la roca, σ_c , y a tracción, σ_t , se evalúan en la dirección más desfavorable para la estabilidad de la estructura subterránea. (5 pág. 160)

Los rangos de variación de los parámetros son los siguientes:

Tabla 7. Rangos de variación de parámetros del Q de Barton

RQD	0 - 100
Jn	0.5 – 20
Jr	0.5 – 4
Ja	0.75 - 20
Jw	0.05 - 1
SRF	0.5 - 20

En la siguiente tabla se recogen los valores de $\text{arc tg} (J_r/J_a)$ que da una idea de la resistencia media al corte de las discontinuidades. Se puede observar en esta tabla que los ángulos de fricción aumentan con la rugosidad en las juntas inalteradas con contacto directo entre sus labios. Estas superficies tienen una fuerte dilatación cuando sufren esfuerzos cortantes, lo cual es muy favorable para la estabilidad de la excavación. Las juntas más desfavorables son las que no presentan contacto entre sus labios, por la presencia de rellenos.

Considerando los intervalos de variación de los valores que definen los seis parámetros del índice de calidad Q del macizo rocoso, se deduce que éste oscila entre 10⁻³ y 10³. Según los valores de Q, se clasifican los macizos rocosos en nueve categorías (Tabla 5.11).

Tabla 8. Resistencia aproximada al corte a partir de los parámetros J_r y J_a

Contacto entre las dos caras de la Junta	J_r	arc tg (J_r/J_a)				
		$J_a=0,75$	1	2	3	4
A. Juntas discontinuas	4	79°	76°	63°	53°	45°
E. Rugosa, ondulada	3	76°	72°	56°	45°	37°
C. Suave, ondulada	2	69°	63°	45°	34°	27°
D. Espejo de falla ondulada	1,5	63°	56°	37°	27°	21°
E. Rugosa o irregular, plana	1,5	63°	56°	37°	27°	21°
F. Suave, plana	1	53°	45°	27°	18°	14°
G. Espejo de falla, plana	0,5	34°	27°	14°	9.5°	7.1°
(b) Contacto entre las dos caras de la junta con menos de 10 cm de esplazamiento lateral	J_r	arc tg (J_r/J_a)				
		$J_a=4$	6	8	12	
A. Juntas discontinuas	4	45°	34°	27°	18°	
B. Rugosa, ondulada	3	37°	27°	21°	14°	
C. Suave, ondulada	2	27°	18°	14°	9.5°	
D. Espejo de falla, ondulada	1,5	21°	14°	11°	7.1°	
E. Rugosa o irregular, plana	1,5	21°	14°	11°	7.1°	
F. Suave, plana	1	14°	9.5°	7.1°	4.7°	
G. Espejo de falla, plana	0,5	7°	4.7°	3,6	2.4°	
(c) No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando ésta es cizallada	J_r	arc tg (J_r/J_a)				
. Zonas de roca machacada o desintegrada y arcilla	1	$J_a=6$		8	12	
	1	9.5°		7.1°	4.7°	
. Bandas de arcilla limosa o arenosa	1	$J_a=5$				
	1	11°				
. Bandas continuas y espesas de arcilla		$J_a=10$		13	20	
		5,7°		4,4°	2,9°	

Tabla 9. Clasificación de Barton et al. (1974) de los macizos rocosos

Tipo de macizo	Valor de Q
Excepcionalmente malo	10^{-3} - 10^{-2}
Extremadamente malo	10^{-2} - 10^{-1}
Muy malo	10^{-1} - 1
Malo	1 - 4
Medio	4 - 10
Bueno	10 - 40
Muy bueno	40 - 100
Extremadamente bueno	100 - 400
Excepcionalmente bueno	400 - 1000

- **ESR (Excavation support ratio); factor que depende del tipo de excavación**

Valores del índice ESR de la Clasificación Q

	Tipo de excavación	ESR
A	Labores mineras de carácter temporal, etc.	2-5
B	Galerías mineras permanentes, túneles de centrales hidroeléctricas (excluyendo las galerías de alta presión), túneles piloto, galerías de avance en grandes excavaciones, cámaras de compensación hidroeléctrica.	1,6-2,0
C	Cavernas de almacenamiento, plantas de tratamiento de aguas, túneles de carreteras secundarias y de ferrocarril, túneles de acceso.	1,2-1,3
D	Centrales eléctricas subterráneas, túneles de carreteras primarias y de ferrocarril, refugios subterráneos para defensa civil, emboquilles e intersecciones de túneles.	0,9-1,1
E	Centrales nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones públicas y deportivas, fábricas, túneles para tuberías principales de gas.	0,5-0,8

(Barton, 2000).

**Figura 7. Valores del índice ESR de la clasificación Q
Tomado de Ingeniería geológica (6 pág. 518)**

➤ **Sostenimiento a partir del índice Q**

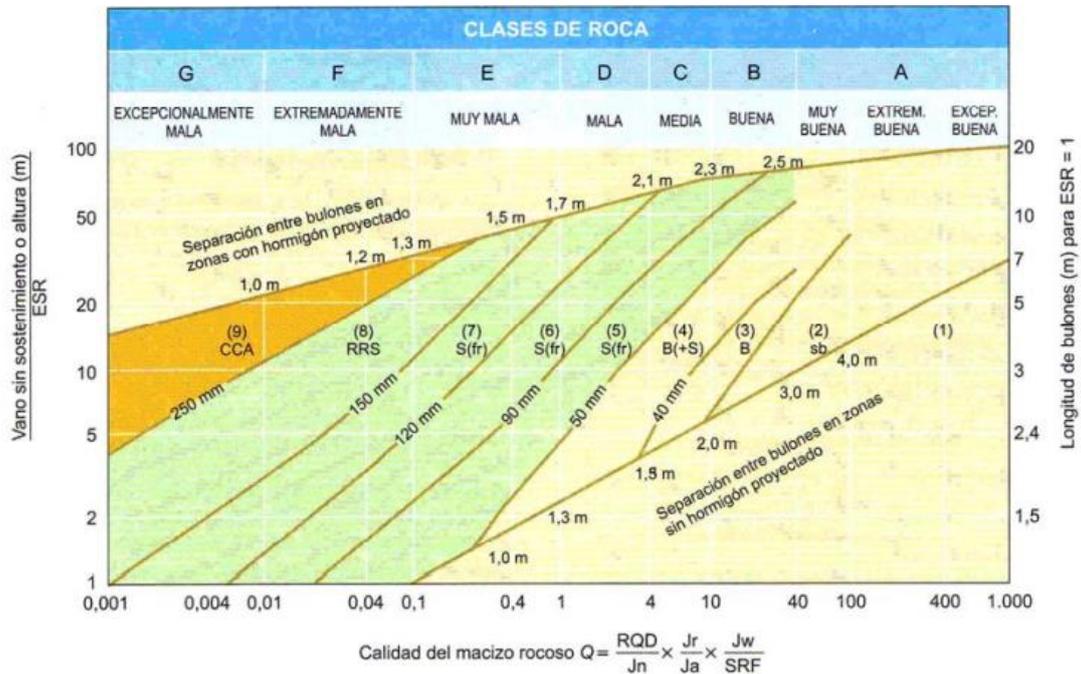


Figura 8. Categoría de sostenimiento Q de Barton

1. Sin sostenimiento.
2. Bulonado puntual, sb.
3. Bulonado sistemático, B.
4. Bulonado sistemático con hormigón proyectado, 40-100 mm, B+S.
5. Hormigón proyectado con fibras, 50-90 mm y bulonado S(fr)+B.
6. Hormigón proyectado con fibras, 90-120 mm y bulonado S(fr)+B.
7. Hormigón proyectado con fibras, 120-150 mm y bulonado S(fr)+B.
8. Hormigón proyectado con fibras, >150 mm con bulonado y arcos armados reforzados con hormigón proyectado, S(fr)+RRS+B.
9. Revestimiento de hormigón, CCA

Fuente: (6 pág. 519)

➤ **Diámetro equivalente del túnel**

$$\text{Diámetro equivalente del túnel} = \frac{\text{anchura, diámetro o altura (m)}}{ESR}$$

ESR (Excavation support ratio); factor que depende del tipo de excavación.

➤ **Máximo vano sin sostenimiento**

Máximo vano sin sostenimiento (longitud de pase) = $2ESRQ^{0.4}$

➤ **Carga de roca sobre clave (P_r) (kp/cm^2)**

Para macizos con menos de tres familias de discontinuidades

$$Pr = \frac{2 * \sqrt{Jn}}{3 * Jr * Q^{1/3}}$$

Para macizos con tres o más familias de discontinuidades

$$Pr = \frac{2}{Jr * Q^{1/3}}$$

➤ **Carga de roca sobre en hastiales (P_h) (kp/cm^2)**

Para $Q > 10$

$$Ph = 5 * Q$$

Para $0.1 < Q < 10$

$$Ph = 2.5 * Q$$

Para $Q < 0.1$

$$Ph = Q$$

(6 pág. 517)

➤ **Longitud de perno (L)**

$$L = \frac{2 + 0.15 * B}{ESR}$$

➤ **Utilidad y limitaciones de la clasificación de Barton et al. (1974)**

El índice Q tiene un alto grado de fiabilidad, ya que está basado en un elevado número de casos que comprenden muy diversos tamaños de túneles, tipos de excavación, profundidades y calidades de macizos rocosos. Por la propia definición del índice Q, no se presenta el problema de falta de sensibilidad a los parámetros considerados individualmente, ya que éstos aparecen como multiplicadores o divisores. Por ello, y debido también al amplio rango de los parámetros en esta clasificación, los casos extremos quedan bien reflejados.

Todos los tipos de macizos rocosos están bien representados en esta clasificación, a excepción de aquellos que están sometidos a elevadas tensiones y presentan fenómenos de fluencia de roca. Esta limitación es común a todas las clasificaciones geomecánicas.

Los casos analizados para el desarrollo de esta clasificación comprenden hasta 50 tipos de roca diferentes. La clasificación de Barton tiene en cuenta el estado tensional del macizo mediante el SRF, sin embargo, la evaluación de este parámetro es relativamente subjetiva y no tiene en cuenta la historia tectónica ni otros factores de tipo geomorfológico.

El RQD se incluyó tanto en esta clasificación como en la de Bieniawski con objeto de incorporar la experiencia obtenida en el gran número de casos (obras y minas) en los que este parámetro ha sido registrado, aunque el parámetro geotécnicamente más apropiado es el espaciado de las discontinuidades, al cual el RQD está ligado conforme se muestra en la Figura 5.14 (Bieniawski, 2003).

Esta figura proporciona el índice de ponderación del conjunto RQD + espaciado en la clasificación de Bieniawski y permite estimar uno de estos parámetros cuando se conoce el otro. Por consiguiente, se ha producido de hecho en ambas clasificaciones una duplicación del índice de fracturación, que estaba justificada en la época en que se crearon las clasificaciones del RMR y Q porque entonces apenas se disponía de datos, pero hoy en día esta deficiencia ha sido superada, por lo que dichas clasificaciones deberían haber sido modificadas.

La orientación de las juntas no está contemplada en la definición del índice Q, lo cual limita su eficacia, ya que este factor es de especial relevancia en muchos casos.

A pesar de la fiabilidad del índice Q, avalada por el elevado número de casos y litologías tomadas como base para su definición, hay que ser muy precisos a la hora de su cuantificación. En concreto, el hecho de desestimar parámetros

desfavorables, por ejemplo: expansividad de ciertas rocas, tensiones elevadas en el macizo rocoso, fluencia de la roca o grandes irrupciones de agua, puede originar errores en la calidad de 1,5 a 2 e incluso hasta 20 veces.

En situaciones especiales se puede producir un error en el valor de Q por el hecho de pasar por alto alguna singularidad como, por ejemplo, una zona de debilidad rellena de arcilla fuera de la sección del túnel, pero próxima al hastial. En este caso podría haber una relación de 100 entre la Q estimada y la que realmente tiene el macizo, ya que los 6 parámetros que definen el índice Q se verían afectados desfavorablemente.

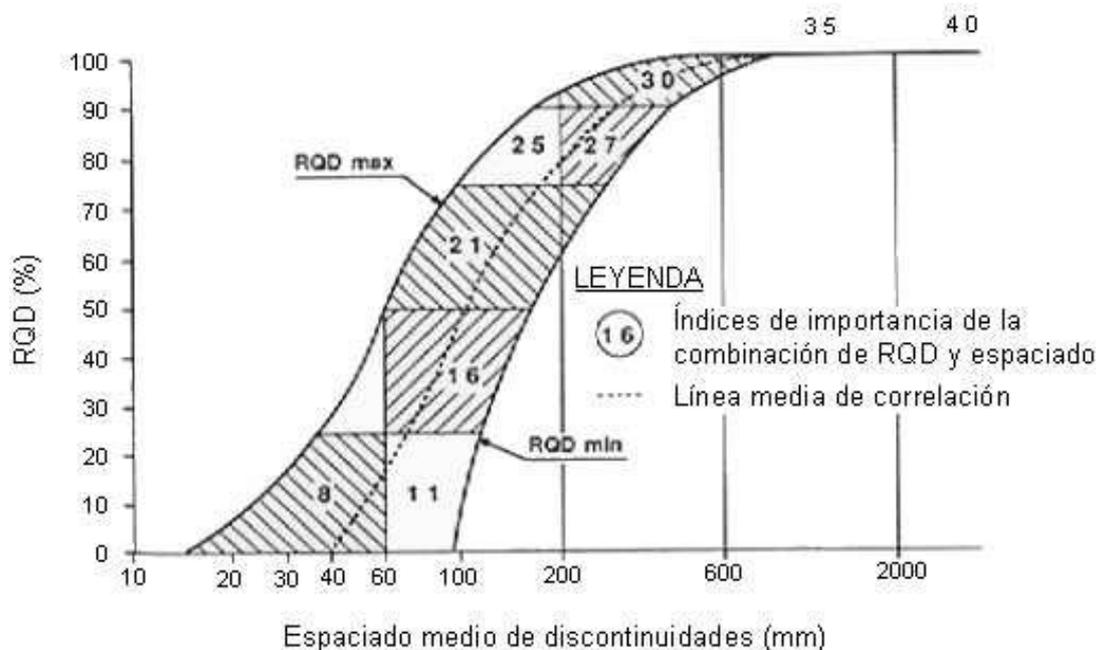


Figura 9. Correlación entre el RQD y el espaciado
Tomado de Bieniawski, 1973

En cualquier caso, en todas las clasificaciones geomecánicas se introduce un importante grado de subjetividad, por lo cual sus resultados deben tomarse siempre a título orientativo, debiendo contrastarse con procedimientos observacionales y analíticos.

➤ **Correlaciones entre RMR y Q**

La relación entre los índices de calidad RMR y Q puede expresarse en forma general mediante la siguiente ecuación:

$$\text{RMR} = a \ln Q + b$$

Donde, a y b son constantes que dependen del tipo de roca y de su fracturación. Kaiser et al. (1986) señalan el siguiente rango de valores para estos parámetros:

$$a = 5 \text{ a } 13,5$$

$$b = 26 \text{ a } 62$$

A continuación, se presentan las correlaciones entre el RMR y Q obtenidas por algunos investigadores.

- ✓ $\text{RMR} = 9 \ln Q + 44$ Bieniawski (1976)
- ✓ $\text{RMR} = 13,5 \ln Q + 43$ Ruteledge (1978)
- ✓ $\text{RMR} = 12,5 \ln Q + 55,2$ Moreno (1980)
- ✓ $\text{RMR} = 10,53 \ln Q + 41,83$ Abad et al. (1983)

El valor dado por Bieniawski corresponde a la media del rango presentado en 2004, este mismo autor ha propuesto una nueva correlación que se puede expresar mediante la fórmula siguiente:

$$\text{RMR} = 15 \log Q + 50$$

En la Tabla 10 se muestran los intervalos de valores del RMR y Q para categorías similares de macizos rocosos.

Tabla 10. Intervalos de valores del RMR y Q para categorías similares de macizos rocosos

Clase	Descripción	RMR	Q
0	Excepcionalmente buena	----	100-1000
1	Muy buena	81-100	40-100
2	Buena	61-80	10-40
3	Media	41-60	4-10
4	Mala	21-40	1-4
5	Muy mala	0-20	0,1-1
6	Excepcionalmente mala	----	0,001-0,1

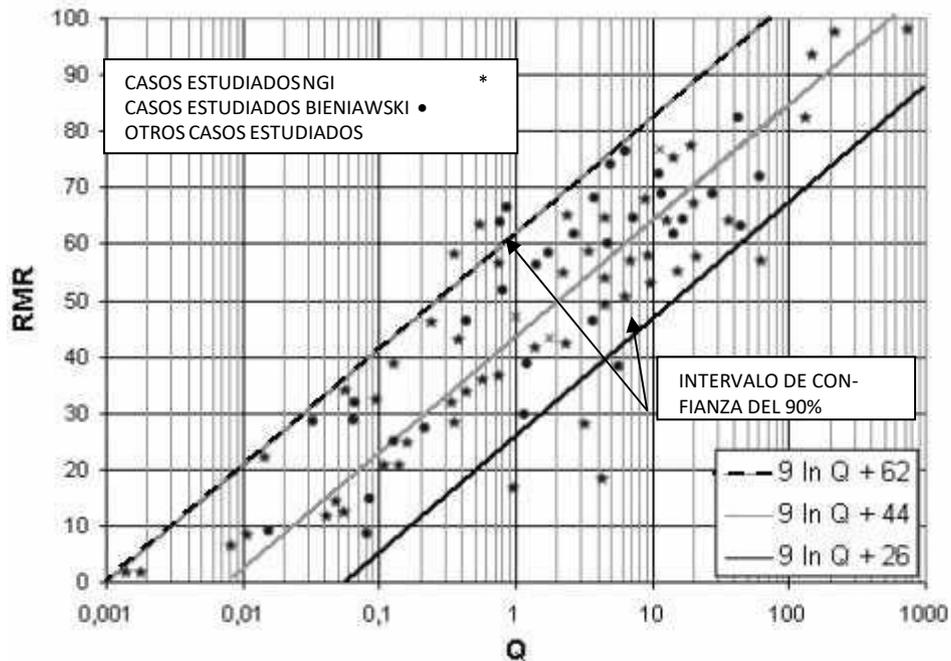


Figura 10. Categoría de sostenimiento Q de Barton

2.3. Definición de términos básicos

- **Apertura**

Tal y como se muestra y define, las discontinuidades pueden ser cerradas, abiertas y rellenas.

- **Dimensiones (persistencia)**

Este concepto hace referencia a la extensión o tamaño de las discontinuidades. Las dimensiones de una discontinuidad se pueden cuantificar observando su longitud en los afloramientos en la dirección del rumbo y en la del buzamiento. Es interesante realizar además un pequeño esquema que refleje gráficamente el tamaño relativo de las familias de discontinuidades. (5 pág. 189)

- **Discontinuidad**

Es una superficie del macizo rocoso que está abierta o puede abrirse fácilmente, sin ofrecer resistencia a tracción, al actuar sobre ella las tensiones inducidas en el macizo por la excavación. Las superficies de discontinuidad pueden aparecer durante la formación del macizo rocoso o posteriormente, por causas tectónicas. (5 pág. 182)

- **Dominio estructural**

Es la parte del macizo rocoso, generalmente delimitada por discontinuidades geológicas, dentro de la cual la estructura es prácticamente homogénea. Por ejemplo, en las discordancias o en zonas de pliegues se separan dominios estructurales diferentes, según convenga.

- **Efecto de las aguas subterráneas**

El agua subterránea influye en el comportamiento de las rocas de dos maneras distintas. La primera y más obvia, que tiene lugar en rocas porosas (areniscas) es la gobernada por el principio de Terzaghi o de la tensión efectiva. La segunda, que se da en macizos rocosos formados por materiales poco porosos (la mayor parte de las rocas), se manifiesta en que el agua sometida a presión en las juntas que separan bloques de roca reduce la presión efectiva entre ambos labios de la junta, y disminuye por tanto la potencial resistencia al corte que origina la fricción.

Un último efecto más sutil de las aguas es su acción degradante en diversas zonas del macizo, lo que hace que para ciertos materiales se produzca un deterioro significativo de sus propiedades mecánicas (menor resistencia y mayor deformabilidad). (5 pág. 8)

- **Espaciado**

Se denomina espaciado de un sistema o familia de discontinuidades, o sea, un conjunto de discontinuidades sub paralelas, a la distancia media entre ellas.

El espaciado de las discontinuidades es el factor que más influye en el tamaño de los bloques que componen el macizo rocoso. Este aspecto cobra la máxima importancia cuando existen otros factores que contribuyen a aumentar la deformabilidad del macizo rocoso, como, por ejemplo, una pequeña resistencia al corte de las discontinuidades; tiene también gran influencia en la permeabilidad del macizo rocoso y, por tanto, en la circulación del agua en el mismo. El espaciado se mide colocando una cinta métrica perpendicular a las discontinuidades en el afloramiento (5 pág. 187)

- **Esquistosidad**

Un macizo rocoso presenta esquistosidad cuando tiene una estructura, de origen tectónico o metamórfico, en láminas u hojas paralelas.

- **Estrato**

Nivel simple de litología homogénea o gradacional, depositado de forma paralela a la inclinación de la formación. Suele estar separado de los estratos adyacentes por superficies de erosión. Cuando el macizo rocoso está constituido por un solo tipo litológico, los estratos pueden ser difíciles de reconocer. (5 pág. 183)

- **Estructura del macizo rocoso**

Se denomina estructura del macizo rocoso al conjunto de fallas, diaclasas, pliegues y demás características geológicas propias de una determinada región del mismo (Figura 6.6.). En ingeniería de rocas, se considera que la estructura del macizo rocoso comprende también los tipos de roca existentes en él. La asociación de varios tipos de rocas puede dar lugar a consecuencias difíciles de evaluar desde el punto de vista geotécnico; así, por ejemplo, en una secuencia sedimentaria, una litología puede ser más susceptible de meteorización que otra y su presencia puede provocar que los demás tipos de roca existentes en el macizo aumenten su susceptibilidad a la meteorización. (5 pág. 181)

- **Fallas y juntas**

Son planos de discontinuidad que se producen cuando el macizo rocoso ha estado sometido a un esfuerzo tectónico que ha sobrepasado su límite de rotura. Cuando las dos secciones separadas por la fractura han sufrido desplazamientos relativos por efecto de tensiones cortantes, ésta se denomina falla. En caso contrario se denomina junta. Éstas se pueden formar también a consecuencia de la disminución de compresión vertical que se produce debido a la erosión o por los cambios de volumen diferenciales que tienen lugar en ciertos macizos rocosos. (5 pág. 184)

- **Foliación**

Es una etapa avanzada de la esquistosidad de flujo, que se produce cuando aumentan las condiciones de presión y temperatura y aparecen minerales metamórficos orientados cada vez de mayor talla. La roca se convierte en una serie de hojas con diferentes minerales entre cada dos planos de anisotropía. (5 pág. 184)

- **Laminación**

Superficie de discontinuidad que da a la roca un aspecto laminar de lechos muy delgados. Puede ser debida a presiones orogénicas o de origen sedimentario. (5 pág. 183)

- **Macizo rocoso**

Estará definido por la roca y la estructura, que a su vez contendrá planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros caracteres estructurales. Los macizos rocosos son por tanto discontinuos y pueden presentar propiedades heterogéneas y/o anisótropas. (5 pág. 1)

- **Meteorización**

La meteorización puede ser definida como la alteración físico-química de las rocas en superficie, debido a las reacciones con soluciones atmosféricas líquidas o gaseosas. La importancia de la meteorización radica en su efecto sobre las propiedades mecánicas de los materiales a los que afecta, así como en la influencia sobre las características friccionales de las superficies sobre las que actúa. Además, una roca sometida a un elevado grado de meteorización se convertirá finalmente en un material desagregado o poco cementado que se conoce por suelo, de forma que a medida que un macizo rocoso se va meteorizando tenderá a parecerse a este tipo de materiales. En la transición se suele hablar de “roquisuelos” o rocas blandas-suelos duros. (5 pág. 9)

- **Meteorización de las rocas**

Se denomina meteorización de las rocas a las modificaciones experimentadas en su composición o estructura por la acción de los agentes atmosféricos. La

importancia que tiene la meteorización desde el punto de vista de la mecánica de rocas se debe a que produce profundos cambios en las propiedades físicas y mecánicas de los materiales rocosos. Existen dos clases de meteorización: física y química. El hecho de que una u otra predomine depende del clima, ya que ambas se producen simultáneamente. (5 pág. 175)

- **Orientación**

En geotecnia lo más habitual es definir las discontinuidades mediante la dirección del buzamiento y la pendiente del plano con la horizontal. Así, por ejemplo, 210/32 indica que la dirección de buzamiento se encuentra a 210° del norte verdadero en el sentido de las agujas del reloj y que el plano tiene una pendiente de 32° . Para realizar la medida de la dirección de buzamiento se coloca en primer lugar la tapa de la brújula geotécnica apoyada sobre la discontinuidad y se cala la burbuja. En el caso de que la discontinuidad buce hacia fuera (hacia fuera del talud), la medida de la aguja que marca al norte será la dirección de buzamiento de la discontinuidad (por estar las brújulas geotécnicas numeradas en sentido antihorario). En el caso de que la discontinuidad buce hacia el macizo, la dirección de buzamiento vendrá marcada por la aguja que buza al sur (suelen tener distintos colores en la brújula geotécnica). Para medir el buzamiento, se coloca la brújula geotécnica en vertical apoyada sobre la discontinuidad y se mide el buzamiento mediante el clinómetro que lleva la brújula (5 pág. 185)

- **Pizarrosidad**

Es la propiedad de las rocas de aspecto laminar de poder dividirse en hojas delgadas. Implica un cierto metamorfismo.

- **Roca**

Es un agregado sólido, formado por uno o varios minerales, que se encuentra ocupando grandes extensiones de la corteza terrestre. En mecánica de rocas se habla en muchas ocasiones de roca o roca intacta para referirse a un elemento (trozo, bloque, probeta) de roca que no presenta discontinuidades observables. (5 pág. 1)

- **Relleno**

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 (Véase Figura 6.23). Si la diferencia entre los espesores máximo y mínimo es grande, puede ser debido a que la discontinuidad ha experimentado desplazamientos cortantes (5 pág. 195)

- **Resistencia a tracción**

Las rocas se diferencian del resto de materiales utilizados comúnmente en ingeniería (acero, etc..) por su baja resistencia a la tracción. Las muestras de roca ensayadas a tracción suelen romperse a niveles tensionales del orden de diez veces menores que cuando se ensayan a compresión simple. Además, la presencia de discontinuidades en los macizos rocosos hace que en la mayor parte de los casos no exista prácticamente resistencia alguna a la tracción. Por tanto, los macizos rocosos no son capaces, en general, de generar y resistir tracción.

Todo ello implica que, en el diseño de excavaciones, cuando se identifique mediante análisis una zona del macizo sometida a tracción, esta zona se distenderá y las tensiones se redistribuirán en el entorno de la misma. Esta distensión podrá originar la inestabilidad puntual de la roca, que tendrá lugar como separación episódica o progresiva de unidades de roca del macizo. (5 pág. 8)

- **Rugosidad**

La rugosidad de los labios de una discontinuidad tiene una gran influencia sobre su resistencia al corte. Esta influencia es tanto menor cuanto mayor sea su apertura y el espesor de relleno. La rugosidad de una discontinuidad se puede caracterizar mediante dos factores: ondulación y aspereza. Las ondulaciones son rugosidades a gran escala que provocan una fuerte expansión o dilatación de la discontinuidad al experimentar ésta un desplazamiento cortante, si ambos lados están en contacto. Las asperezas son rugosidades a pequeña escala que

pueden desaparecer en parte durante el desplazamiento cortante de la discontinuidad, si éste produce la rotura de los pequeños picos de roca que constituyen la rugosidad. Si la resistencia de la roca de los labios de la discontinuidad es elevada o la tensión normal aplicada es pequeña, esta rotura no tiene lugar. El valor de la resistencia al corte debido a las asperezas se puede obtener en el laboratorio ensayando una muestra de la discontinuidad o, a mayor escala, mediante un ensayo de corte directo "in situ". La ondulación se puede definir mediante el ángulo α . (5 pág. 190)

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Métodos y alcances de la investigación

3.1.1 Método general

El método general de la investigación es el científico, debido que se seguirán pasos ordenados con la finalidad de demostrar las hipótesis planteadas mediante la observación experimental, para buscar la solución al problema planteado.

3.1.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada, debido a que en una primera instancia se aplicara los conocimientos de la investigación básica para solucionar el problema de la sobre excavación en las labores mineras.

3.1.3 Nivel de investigación

El nivel de investigación correlacional, el propósito consiste en buscar la causa efecto que se generan en el problema en la sobre excavación en las labores mineras.

3.2. Diseño de investigación

La investigación es no experimental, debido que para la obtención del tipo de sostenimiento a instalar en la labor de avance no se manipulara la variable independiente.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población está conformada por el nivel 2995 RA LIZA compañía minera Poderosa S.A.

3.3.2 Muestra

La muestra censal está conformada por el nivel 2995 RA LIZA compañía minera Poderosa S.A.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas de recolección de datos

- Observación directa
- Encuesta personalizada
- Entrevista
- Cuestionario
- Fotografías

3.4.2 Instrumentos de recolección de datos

- Ficha de observación de campo
- Ficha de encuesta
- Entrevista personalizada
- Cuestionario
- Panel fotográfico

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1 Datos de la unidad minera

a) Ubicación y accesibilidad

Compañía minera Poderosa S.A. se divide en dos unidades económicamente activas: UEA La Libertad y la UEA Poderosa de Trujillo.

b) Fisiografía, geomorfología, drenaje y clima

Fisiográficamente el yacimiento se encuentra en el flanco occidental de la cordillera central, entre valles interandinos, (según Wilson, 1964), donde se observan valles agudos y quebradas profundas que se han formado por la erosión glacial fluvial, las que están en proceso de estabilización.

Geomorfológicamente, la zona está afectada profundamente por la acción erosiva de las aguas de escorrentía, por lo que se encuentran relieves empinados, principalmente en épocas lluviosas, lo que limita el desarrollo de la agricultura en la zona. Se pueden observar tres unidades geomorfológicas:

- **Cordillera oriental**

Caracterizados por geofomas positivas que llegan a tener altitudes de 4 000 m s. n. m., las cuales se alinean con el flanco oriental de la cordillera de los Andes.

- **Valles**

Son geoformas negativas y angostas, por las que discurre el río Parcoy, el cual desemboca en la laguna de Pías.

- **Terrazas**

Formados por materiales acarreados de las cabeceras de las quebradas formando las terrazas, las que se forman muestran un relieve suave y abundante vegetación.

Respecto al drenaje se puede indicar que es enrejado, donde el río Parcoy es uno de los principales colectores de pequeños afluentes. Este río discurre de sur a norte, con rumbo N60°E, con un caudal promedio de 643 l/s, drena por la laguna de Pías, luego desemboca al río Marañón y finalmente llega al río Amazonas.

- **El clima**

Es en general templado durante el año con lluvias entre los meses de noviembre y marzo. Se presentan ventarrones durante los meses de julio y agosto. Los cambios de temperatura están controlados básicamente por la geografía, con promedios de 20° en la zona. La vegetación silvestre es abundante cubriendo la superficie de los cerros principalmente en épocas de lluvias.

c) Geología regional

Los distritos de Pataz y Parcoy se encuentran en el valle del río Marañón, este constituye un importante lineamiento morfológico y tectónico (al Norte del Perú) con dirección nornoroeste que separa a las cordilleras oriental y occidental. Los mapas topográficos regionales muestran que el río Marañón sigue una dirección noroeste por un tramo de casi 400 kilómetros (aproximadamente paralelo al antiguo margen continental). Sin embargo, en los distritos de Pataz y Parcoy se tiene que el río Marañón sigue un rumbo norte-sur, lo que implica que existe una importante anomalía estructural en el área.

El basamento de los distritos de Pataz y Parcoy es el complejo Marañón (conformado por esquistos y filitas deformadas). La cordillera oriental se encuentra conformada por la formación Vijus (Arenisca volcanoclástica metamorfizada), la formación Contaya (Arenisca, Limolita y Lodolita silicoclástica metamorfizada o simplemente pizarra) y la formación Atahualpa (Volcanoclásticos de composición félsica). Luego se tiene afloramientos del batolito de Pataz (compuesto esencialmente por granodioritas), teniendo luego a la formación Lavasen (rocas piroclásticas).

d) Estratigrafía

La historia geológica de la región consta de eventos sedimentarios que van del Precámbrico hasta el reciente, afectados por intrusiones de diversos tipos, composiciones, así como edades.

Regionalmente la geología del distrito está dominada por tres franjas:

- El basamento Precambriano del Complejo Marañón (Este).
- El Batolito de Pataz del Carbonífero.
- Los estratos deformados del Pérmico – Cenozoico (Oeste).

La geología de la zona está vinculada a la evolución estratigráfica y estructural de la cordillera andina del norte del Perú la cual está formada por la superposición de tres ciclos orogénicos: el Precámbrico, el Hercínico y el Andino.

• Rocas sedimentarias

La sedimentación del ciclo andino que es más notoria en la cordillera Occidental, comienza con las calizas del grupo Pucará, cubiertas posteriormente por areniscas del grupo Goyllarisquizga, calizas de la formación Crisnejas y por las capas rojas de la formación Chota.

• Grupo Ambo (CIA)

Constituido por areniscas, lutitas de color gris marrón a verdoso, en capas delgadas, con intercalaciones de conglomerados gris verdoso, duros y compactos en matriz areno arcillosa, se observan algunos afloramientos

remanentes en la quebrada del Chorro y Cabana, sobre el Batolito de Pataz. La edad asignada es de 345 MA, perteneciente al Carbonífero – Missisipiano Medio

4.2. Clasificación de Barton et al. (1974)

4.2.1 Evaluación de los índices de calidad Q

a) Número de familias de Juntas. J_n

Las familias evaluadas en campo están determinadas por tres familias cuyos rumbos y buzamientos son los siguientes:

- Rb (F1) = N 42° E; Bz (F1) = 37° E
- Rb (F2) = S 42° E; Bz (F2) = 53° W
- Rb (F3) = S 17° W; Bz(F3) = 17° W

Tabla 11. Número de familias de Juntas. J_n

Descripción	J_n
Roca masiva	0,5-1
Una familia de diaclasas	2
Una familia y algunas juntas ocasionales	3
Dos familias	4
Dos familias y algunas juntas	6
Tres familias	9
Tres familias y algunas juntas	12
Cuatro o más familias, roca muy fracturada, "terrones de azúcar", etc.	15
Roca triturada terrosa	20
En boquillas, se utiliza 2 J_n y en intersecciones de túneles 3 J_n	

b) Meteorización de las juntas. J_a

Resultado de la evaluación de la meteorización en las tres familias de discontinuidades diferenciadas en el macizo rocoso se pudo establecer lo siguiente:

- F1 = Son juntas selladas
- F2 = Las discontinuidades presentan material que corresponde a la categoría de limo o arena arcillosa

- F3 = En estas discontinuidades se puede apreciar partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.

En tal sentido aplicando el reglamento de seguridad D.S. 023 en el que se establece que los parámetros a considerar para realizar la evaluación geomecánica serán bajo las condiciones más desfavorables, se considera la alteración encontrada en la familia N°3

Tabla 12. Resultado considerado para la meteorización de las juntas. J_a

Descripción	J_a	$\phi^{\circ} r$
* Contacto entre las dos caras de la junta.		
▪ Junta sellada dura, sin reblandecimiento, impermeable, p.ej. cuarzo, paredes sanas.	0.75	
▪ Caras de la junta únicamente manchadas.	1	25-30
▪ Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no reblan decibles, partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla, etc.	2	25-30
▪ Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fracción arcillosa no reblandecible	3	20-25
▪ Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción, p.ej. caolinita, mica, clorita, talco, yeso, grafito etc. y pequeñas cantidades de arcillas expansivas, los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 ó 2 mm	4	8-16
*Contacto entre las dos caras de la junta con menos de 10 cm de desplazamiento.	J_a	$\phi^{\circ} r$
▪ Partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	4	25-30
▪ Rellenos de minerales arcillosos no reblandecidos, fuertemente sobre consolidados. Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm de espesor.	6	16-24
▪ Sobre consolidación media o baja, reblandecimiento; rellenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm de espesor	8	12-16

- Rellenos de arcillas expansivas, p.ej. montmorillonita, de espesor continuo de 5 mm. El valor J_a depende del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva 8-12 6-12

	J_a	ϕ_r
* No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando ésta ha sufrido un desplazamiento cortante.		
▪ Zonas o bandas de roca desintegrada o roca machacada y arcilla.	6-8 u 8-12	6-24 6-24
▪ Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fracción de arcilla, sin reblandecimiento Milonitos arcillosos gruesos	5 10-13 ó 13-20	6-24 6-24 6-24

c) Rugosidad de las juntas. J_r

El resultado de la evaluación de la rugosidad empleando el peine de Barton en campo fueron los siguientes:

- F1 = Suave ondulada
- F2 = Junta rugosa o irregular ondulada
- F3 = Suave ondulada.

El valor respecto a la rugosidad más representativa está considerado por la familia N°3, debido al menor valor respecto a las otras familias muestreadas en campo.

Tabla 13. Resultado de la evaluación de la rugosidad de las juntas. J_r

Descripción	J_r
* Contacto entre las dos caras de la junta mediante un desplazamiento cortante de menos de 10 cm	
▪ Juntas discontinuas	4
▪ Junta rugosa o irregular ondulada	3
▪ Suave ondulada	2
▪ Espejo de falla, ondulada	1,5
▪ Rugosa o irregular, plana	1,5
▪ Suave plana	1
▪ Espejo de falla, plana	0,5
* No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando ambas se desplazan lateralmente	J_r
▪ Zona conteniendo minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de la junta	1
▪ Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras de la junta	1
NOTA: Si el espaciado de la familia de juntas es mayor de 3 m hay que aumentar el J_r en una unidad.	
Para juntas planas con espejo de falla provisto de lineaciones, si éstas están orientadas en la dirección de mínima resistencia, se puede usar $J_r=0,5$	

d) Agua en las juntas. J_w

El resultado de la evaluación del agua que presentan los diferentes sets de familias de discontinuidades se establece lo siguiente:

- F1 = Fluencia grande o presión alta; considerable lavado de los rellenos de las juntas
- F2 = Fluencia grande o presión alta; considerable lavado de los rellenos de las juntas
- F3 = Fluencia grande o presión alta; considerable lavado de los rellenos de las juntas
- Debido a que los tres sets de familias muestran las mismas características es indistinto considerar cualquier set de discontinuidades.

Tabla 14. Resultado de la evaluación de la presencia de agua en las juntas. J_w

Descripción	J_w	Presión agua kg/cm ²
▪ Excavaciones secas o de fluencia poco importante, p.ej. menos de 5 l/min localmente	1	<1
▪ Fluencia o presión medias, ocasional lavado de los rellenos de las juntas	0,66	1-2,5
▪ Fluencia grande o presión alta; considerable lavado de los rellenos de las juntas	0,33	2,5-10
▪ Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas al dar las pegas, decayendo con el tiempo.	0,1-0,2	>10
▪ Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas y continuas, sin disminución	0,05-0,1	>10

Los valores presentados con el signo * son sólo valores estimativos.
Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar J_w .
Los problemas causados por la formación de hielo no se consideran.

e) Tensiones en la excavación. S.R.F.

El resultado de la evaluación del agua que presentan los diferentes sets de familias de discontinuidades se establece lo siguiente:

- F1 = Zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menor de 50 m).
- F2 = Zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menor de 50 m).
- F3 = Zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menor de 50 m).

Debido a que los tres sets de familias muestran las mismas características es indistinto considerar cualquier set de discontinuidades.

Tabla 15. Tensiones en la excavación. S.R.F.

Descripción			
1.	Zonas débiles que intersectan la excavación y pueden causar caídas de bloques, según avanza la misma.		SRF
A	Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor (cualquier profundidad).		10
B	Sólo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menor de 50 m).		5
C	Sólo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación mayor de 50 m).		2,5
D	Varias zonas de fractura en roca competente (libre de arcilla), roca suelta alrededor (cualquier profundidad).		7,5
E	Sólo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación menor de 50 m).		5
F	Sólo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad mayor de 50 m).		2,5
G	Juntas abiertas sueltas, muy fracturadas, etc. (cualquier profundidad).		5
2.	Rocas competentes, problemas de tensiones en las rocas.	σ_c/σ_1	σ_t/σ_1
H	Tensiones pequeñas cerca de la superficie.	>200	>13
J	Tensione medias.	200-10	13-0,66
K	Tensiones altas, estructura muy compacta (normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales).	10-5	0,66-0,33
L	Explosión de roca suave (roca masiva).	5-2,5	0,33-0,16
M	Explosión de roca fuerte (roca masiva).	<2,5	<0,16
σ_c y σ_t son las resistencias a compresión y tracción, respectivamente, de la roca; σ_1 es la tensión principal máxima que actúa sobre la roca.			
3.	Roca fluyente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.		SRF
N	Presión de flujo suave.		5-10
O	Presión de flujo intensa.		10-20
4.	Rocas expansivas, actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua.		SRF

P	Presión de expansión suave.	5-10
R	Presión de expansión intensa.	10-20

Observaciones al SRF:

- iv Reducir los valores del SRF en un 25-50% si las zonas de rotura sólo influyen, pero no intersectan a la excavación.
- v En los casos en que la profundidad de la clave del túnel sea inferior a la anchura del mismo, se sugiere aumentar el SRF de 2,5 a 5 (ver H).
- vi Para campos de tensiones muy anisótropos (si se miden) cuando $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, reducir σ_c y σ_t a $0,8 \sigma_c$ y $0,8 \sigma_t$; cuando $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, reducir σ_c y σ_t a $0,2 \sigma_c$ y $0,6 \sigma_t$, donde σ_3 es la tensión principal mínima que actúa sobre la roca.

f) RQD “Rock Quality Designation

➤ Determinación del RQD (muestreo lineal)

- Datos de campo

Longitud de muestreo = 3.25

Nº de discontinuidades = 17

$e = 2.718281828 = (2.72)$

$\lambda = (17/3.25)$

$\lambda = 5.23$

Formula: $RQD = 100e^{-0.1\lambda} \times (0.1\lambda + 1)$ Priest y Hudson, 1976

$RQD = 100 * 2.72^{-0.1 * 5.23} \times (0.1 * 5.23 + 1) = 90.24\%$

RQD = 90.00%

Tabla 16. RQD “Rock Quality Designation

Descripción	RQD %
Muy pobre	0 - 25
Pobre	25 - 50
Regular	50 - 75
Buena	75 - 90
Excelente	90 - 100
i) Estimar el RQD con 5% de aproximación	
ii) Cuando no se disponga de testigos	
$RQD = 115 - 3.3 J_v$	
Jv: Nº de Diaclasas por m ³	
iii) Si el RQD menor de 10, emplear un valor nominal 10	

➤ **Resumen de los datos muestreados en campo**

- RQD = 90%
- Jn = 12
- Jr = 1.5
- Ja = 4
- Jw = 0.33
- SRF = 5

Reemplazando valores:

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

$$Q = \frac{90}{12} \times \frac{1.5}{4} \times \frac{0.33}{5}$$

Q = 0.185625

Clasificación de Barton et al. (1974) de los macizos rocosos.

Tabla 17 Tipos de macizos

Tipo de macizo	Valor de Q
Excepcionalmente malo	0.001 – 0.01
Extremadamente malo	0.01 – 0.1
Muy malo	0.1 – 1
Malo	1 - 4
Medio	4 - 10
Bueno	10 - 40
Muy bueno	40 - 100
Extremadamente bueno	100 - 400
Excepcionalmente bueno	400 - 1000

De la evaluación se establece que:

Q = 0.185625

Tipo de macizo rocoso = Muy malo

Cálculo

➤ **Determinación del sostenimiento a partir del índice Q**

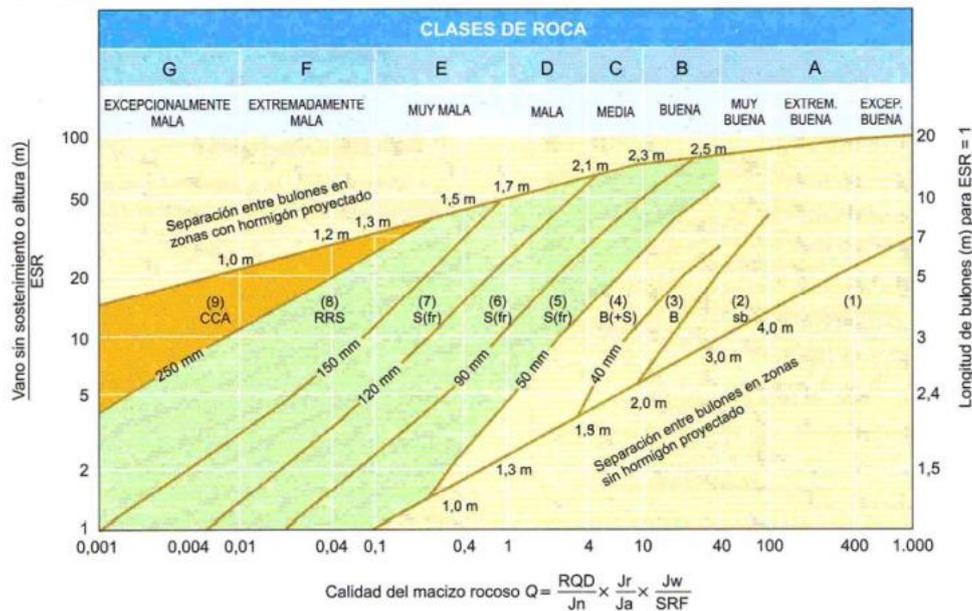


Figura 11. Sostenimiento a partir del índice Q

De acuerdo a la evaluación se establece que el sostenimiento a instalar es del tipo:

(7). Hormigón proyectado con fibras, 120-150 mm y bulonado S(fr)+B.

➤ **Cálculo del diámetro equivalente del túnel**

$$\text{Diámetro equivalente del túnel} = \frac{3.6 (m)}{1.6}$$

Datos:

ESR = 1.6

Ancho de la galería 3.6 m

Diámetro equivalente del túnel = 2.25 m

➤ **Cálculo del máximo vano sin sostenimiento**

Datos:

Q = 0.186

ESR = 1.6

Máximo vano sin sostenimiento (longitud de pase) = $2 * 1.6 * 0.186^{0.4}$

Máximo vano sin sostenimiento (longitud de pase) = 1.63 m

➤ **Cálculo de la carga de roca sobre clave (P_r) (kp/cm^2)**

Para macizos con tres o más familias de discontinuidades

Datos

$$J_r = 1.5$$

$$Q = 0.186$$

$$P_r = \frac{2}{1.5 * 0.186^{1/3}}$$

$$P_r = 2.34 \text{ kp/cm}^2$$

➤ **Cálculo de la carga de roca sobre en hastiales (P_h) (kp/cm^2)**

Datos:

$$Q = 0.186$$

$$\text{Para } 0.1 < Q < 10 \quad P_h = 2.5 * Q$$

$$P_h = 2.5 * 0.186$$

$$P_h = 0.465 \text{ kp/cm}^2$$

g) Cálculo de los parámetros indicados en el Q de Barton

➤ El primer cociente, RQD/J_n , representa el tamaño de los bloques.

$$\text{Tamaño de los bloques} = 90/12$$

$$\text{Tamaño de los bloques} = 7.5$$

➤ J_r/J_a permite estimar la resistencia al corte entre bloques.

$$\text{Resistencia al corte entre bloques} = 1.5/4$$

$$\text{Resistencia al corte entre bloques} = 0.375$$

➤ J_w/SRF indica el estado tensiones en el macizo rocoso.

$$\text{Estado tensiones en el macizo rocoso} = 0.33/5$$

$$\text{Estado tensiones en el macizo rocoso} = 0.066$$

4.3. Discusión de resultados

- Respecto a la hipótesis específica (a) que propone:

La categorización del tamaño de los bloques del macizo rocoso mediante la evaluación de los parámetros del RQD y J_n en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton, influyen para determinar la valoración y el tipo de sostenimiento

Según (2) en su investigación sobre “Evaluación geomecánica y estabilidad de labores en el proyecto SAN Gabriel CIA de minas Buenaventura”. En una de sus conclusiones establece que la evaluación geomecánica y estabilidad de las labores se determinó siguiendo una metodología de campo, laboratorio y gabinete, obteniéndose óptimos resultados que ayudaran en el proceso constructivo de las labores de exploración del proyecto San Gabriel.

Nuestra investigación concluye que el tamaño de los bloques del macizo rocoso se establece en 7.5 lo que indica que los bloques a desprenderse son de medianos a grandes.

De ambas investigaciones podemos establecer coincidencia ya que para poder establecer un sistema de sostenimiento para las labores mineras es necesario realizar las evaluaciones geomecánicas pertinentes.

- Respecto a la hipótesis específica (b) que propone:

La categorización de la resistencia al corte entre los bloques del macizo rocoso mediante la evaluación de los parámetros del J_r y J_a en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el inicio del fallamiento el cual sirve para hallar el tipo de sostenimiento.

Según (3) en su investigación sobre: “Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A.”. El análisis de estabilidad estructuralmente controlado se ha efectuado para aquellos con más de dos sistemas de discontinuidades, en todos los casos analizados se ha determinado presencia de roca fracturada, de cuñas de mediano y pequeño tamaño los cuales

han sido controlados con el sostenimiento con pernos helicoidales y malla electrosoldada, y *shotcrete*.

Nuestra conclusión establece que la categorización de las tensiones activas del macizo rocoso mediante la evaluación de los parámetros del J_w y SRF en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton permiten determinar el esfuerzo activo el cual sirve para hallar el tipo de sostenimiento.

En tal sentido se puede afirmar que se comparte opinión respecto a la caracterización geomecánica para poder establecer el sistema de sostenimiento

➤ Respecto a la hipótesis específica (b) que propone:

El estado tensiones en el macizo rocoso arroja un valor de 0.066, de lo que se establece zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente con la presencia del agua acrecienta el lavado produciendo un intemperismo químico y físico en las juntas.

Según (3) en su investigación sobre: “Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A.” el análisis de estabilidad estructuralmente controlado se ha efectuado para aquellos con más de dos sistemas de discontinuidades, en todos los casos analizados se ha determinado presencia de roca fracturada, de cuñas de mediano y pequeño tamaño los cuales han sido controlados con el sostenimiento con pernos helicoidales y malla electrosoldada, y *shotcrete*.

Nuestra conclusión establece que la categorización de las tensiones activas del macizo rocoso mediante la evaluación de los parámetros del J_w y SRF en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton permiten determinar el esfuerzo activo el cual sirve para hallar el tipo de sostenimiento.

En tal sentido se puede afirmar que se comparte opinión respecto a la caracterización geomecánica para poder establecer el sistema de sostenimiento

CONCLUSIONES

1. Los resultados de la categorización geomecánica del macizo rocoso, respecto a: el índice de calidad de la roca fue del 90% con una categoría de buena, las juntas conformadas por tres familias y algunas juntas ocasionales cuya valoración es de 12; las juntas presentan rugosidad irregular plana cuya puntuación es de 1.5; la alteración con partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla la puntuación es de 4. Por otro lado, la presencia del agua es de fluencia grande o presión alta; considerable lavado de los rellenos de las juntas con una puntuación de 0.33, seguidamente la puntuación del factor reductor de esfuerzos corresponde a una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente; es estos valores se establece que el tipo macizo es muy malo, para lo cual se establece que el sostenimiento está conformado por hormigón proyectado con fibras, 120 - 150 mm y bulonado S(fr)+B.
2. El tamaño de los bloques del macizo rocoso se establece en 7.5 lo que indica que los bloques a desprenderse son de medianos a grandes.
3. La resistencia al corte entre los bloques del macizo rocoso es de 0.375 lo que lo clasifica como de baja resistencia al corte los cuales estarán propensos al desplazamiento.
4. El estado tensiones en el macizo rocoso arrojó un valor de 0.066, de lo que se establece zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente con la presencia del agua acrecienta el lavado produciendo un intemperismo químico y físico en las juntas

RECOMENDACIONES

1. Realizar la categorización geomecánica del macizo rocoso empleando las cartillas geomecánicas con la finalidad de tener labores mineras más estables y seguras tanto para el personal como para los equipos.
2. Evaluar el tamaño de los bloques del macizo rocoso, ya que gracias a este parámetro se podrá establecer el sostenimiento económicamente factible, de igual manera se podrá establecer el factor de seguridad en forma más eficiente.
3. Analizar la resistencia al corte entre los bloques aplicando métodos numéricos, ya que nos permite acercarnos mejor a la realidad.
4. Evaluar el estado tensiones en el macizo rocoso conjugando con un factor muy del agua para poder establecer el grado de meteorización al que están expuestas los sistemas de discontinuidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SALAZAR, Edgar. Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha - Sociedad Minera Corona S. A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo-Perú : Universidad Continental, 2020, 119 pp.
2. NINA, Gilmer. Evaluación geomecánica y estabilidad de labores en el proyecto san gabriel Cía de minas Buenaventura. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Puno, Perú : Universidad Nacional del Altiplano, 2017, 218 pp.
3. LUCAS, Marco. Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas).Cerro de Pasco – Perú : Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2019, 106 pp.
4. LOARTE, Oscar. Geomecanica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la corporación minera Toma la Mano – Cormitoma S.A. – año 2018. Tesis (Título de Ingeniero de Minas).Huaraz – Perú :Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, 2018, 88 pp.
5. RAMÍREZ, Pedro y ALEJANO, Leandro. Mecánica de rocas fundamentos e ingeniería de taludes. [En línea] Madrid - España, 2004. [fecha de consulta: 27 de agosto de 2021]. Disponible en: https://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf
6. GONZÁLES DE VALLEJO, Luis. *Ingeniería geológica*. Madrid - España.Editorial Pearson, 2002. ISBN: 84-205-3104-9
7. CHOQUEHUAYTA, Santiago. Ingeniería básica del proyecto de transporte de personal y materiales mediante el pique Jimena para mejorar la productividad de las operaciones en CÍA. minera Poderosa. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa - Perú : Universidad Nacional de San Agustín, 2014, 158 pp.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

Tabla 18. Matriz de consistencia

	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable
General	¿Cuál es el resultado de la evaluación de la resistencia de relleno cementado para el análisis de la estabilidad de tajeos secundarios, unidad minera Cerro Lindo - 2020?	Determinar el resultado de la evaluación de la resistencia de relleno cementado para el análisis de la estabilidad de tajeos secundarios, unidad minera Cerro Lindo - 2020	El resultado de la evaluación de la resistencia de relleno cementado a través de la resistencia de la cohesión, fricción y factor de seguridad inciden en el análisis de la estabilidad de tajeos secundarios, unidad minera Cerro Lindo - 2020.	INDEPENDIENTE RESISTENCIA DE RELLENO CEMENTADO
				DEPENDIENTE ESTABILIDAD DE TAJEOS SECUNDARIOS
Específicos	a) ¿Cuál es el resultado de la evaluación del periodo de fraguado del relleno para el análisis de la estabilidad de tajeos secundarios?	a) ¿Cuál es el resultado de la evaluación del periodo de fraguado del relleno para el análisis de la estabilidad de tajeos secundarios?	a) La evaluación del periodo de fraguado del relleno mediante ensayos de penetración, densidad insitu, humedad, inciden en el análisis de la estabilidad de tajeos secundarios	
	b) ¿Cuáles son los resultados de la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del relleno para el análisis de la estabilidad de tajeos secundarios?	b) ¿Cuáles son los resultados de la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del relleno para el análisis de la estabilidad de tajeos secundarios?	b) Los resultados de la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del relleno inciden en el análisis de la estabilidad de tajeos secundarios	
	c) ¿Cuáles son los resultados de la evaluación de la resistencia del relleno existente y estabilidad de paredes expuestas al relleno?	c) ¿Cuáles son los resultados de la evaluación de la resistencia del relleno existente y estabilidad de paredes expuestas al relleno?	c) Los resultados de la evaluación de la resistencia del relleno existente y estabilidad de paredes expuestas al relleno permiten evaluar el deterioro por efecto de los sulfuros y sulfatos	

	Concepto	Dimensión	Indicador
VARIABLE INDEPENDIENTE	FAMECORTE-E® 20	▪Periodo de fraguado del relleno	Días
FAMECORTE-E® 20	Es una emulsión explosiva de bajo poder rompedor, especialmente diseñado para trabajos de voladura controlada, contorno, túneles, talud de canteras, carreteras, etc. donde es necesario obtener perfiles de roca estables sin sobre excavación	▪Propiedades físicas y mecánicas del relleno ▪Resistencia del relleno existente	% - MPa MPa
VARIABLE DEPENDIENTE	El factor de esfuerzo en la roca, A, refleja los esfuerzos actuantes sobre las caras libres del tajeo abierto en profundidad. Este factor es determinado a partir de la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta y el esfuerzo actuante paralelo a la cara expuesta del tajeo bajo consideración. La resistencia de la roca intacta puede ser determinada mediante ensayos de laboratorio de la roca. El esfuerzo compresivo inducido se establece a partir del modelamiento numérico o se estima a partir de distribuciones de esfuerzos, usando valores de esfuerzos insitu medidas o asumidas.	▪Características geométricas	m
ESTABILIDAD DE TAJEOS SECUNDARIOS			