

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**CLASIFICACION DE LA CARACTERIZACION GEOMECANICA EN
MINERIA SUBTERRANEA EN MORRO PELADO DE LA U.E.A. ANA MARIA
- LA RINCONADA**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR

ROBERT BENITO AGRAMONTE CHOQUEHUAYTA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERU

2019



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

**CLASIFICACION DE LA CARACTERIZACION GEOMECANICA EN
MINERIA SUBTERRANEA EN MORRO PELADO DE LA U.E.A. ANA MARIA
- LA RINCONADA**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PRESENTADO POR

Bach. ROBERT BENITO AGRAMONTE CHOQUEHUAYTA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADO POR:

PRESIDENTE

:


DR. JUAN MAYHUA PALOMONO

PRIMER MIEMBRO

:


ING. DAVID VELASQUEZ MEDINA

SEGUNDO MIEMBRO

:


M.Sc. LUCIO QUEA GUTIERREZ

AREA : Mecanica de rocas geomecanica y geotecnia

TEMA : Clasificacion de la caracterizacion geomecanica en mineria subterranea.

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 14 de Noviembre del 2019

DEDICATORIA

A mis padres Felix Agramonte Ramos y
Irma Choqueuayta Choquehuayta, a mí
esposa Rosalia Nieves Huisa Quispe a
mis hijos Yesica, Yosep, Felix, Rodrigo,
Alexandra.

A mis amigos de trabajo a todas las
personas que nos Han apoyado y han
hecho que el trabajo se realice con éxito
en especial a aquellos que nos abrieron
las puertas y compartieron sus
conocimientos

Robert.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a mis padres por darme la vida, por impartirme los valores y la humildad para afrontar el día a día, siempre dispuestos a escucharme y darme su apoyo incondicional también por el sacrificio de mi madre realizado para que yo culmine la carrera profesional de Ingeniería de Minas.

Agradezco a los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas que fueron parte de mi formación académica profesional, y que estuvieron siempre dispuestos a mis inquietudes y aclarar mis dudas, impartiendo conocimiento y experiencia que fueron productivos en mi aprendizaje, quienes me animaron a culminar esta carrera.

A la Universidad Nacional Del Altiplano, mi alma Mater que me tuvo entre sus aulas durante los años de mi formación profesional, otorgándome parte del conocimiento que he adquirido y que me servirá en mi desempeño profesional.

A la Cooperativa Minera Sanfrancisco Ltda que me dieron la oportunidad de hacer los trabajos en mecánica de rocas geomecánica y geotecnia, En Morro pelado de la U.E.A.

Ana Maria - la Rinconada

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
ÍNDICE GENERAL	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
MATERIALES Y MÉTODOS	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
CONCLUSIONES	20
BIBLIOGRAFÍA	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. valor obtenido en las fórmulas A, B o C	15
Tabla 2. Interpretación de los valores de RMR (Bieniawski, 1989).....	17
Tabla 3. Resultados geomecánicas	19
Tabla 4. Análisis de la varianza de geomecánica en la labor Empresa Especializada JB de la U.E.A., Ana María – La Rinconada. A una longitud de 750 metros, con una sección de 3 x 3 metros perteneciente.....	19
Tabla 5. De Análisis de la Varianza (SC tipo I).	19
Tabla 6. Test: Duncan Alfa=0.05.....	20
Tabla 7. Test:Duncan Alfa=0.05.....	20
Tabla 8. Test:Duncan Alfa=0.05.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procedure for measurement and calculation of RQD (Afler Decre. 1989)....	15
--	----

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Avenida

Celular

Clasificación Geo mecánica en Minería Subterránea

Sistema de Coordenadas Geográficas

Sistema Geodésico Mundial 1984

**CLASIFICACIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN GEOMECAÍNICA EN
MINERÍA SUBTERRÁNEA, EN MORRO PELADO DE LA U.E.A., ANA
MARÍA - LA RINCONADA**

**CLASSIFICATION OF GEOMECHANICAL CHARACTERIZATION IN
UNDERGROUND MINING, IN MORRO PELADO DE LA U.E.A., ANA MARÍA
- LA RINCONADA**

AUTOR

Robert Benito Agramonte Choquehuayta
Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas, Av.
Sesquicentenario N° 1154 Ciudad Universitaria, Puno, Perú, agrobni@gmail.com cel.
967357011

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo determinar la clasificación geomecánica de roca en áreas subterráneas en la actividad minera que en los últimos años se ha tenido una serie de accidentes en estas labores, se pueden establecer los planes a seguir para garantizar la instalación adecuada y si existen diferentes tipos de roca, cada una de las cuales tienen sus propias características y propiedades físicas. Existen también, diferentes situaciones que requieren el uso de fortificación adicional para consolidar los estratos de la roca, afirmar los bloques y prevenir la caída de roca. Si bien es cierto, previo a la construcción de una labor subterránea, se realiza un estudio preliminar de la geología del terreno mediante sondajes, mapeos geológicos y otros, es físicamente imposible detectar completamente las condiciones en que se encuentran, en la mayoría de los casos aparece como un conjunto ensamblado de bloques irregulares, separados por discontinuidades geológicas como fracturas o fallas, la caracterización geomecánica de los macizos rocosos de la Empresa JB, en la zona denominada Morro Pelado de la U.E.A., Ana María - La Rinconada. Ubicado en la Cordillera Oriental del Sur del Perú que presenta complejidad en su sistema de fortificación. El método Rock Mass Rating (RMR) para la clasificación de macizos rocosos fue desarrollado por Bieniawski (1973). Este método permite, de forma sencilla, estimar la calidad del macizo rocoso, mediante la cuantificación de parámetros de fácil medición, los cuales se establecen en el campo de manera rápida y con costos económicos mínimos. El objetivo principal es realizar una revisión del uso de las clasificaciones R.S.R., Q., R.M.R. Y S.R.C., centrando nuestra atención en las modificaciones o adaptaciones más importantes de la clasificación original, que es una adaptación mediante la aplicación de los factores de corrección adecuados. El índice se obtiene sumando al RMR básico un "factor de ajuste", La clasificación se estableció a partir del estudio de 06 muestras obteniéndose en mayor cantidad cuarcita que es una roca regular y menor cantidad pizarra, su evaluación, Se

puede concluir que la clasificación proporciona una estimación muy fiable para el diseño de labores subterráneas, aunque resulta ligeramente pesimista en la estimación del estado futuro. Asimismo, se ha comprobado la práctica coincidencia entre los métodos de los aplicados en la realidad.

Palabras clave: clasificación, características, factor de ajuste, discontinuidad geológica.

ABSTRACT

This research aims to determine the geomechanical classification of rock in underground areas in the mining activity that in recent years there have been a series of accidents in these works, plans can be established to ensure proper installation and if there are different types of rock, each of which have their own characteristics and physical properties. There are also different situations that require the use of additional fortification to consolidate the rock strata, affirm the blocks and prevent the fall of rock. Although it is true, prior to the construction of an underground work, a preliminary study of the geology of the land is carried out through drilling, geological and other mapping, it is physically impossible to fully detect the conditions in which they are found, in most cases It appears as an assembled set of irregular blocks, separated by geological discontinuities such as fractures or faults, the geomechanical characterization of the rock massifs of the JB Company, in the area called Morro Pelado of the UEA, Ana María - La Rinconada. Located in the Eastern Cordillera of Southern Peru that presents complexity in its fortification system. The Rock Mass Rainting (RMR) method for rock massif classification was developed by Bieniawski (1972). This method allows, in a simple way, to estimate the quality of the rock mass, by means of the quantification of parameters of easy measurement, which are established in the field quickly and with minimum economic costs. The main objective is to review the use of the R.S.R., Q., R.M.R. And S.R.C., focusing our attention on the most important modifications or adaptations of the original classification, which is an adaptation by applying the appropriate correction factors. The index is obtained by adding to the basic RMR an “adjustment factor”. The classification was established based on the study of 06 samples, obtaining a greater amount of quartzite, which is a regular rock and a smaller slate quantity, its evaluation. It can be concluded that the classification It provides a very reliable estimate for the design of underground work, although it is slightly pessimistic in the estimation of the future state. Likewise, the practical coincidence between the methods applied in reality has been proven.

Keywords: classification, characteristics, adjustment factor, geological discontinuity

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la minería es sin duda una de las actividades con mayor riesgo que las personas realizan, constantemente se reportan accidentes en el interior de las labores subterráneas por caída de rocas, es por ello poder entender los fenómenos asociados a los esfuerzos del macizo rocoso, ya que según estudios estadísticos el 23% de los accidentes ocurridos en minería subterránea son accidentes fatales por inestabilidad de las rocas, ocasionando pérdidas: económicas, productivas y humanas.

Si bien es cierto la explotación subterránea, los accidentes son en un mayor número graves y mortales, estos índices nos indican tener mayor atención a la caracterización del macizo rocoso en función de una serie de parámetros a los que se les asigna un valor, por medio del mismo se llega a calcular un índice característico de la roca, que permite describir numéricamente la calidad de la misma.

La descripción y caracterización física y mecánica del macizo rocoso es necesario realizar una serie de estudios utilizando métodos directos e indirectos y pruebas de laboratorio con el fin de conocer las características de la masa rocosa sobre el cual operan los contratistas por el método de cámaras y pilares. Considerando los esfuerzos generados alrededor de las excavaciones

subterráneas, es difícil la medición de la intensidad de los mismos; sin embargo, es muy importante determinar esos valores para dimensionar adecuadamente las labores subterráneas y diseñar los elementos de sostenimiento a la capacidad de presión de la roca.

Controlar los riesgos de accidentes a personas, equipos y pérdidas de materiales (producto de la inestabilidad que presenta una labor durante su abertura), constituye una preocupación primordial que debe ser considerada en la planificación de las labores mineras. (Pire, 2006). Además, la geomecánica juega un papel muy fundamental en la minera, específicamente en la estabilidad de la masa rocosa, esto por las fracturas en la roca que existen como consecuencia de las operaciones mineras. La geomecánica permite establecer dimensiones adecuadas de las labores mineras, establecer la dirección general de avance del minado a través del cuerpo mineralizado, especificar el sostenimiento adecuado, asegurar el rendimiento adecuado de la masa rocosa involucrada con las operaciones, (Fratini, Gutjahr, Boude y Bachy, 2015). También, Muchas veces en las labores subterráneas, el macizo rocoso aparece como un conjunto de bloques irregulares, separados por diaclasas, fallas o fracturas geológicas, por ello la caracterización geomecánica de los macizos rocosos es compleja; pues debe incluir tanto

las propiedades de la matriz rocosa, así como de las discontinuidades (Salas, 2013). Menciona, En las minas subterráneas se presentan deformaciones, niveles de presiones, tensiones, aberturas, cunas inestables, sin embargo, en su mayoría las mantienen autoportadas, sin considerar mejorar el sostenimiento, es allí donde interviene la caracterización geomecánica que determina la calidad de la roca y la asocia con el sostenimiento (Pire, 2006). También, Para un mejor análisis en labores subterráneas se recomienda realizar mapeos geotécnicos; caracterización, clasificación geomecánica y zonificación geomecánica del macizo rocoso; y, evaluar de las condiciones de presencia del agua y de los esfuerzos in-situ (Lois *et al.*, 2006). Sin embargo, estos estudios se complementan con estudios geológicos locales y regionales, el más importante de los estudios a detalle de la caracterización geomecánica en la parte estructural son las fallas, pliegues y alteraciones. Considerando los esfuerzos generados alrededor de las excavaciones subterráneas, es difícil determinar la intensidad de los mismos; sin embargo, es muy importante estos valores para dimensionar adecuadamente las labores subterráneas y diseñar los elementos de sostenimiento adecuado a la capacidad de presión de la roca.

El proyecto minero de la U.E.A. Ana María - La Rinconada por desconocimiento no

realizar un trabajo de descripción y clasificación geomecánica del macizo rocoso realizando operaciones mineras sin ningún control geomecánica, generando como consecuencia desarrollos mineros como túneles, tajeo, cortadas, cruceros, chimeneas, entre otros, completamente inestables ocasionando así accidentes desconoce sobre la caracterización geomecánica y diseño de sostenimiento en el cual operan sus minas esto induce a realizar trabajos inseguros, es importante la caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la U.E.A. Ana María - La Rinconada. Y además determinar los parámetros geomecánicos para la caracterización del macizo rocoso en la U.E.A., Ana María - La Rinconada.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La ubicación geográfica de la empresa JB en la zona denominada Morro Pelado de la U.E.A., Ana María - La Rinconada, ubicado al Sur de Perú a unos 70 km al Norte del Lago Titicaca en la vertiente SW de la Cordillera Oriental del Sur del Perú (Sandia-Ananea), al pie de los heleros del Macizo de Ananea, en la circunscripción político administrativa, de los centros poblados de La Rinconada y Lunar de Oro en el departamento de Puno, provincia San Antonio de Putina, distrito de Ananea, cuyas coordenadas U.T.M., 451 806.40 E, 8 383 466.98 N, a una altitud de 4,850 metros sobre el nivel del mar.

La caracterización de la zona de estudio en muchos casos está asociada a determinar zonas que presentan alteración que tienen impacto sobre la resistencia del macizo rocoso circundante, su estabilidad y auto sostenimiento

En ese sentido, se ha orientado el desarrollo de la presente investigación Caracterización geomecánica del macizo rocoso en labores de desarrollo de la Unidad Económica Administrativa - Ana María - La Rinconada, permitiéndonos conocer el resultado para realizar diseños de sostenimiento en relación a la caracterización del macizo rocoso.

Como muestra se tomará la labor de desarrollo denominado proyecto “Cobra” con una longitud de 750 metros, con una sección de 3 x 3 metros perteneciente a la Empresa Especializada JB de la U.E.A., Ana María – La Rinconada. es posiblemente la clasificación geomecánica más usada, inicialmente pensado para valorar la estabilidad y los soportes requeridos en túneles, ha resultado ser apto también para la valoración de la estabilidad en taludes. El RMR permite la obtención de la cohesión y ángulo de fricción, parámetros resistentes del criterio de Mohr-Coulomb. En las siguientes ecuaciones se muestran las relaciones entre RMR y los parámetros resistentes.

PARÁMETROS GEOMECÁNICOS

Los factores que influyen sobre el comportamiento mecánico de los macizos rocosos y que afectan a la estabilidad de las excavaciones subterráneas pueden ser divididos en tres grupos, dependiendo de los aspectos estudiados:

a) Parámetros de matriz rocosa: estudian las propiedades intrínsecas del material rocoso derivadas

de su petrografía, fábrica, textura, etc.

b) Parámetros de macizo rocoso: Evalúan la interacción entre los bloques de matriz rocosa y las discontinuidades que los atraviesan, así como la influencia de factores geológicos y naturales externos al macizo rocoso.

c) Parámetros geotécnico-Constructivos: valoran las perturbaciones introducidas por la presencia y construcción de excavaciones en el macizo rocoso. La consecuencia inmediata de la presencia de una excavación es la modificación del Estado tensional en torno a la misma (Muñoz-Fernández y González-Vallejo, 1987).

MODELO DE CLASIFICACIÓN GEOMECANICA

Desde que Terzagh (1946) propuso el primer modelo empírico para clasificar los macizos rocosos diferenciando siete tipos de terreno se han propuesto una gran cantidad de ellos.

Los procedimientos utilizados para su elaboración tienen puntos comunes: se seleccionan, de la información geológica disponible, aquellas magnitudes que parecen afectar de un modo más importante al comportamiento geotécnico del macizo rocoso en la excavación. Estos parámetros son evaluados y combinados para diferenciar las clases de roca en función del comportamiento esperado.

Este proceso básico es más complejo para aquellos modelos que aportan un índice numérico que evalúa la calidad de roca y proponen sostenimientos. Como consecuencia de la evaluación de la incidencia de los diferentes parámetros seleccionados y del establecimiento de baremos de puntuación, se propone un índice de calidad de roca (Terzaghi, n.d.), Las combinaciones de los valores posibles de los parámetros determinan el rango de variación de los índices de calidad de roca. Dicho rango es subdividido en intervalos de nominados clases de roca, en base al comportamiento esperado.

En las clasificaciones geomecánicas más evolucionadas se procede a una matización de este índice de calidad de roca por condicionamiento geotécnicos.

En base a la experiencia obtenida del análisis de la casuística se proponen sostenimientos para cada una de las clases de roca y se calculan parámetros para ser utilizados

durante el diseño (Muñoz-Fernández Y González-Vallejo, 1987)

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

El método Rock Mass Rating (RMR) para la clasificación de macizos rocosos fue desarrollado por Bieniawski (1973). Este método permite, de forma sencilla, estimar la calidad del macizo rocoso, mediante la cuantificación de parámetros de fácil medición, los cuales se establecen en el campo de manera rápida y con costos económicos mínimos. El método RMR incluye los siguientes parámetros: resistencia a la compresión uniaxial de la roca, Rock Quality Designation (RQD), espaciamiento de discontinuidades, condición de las discontinuidades, condición del agua subterránea y orientación de las discontinuidades.

Con el valor del RMR es posible establecer algunas propiedades geotécnicas preliminares del macizo, para analizar la estabilidad del talud del frente de explotación actual.

El sistema Q, fue propuesto por Barton *et al.* (1974) basándose en una gran cantidad de casos tipo de estabilidad en excavaciones subterráneas, siendo su principal propósito establecer un índice para determinar la calidad del macizo rocoso en túneles. El sistema Q incluye parámetros como el índice de calidad de la roca (RQD), número de sistemas de fisuras (J_n), rugosidad de las fisuras (J_r),

alteración de las fisuras (J_a), factor de reducción por agua en las fisuras (J_w), y el factor de reducción por esfuerzos (SRF). El valor numérico del índice Q se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = (RQD/J_n) * (J_r/J_a) * (J_w/SRF). \text{(Maureen Carrillo, Lepolt Linkimer, 2002)}$$

Desarrollado por Bieniawski (1989) constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento de túneles (Barton Hoek Brown Romana y Norly Belandria Dra Profesor Francisco Bongiorno, n.d.).

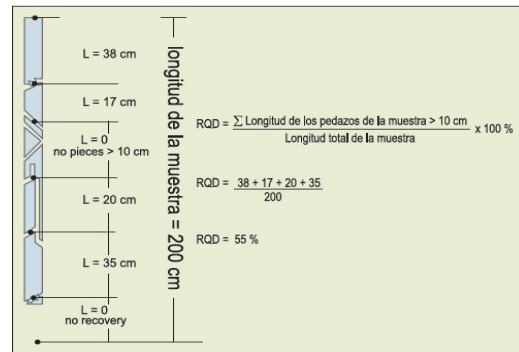
PARÁMETRO: RESISTENCIA DE LA ROCA Elementos que proporcionan los parámetros utilizados para definir y caracterizar el macizo en su conjunto o sus diferentes zonas estas son: número de familias de discontinuidades, Tamaño de bloque, Intensidad de fracturación, Meteorización y Resistencia (Ferrer, 2007).

PARÁMETRO: CÁLCULO DEL R.Q.D. Proceso que utiliza la calidad de las muestras de perforación (sondajes) diamantina (Deere *et al*, 1967) para determinar la calidad de la roca masiva in situ. Normalmente muestras de 54,7 mm x 1,5 m, resultando en un porcentaje como el siguiente:

El valor de 10 cm = diámetro de la muestra x 2. (Arzúe, Alejandor y Perez-Rey, 2013)

La calidad de roca RQD se puede determinar:

1. Trozos de rocas testigos mayores de 10 cm recuperados en sondeos.
2. Número total de discontinuidades que



interceptan una unidad de volumen (1m³) del macizo rocoso, definido mediante el parámetro J_v .

3. Teóricamente a partir de la densidad de las discontinuidades o frecuencia de las discontinuidades (λ) por Hudson, 1989. (Barton Hoek Brown Romana y Norly Belandria Dra Profesor Francisco Bongiorno, n.d.)

Para el primer caso se utiliza la ecuación A:

$$RQD = \frac{\sum(\text{ripios} > 10 \text{ cm})}{\text{Total de la perforación}}$$

Para el segundo caso se utiliza la ecuación B:

$$RQD = 115 - 3,3 \cdot J_v$$

Para el tercer caso se utiliza la ecuación C:

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

Tabla 1. valor obtenido en las fórmulas A, B o C

RQD %	CALIDAD DE LA ROCA
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

Figura 1. Procedure for measurement and calculation of RQD (Afler Decre. 1989).

Utilizando el sistema RQD tenemos una indicación de la calidad de la roca en el área de la muestra, la existencia de fallas, fracturas presentes y de las fuerzas presentes en la roca.

PARÁMETRO: SEPARACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

En zonas extensas tomar datos en varios puntos o estaciones de medida, para que los datos sean representativos del macizo se identificarán:

litología: naturaleza, potencia, localización geológica (formación, edad) / formaciones superficiales: naturaleza, textura, morfología, espesor / estructura: pliegues, fallas / fracturación: parámetro Jv, juntas por m³ / Meteorización: grados de meteorización / Resistencia: índices de campo / hidrogeología: grados de humedad / Discontinuidades (Ferrer, 2007).

PARÁMETRO: CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES

Identificación tipo de plano (estratificación: S0, esquistosidad: S1, juntas: J1, J2,, fallas: F1, F2,) / Características (para cada tipo o familia de discontinuidades): orientación: dirección y buzamiento / espaciado en mm / continuidad según dirección y buzamiento en m / rugosidad, establecer tipos y clases en cada tipo / apertura, en mm / relleno: - composición / espesor, en mm / grado de meteorización / filtraciones, discontinuidades con o sin relleno / resistencia a la compresión de las paredes (discontinuidades con o sin relleno): - índices de campo /valor del penetrómetro de bolsillo / Resistencia al corte (parámetro cuantitativo) (Ferrer, 2007).

PARÁMETRO: LA PRESENCIA DEL AGUA

Excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5 l/min, de forma localizada, la Afluencia a presión medida, con lavado ocasional de los rellenos de las discontinuidades, la Afluencia importante o presión alta en rocas competentes con discontinuidades sin relleno.

Afluencia importante o presión alta, produciéndose un lavado considerable de los rellenos de las diaclasas, Afluencia excepcionalmente alta o presión elevada en el momento de realizar las voladuras, decreciendo con el tiempo, Afluencia

excepcionalmente alta, o presión elevada de carácter persistente, sin disminución apreciable (Clasificaciones, n.d.)

PARÁMETRO: ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

Para la valoración de este parámetro se debe clasificar la roca de acuerdo al rumbo y buzamiento con respecto a la obra civil que se va a ejecutar.

CLASIFICACIÓN R.S.R.: Toma como base el modelo de TERZAGHI (1946) enfocándose fundamentalmente al empleo de sostenimiento pesados.

- A) Evalúa la influencia de la geología general del área teniendo en cuenta: tipo de terreno y estructura de la zona.
- B) Analiza el papel de las discontinuidades del macizo rocoso midiendo su espaciado y orientación respecto de la de la excavación.
- C) Estudia la importancia de las condiciones hidrogeológicas, para cuya estimación se mide la afluencia de agua a la excavación relacionando la con el valor de los parámetros anteriores.

Estos parámetros son evaluados y sumados, para calcular el índice R.S.R. que es ajustado según el sistema constructivo empleado. A

partir de él se obtienen parámetros de diseño y sostenimiento (Simbaña, 2015).

CLASIFICACIÓN Q: Desarrollado por Barton, Lien y Lunde en 1974, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite establecer sistemas de sostenimientos para túneles y cavernas. El sistema Q está basado en la evaluación numérica de seis parámetros que definen el índice Q. Este índice Desarrollado por el NGI (Instituto Geotécnico Noruego), basado en un gran número de casos históricos en Escandinavia. (Barton *et al.*, 1974). Propuso un Índice de Calidad de Túneles (Q) para la determinación de las características del macizo rocoso y los requerimientos de soporte del túnel. El valor numérico del índice Q varía en una escala logarítmica de 0,001 a un máximo de 1000 (Vilca, 2016).

Viene dado por la siguiente expresión.

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

Dónde:

RQD: Designación de la calidad de la roca

Jn: Número de familias de discontinuidades

Jr: Numero de rugosidad de las discontinuidades

Ja: Numero de alteración de las discontinuidades

Jw: factor de reducción por presencia de agua en las discontinuidades

SRF: factor de reducción por tensiones.

El primer cociente (RQD/Jn): Representa el tamaño de los bloques presentes.

El segundo cociente (Jr/Ja): Representa la rugosidad y características de resistencia al corte de las discontinuidades (paredes o relleno).

El rango de Variación de los parámetros es el siguiente:

RQD entre 0 y 100

Jn entre 0,5 y 20

Jr entre 0,5 y 4

Ja entre 0,75 y 20

Jw entre 0,05 y 1

SRF entre 0,5 y 20

Para el cálculo del Índice **Q**, se tiene en cuenta: dureza de la roca, **RQD**, fracturas (frecuencia y alteraciones), presencia de agua y las fuerzas in situ. El valor de **ESR** “Excavation Support Ratio” (Razón del Soporte de la Excavación), es vinculado con el uso final y la vida anticipada de la excavación (Barton Hoek Brown Romana y Norly Belandria Dra Profesor Francisco Bongiorno, n.d.) características **CLASIFICACIÓN R.M.R.:** El sistema

Rock Mass Rating (RMR) fue desarrollado por Bieniawski, y clasifica los macizos rocosos de 0 a 100 puntos, siendo 0 para roca muy mala y 100 para roca muy buena, de acuerdo a la tabla 3-4.

Las versiones más usadas son el RMR76 y el RMR89. Ambas incorporan la valoración de parámetros como: Resistencia de la Roca Intacta, RQD, Espaciamiento de discontinuidades, Condición de discontinuidades, Agua subterránea (Maureen Carrillo, Lepolt Linkimer, 2002).

Tabla 2. Interpretación de los valores de RMR (Bieniawski, 1989).

Descripción	RMR	Clase de Macizo Rocoso
Roca Muy Buena	81-100	I
Roca Buena	61-80	II
Roca Regular	41-60	III
Roca Mala	21-40	IV
Roca Muy Mala	0-20	V

EL puntaje total del RMR está definido por:

$RMR = (i) + (ii) + (iii) + (iv) + (v) - \text{Ajuste por orientación de discontinuidades}$

Los puntajes para cada parámetro usado para ambas versiones: RMR76 y RMR89, Los planos geomecánicos deberán incluir la zonificación geomecánica de acuerdo al tipo de roca (Para, Diseño, Labores, Toma y Mano, 2018).

Valoración del macizo rocoso (RMR)

La valoración del macizo rocoso (Rock Mass Rating), permite la obtención de la cohesión y ángulo de fricción, parámetros resistentes del criterio de Mohr-Coulomb. En las siguientes ecuaciones se muestran las relaciones entre RMR y los parámetros resistentes.

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

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

Donde c es la cohesión y ϕ es el ángulo de fricción. (Bongiorno, n.d.)

Clasificación S.R.C.: Muy parecido al de BIENIAWSKI (1973) en cuanto al número, tipo de parámetros básicos evaluados y proceso de elaboración, parte de una suposición diferente: pretende estimar la calidad del macizo rocoso partiendo de datos obtenidos en superficie. Es, por tanto, un modelo predictivo.

Los parámetros básicos difieren de los del índice R.M.R. en que: Agrupa R.Q.D. Y espaciado de diaclasas en un único parámetro al suponer que evalúan lo mismo: si hay muchas diaclasas, el R.Q.D. será bajo y viceversa.

Incorpora la influencia del estado de esfuerzos a través de una serie de magnitudes:

- Accidentes tectónicos: deducidos del análisis tectónico regional.

- Actividad neotectónica: obtenida de modo indirecto mediante el estudio de la actividad sísmica.
- Factor de competencia: cociente de la resistencia a compresión simple y la tensión inducida por carga litostática (Muñoz-Fernández y González-Vallejo, 1987).
- Factor de relajación tensional: calculado como el cociente entre la edad de la última deformación principal experimentada por el macizo rocoso y la diferencia entre la carga litostática máxima a la que se vio sometida durante la deformación o litogénesis y la carga litostática actual (peso del recubrimiento). El índice S.R.e. es ajustado posteriormente por diversos factores para obtener los sostenimientos (Bongiorno, n.d.).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de tener los resultados, Como muestra que se toma de la labor Empresa Especializada JB de la U.E.A., Ana María – La Rinconada. A una longitud de 750 metros, con una sección de 3 x 3 metros, La importancia de los parámetros geomecánicas y operativos, siendo este el pilar clave para una adecuada recomendación de sostenimiento. Esto con el objetivo de brindar un adecuado control de inestabilidad, la iteración conjunta, también es vital para

seleccionar en forma óptima la alternativa de sostenimiento, salvaguardando los intereses de seguridad, productividad y de costos en el proyecto subterráneo.

El dominio geotécnico que presenta las muestras de la caracterización geomecánica, roca cuarcita, del mismo modo que está conformada por 03 familias de discontinuidades que se interceptan entre sí, generando el modo de falla por efecto cuña, el cual requiere de un tipo de sostenimiento inmediato de forma sistemática y permanente. con la presión litostática existente en dicha estación, hará que falle la estabilidad del macizo rocoso con desprendimiento de rocas del tipo estallido.

La orientación de los sistemas de discontinuidades y su ángulo de buzamiento, se consideran como las características más desfavorables que posee este macizo rocoso en particular (Maureen Carrillo, Lepolt Linkimer, 2002)

Se puede concluir que la clasificación proporciona una estimación muy fiable del verdadero comportamiento geomecánica, aunque resulta ligeramente pesimista en la estimación del estado futuro. Asimismo, se ha comprobado la práctica coincidencia, basándose en todas las experiencias anteriores, entre los métodos de protección/sostenimiento sugeridos por el

sistema y los aplicados en la realidad (Montalar, 2016) .

Tabla 3. Resultados geomecánicas

Tipo de Roca	contenido de			Densidad			Resistencia UCS		
	M01	M02	M03	M01	M02	M03	M01	M02	M03
Pizarra	0.04	0.09	0.16	2.64	2.64	2.64	49	93.1	76
Cuarcita	0.14	0.08	0.02	2.75	2.75	2.75	270	105	253

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Análisis de la varianza de geomecánica en la labor Empresa Especializada JB de la U.E.A., Ana María – La Rinconada. A una longitud de 750 metros, con una sección de 3 x 3 metros perteneciente

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Y	18.0	0.86	0.80	79.43

En la tabla 4 nos explica el R cuadrado es 86% y el R cuadrado ajustado es de 80% lo cual es confiable al 95% con un error al 5% la proporción de la varianza de la variable dependiente que es explicada por las independientes en este caso la geomecánica, una vez corregido por el efecto de la muestra y de las variables independientes resulta ser 80% el cual varía en seis puntos esto implica que es válido las muestras tomadas.

Tabla 5. De Análisis de la Varianza (SC tipo I).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	106205.69	5	21241.14	14.63	0.0001
TIPO DE ROCA	9374.00	1	9374.00	6.46	0.0259
FISICO	78122.00	2	39061.00	26.91	<0.0001
TIPO DE ROCA*GEOM.	8709.69	2	9354.85	6.44	0.0126
Error	17420.27	12	1451.69		
Total	123625.96	17			

En la tabla el modelo explica el valor de 106205.09 con 5 grados de libertad y F calculado es de 14.63, el cual es el ajuste global de la proporción de la varianza de la

variable de pendiente que es explicada por las independientes en este caso la geomecánica. Una vez corregido por el efecto de la muestra son confiables las muestras tanto para el tipo de roca, teniendo el más alto valor confiable el valor de la roca físico y de las variables dependientes. por otro lado, el error típico de la estimación resulta ser 17420.27 y el valor p es menor a 0.05 entonces es confiable al 95% como se muestra el valor calculado es de 0.0001.

Tabla 6. Test: Duncan Alfa=0.05

TIPO DE ROCA	MEDIDAS	n	E.E
Cuarcita	70.79	9	31.69 A
pizarra	<u>25.15</u>	9	31.69 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Tabla 7. Test:Duncan Alfa=0.05

MUESTRA	MEDIAS	n	E.E
3	55.77	6	38.81 A
1	54.13	6	38.81 A
2	34.01	6	38.81 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Tabla 8. Test:Duncan Alfa=0.05

TIPO DE ROCA		MEDIDAS	N	E.E
MUESTRA				
cuarcita	1	91.4	3	54.88 A
cuarcita	3	85.27	3	54.88 A
cuarcita	2	36.06	3	54.88 A
Pizarra	2	31.95	3	54.88 A
Pizarra	3	54.88	A	54.88 A
Pizarra	1	17.21	3	54.88 A

Medias con una letra común no son

significativamente diferentes (p > 0.05)

IV. CONCLUSIONES

La clasificación geomecánica obtenido según el RMR89 de Bieniawski, se tiene una roca tipo III, roca regular en pizarra con un nivel de significancia de 25.15 y calidad buena; tipo II en cuarcita con un nivel de significancia de 70.79, el dominio estructural de la caracterización geomecánica en ambas calidades de rocas se muestra es un mecanismo de falla de tipo cuña, debido a un comportamiento de discontinuidades de dos a tres familias presentes.

Los parámetros como la resistencia a la compresión simple, discontinuidades, rugosidad, relleno, espaciado, persistencia, presencia de agua nos detalla los dominios geotécnicos presentes en el macizo rocoso que da como resultado dominio geotécnico del tipo cuña. La estimación del estado macizo rocoso en el futuro de la estabilidad de las actividades subterráneas la práctica en todas las experiencias anteriores dará métodos de protección y sostenimiento con sustento científico.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano, en especial a la Facultad de Ingeniería de Minas por su valioso aporte en mi formación profesional.

A los docentes por su asesoramiento en este estudio, por los artículos e información suministrada, por la orientación en todos y cada uno de los capítulos, por el tiempo dedicado y porque sin su asesoramiento este trabajo no hubiera sido posible.

BIBLIOGRAFÍA

- Arzúe, J., Alejanor, L. y Perez-Rey, I. (2013). *Problemas de Mecánica de Rocas - Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Journal of Chemical Information and Modeling, 53(9), 312. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Barton Hoek Brown Romana, Y. y Norly Belandria Dra Profesor Francisco Bongiorno, P. (n.d.). *Clasificaciones Geomecánica De De Los Macizos Rocosos Según: Geotecnia Aplicada*. Retrieved from http://www.webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia_geotecnia.pdf
- Bongiorno, F. (n.d.). Índice de calidad de la roca RQD. Clasificaciones de los macizos rocosos según: Barton. Bieniawski. Hoek y Brown. *Universidad de Los Andes*, 1–20.
- Clasificaciones, T. (n.d.). *Diseño y Ejecución de Obras Subterráneas*.
- Ferrer, M. (2007). *Caracterización de macizos rocosos*. (1999), 1–14.
- Frattini, N., Gutjahr, I., Boude, J. y Bachy, S. (2015). *Innovative methods within construction of the underground section of tramway T6 , in the Paris region Procédés constructifs innovants dans la réalisation de stations du tramway T6 , en région parisienne*. 2(September), 283–288. <https://doi.org/10.1680/ecsmge.60678>
- Lois, M., Diz, I., Sabemos, Q.U. É., La, S., Política, P., Mujeres, D. E. L. A. S., ... Análisis, M. D. E. (2006). *Universidad de Chile*. 37–60.
- Maureen Carrillo, Lepolt Linkimer, A. R. y H. Z. (2002). *Clasificación Geomecánica Y Análisis Estabilidad De Taludes Del Macizo Rocosos Coris , Cartago , Costa Rica*. 26, 91–96.
- Mena, E. (2013). *Planeamiento de minado subterráneo para vetas angostas: caso práctico; mina "Esperanza de Caravelí" de Compañía Minera Titán S.R.L. Pontificia Universidad Católica Del Perú*.
- Montalar, E. (2016). *La clasificación geomecánica SMR : aplicación experiencias y validación*. (November 2001).
- Muñoz-Fernández, M. y González-Vallejo, I. (1987). *Aplicación de las clasificaciones*

geomecánicas al estudio de excavaciones subterráneas. *Revista de La Sociedad Geológica de España*, 76(1 987), 71–76.

Para, G., Diseño, E. L., Labores, S. D. E. L. A. S., Toma, M. y Mano, L. A. (2018). *TESIS*.

Pire, C. (2006). *Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país*. 19.

Simbaña, J. (2015). *Estudio geológico y geomecánico a escala 1:10 000 del extremo norte de la cubeta de Quito entre los sectores de El Batán hasta Vindona*. Tesis, UCE, 158.

Soto, C. (2016). *Diseño de sostenimiento en el túnel Wayrasencca – Ollachea*. Universidad Nacional Del Altiplano, 119.

Terzaghi, M. (n.d.). *1. clasificación geológica de las rocas:*