



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO PARA LA ESTABILIDAD Y SELLADO DE LAS BOCAMINAS BY-04 Y BY-06 EN EL CIERRE DE UNA MINA ARTESANAL YANAMINA EN HUANCVELICA 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Percy Martin Arana Caicedo

Asesor:

M.Sc. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

A la memoria de mi Madre y a mi Padre que nunca desistió.

AGRADECIMIENTO

A mi Padre por su dedicación y nunca desistir, a mi esposa y mi asesor

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	8
RESUMEN.....	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática	10
1.1. Formulación del problema	14
1.2. Objetivos	14
Objetivo general.....	14
Objetivos específicos.....	14
1.3. Hipótesis	14
Hipótesis general	14
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	15
2.1. Tipo de investigación.....	15
Según su fin.....	15
Según su alcance.....	15
Según su enfoque.....	15
2.2. Población	15
Ubicación	15
2.3. Muestra	17
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	17
2.5. Procedimiento.....	18
Etapa pre campo	18
Etapa campo	18

Etap a de Procedimiento y Análisis de Datos	19
Análisis de Estabilidad – Evaluación Del RMR (BY-04, BY-06).....	19
Resistencia de la roca intacta	23
Índice de calidad de la roca (RQD).....	24
Espaciamiento de las discontinuidades	25
Condición de las discontinuidades (JC)	28
Condición del agua	29
Valoración del macizo rocoso. RMR.....	29
Orientación de las discontinuidades.....	31
Evaluación del GSI (Geological Strength Index).....	33
Q de Barton.....	35
Etap a post campo.....	43
CAPÍTULO III. RESULTADOS	44
Características geomecánica (BY-04, BY-06).....	44
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	47
4.1. Discusión	47
4.2. Limitantes.....	48
4.3. Conclusiones	48
4.3.1. Bocamina BY-04	48
4.2.1. Bocamina BY-06	49
REFERENCIAS.....	50
ANEXOS.....	52
Anexo N°1: Formato de cálculo de RMR BY-04.	52
Anexo N° 2: Formato de cálculo de RMR BY-06.	53
Anexo N° 3: Guía para el diseño de tapones para el cierre de labores Mineras.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Ubicación de la zona de la mina artesanal Yanamina en Huancavelica</i>	19
Tabla 2: <i>Coordenadas de la mina artesanal Yanamina en Huancavelica</i>	20
Tabla 3: <i>Clasificación de RMR</i>	24
Tabla 4: <i>Parámetros y rangos de valores para la clasificación geomecánica RMR_{s9}</i>	25
Tabla 5: <i>Relación entre el valor del RQD y la calidad de la roca</i>	26
Tabla 6: <i>Puntajes asociados a la resistencia de la roca intacta</i>	27
Tabla 7: <i>Puntajes asociados al índice de calidad RQD del macizo rocoso</i>	29
Tabla 8: <i>Sistemas de discontinuidad en el macizo rocoso BY-04</i>	30
Tabla 9: <i>Sistemas de discontinuidad en el macizo rocoso BY-06</i>	31
Tabla 10: <i>Puntajes asociados al espaciamiento entre discontinuidades</i>	31
Tabla 11: <i>Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos en BY-04</i>	33
Tabla 12: <i>Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos en BY-06</i>	34
Tabla 13: <i>Ajuste de la valoración por orientación de las fisuras BY-04</i>	35
Tabla 14: <i>Ajuste de la valoración por orientación de las fisuras BY-06</i>	36
Tabla 15: <i>Valores del coeficiente J_n</i>	40
Tabla 16: <i>Valores del coeficiente J_r</i>	41
Tabla 17: <i>Valores del coeficiente J_a</i>	42
Tabla 18: <i>Valores del coeficiente J_w</i>	43
Tabla 19: <i>Valores del coeficiente SRF</i>	44
Tabla 20: <i>Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos en BY-04 y BY-06</i>	47
Tabla 21: <i>Ajuste de la valoración por orientación de las fisuras</i>	47
Tabla 22: <i>Cohesión, ángulo de fricción, RMR_{14} y GSI</i>	48
Tabla 23: <i>Q de Barton</i>	48
Tabla 24: <i>Resultados BY-04</i>	52
Tabla 25: <i>Resultados BY-06</i>	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la zona de investigación mina artesanal Yanamina en Huancavelica	20
Figura 2: Ubicación de las bocaminas BY-01 BY-04 y BY-06	21
Figura 3: Puntaje asociado a la resistencia a la compresión uniaxial de la roca “intacta” UCS. Bieniawski (1989).	27
Figura 4: Puntaje asociado al espaciamiento de la discontinuidad del macizo rocoso. Bieniawski (1989)	30
Figura 5: Imagen de la condición de las discontinuidades del macizo rocoso. Foto propia (2019)....	33
Figura 6: Estimado de GSI en la BY-04 y BY-06	38
Figura 7: imagen de la condición del sostenimiento de la bocamina BY-04. Foto propia (2019).....	49
Figura 8: imagen de la condición del sostenimiento de la bocamina BY-06. Foto propia (2019).....	49

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: RMR.....	23
Ecuación 2: fórmula para hallar el RQD de BY-04.....	26
Ecuación 3: fórmula para hallar el RQD de BY-06.....	26
Ecuación 4: aplicación de la fórmula para hallar el RQD de BY-04.....	28
Ecuación 5: aplicación de la fórmula para hallar el RQD de BY-06.....	28
Ecuación 6: Fórmula para hallar λ	28
Ecuación 7: aplicación de la fórmula para hallar el RQD	28
Ecuación 8: Cohesión de BY-04.....	35
Ecuación 9: Ángulo de fricción BY-04	35
Ecuación 10: RMR ₁₄ BY-04.....	36
Ecuación 11: Cohesión de BY-06.....	36
Ecuación 12: Ángulo de fricción BY-06	36
Ecuación 13: RMR ₁₄ BY-06.....	37
Ecuación 14: GSI Bocamina BY-04.....	38
Ecuación 15: GSI Bocamina BY-06.....	38
Ecuación 16: Q de Barton	39
Ecuación 17: Q de Barton BY-04	45
Ecuación 18: Q de Barton BY-06.....	45

RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo clasificar el macizo rocoso y diseñar el sellado de las bocaminas BY-04 y BY-06 de una mina artesanal Yanamina en Huancavelica para el cierre de mina, la investigación es aplicada, explicativa, cuantitativa con diseño no experimental y transversal; los instrumentos que fueron usados en esa investigación fue la ficha de clasificación geomecánica y la ficha de toma de datos de campo.

En la visita realizada a la zona se obtuvo todos los datos según los parámetros establecidos en la etapa de pre campo, en las fichas diseñadas para este fin, obtuvimos el RMR y usamos la clasificación de Q de Barton obtuvimos la calidad del macizo rocoso,

Al obtener todos estos datos para analizarlos y clasificarlos podremos recomendar el tipo de sostenimiento y sellado de las Bocaminas BY-04 y BY-06 en la mina artesanal Yanamina en Huancavelica.

Palabra clave: Bocamina, cierre, mina.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A raíz de la actividad de extracción mineral en nuestro territorio desde épocas pre-Incas y pre-Hispánicas, tenemos presencia de bocaminas, tajos, rajos, depósitos de desmonte, relaves, chimeneas y otros pasivos; los cuales nos llevan a proponernos el cierre de ellas, enfocándonos en una mina artesanal en Huancavelica llamada Yanamina, para completar el proceso de sellado de sus bocaminas.

Gómez Sarmiento en su tesis del 2013 identifica bocaminas y chimeneas en la zona de San Rafael en el altiplano Puno, para su estudio y cerrado (Gomez Sarmiento, 2013). Utilizaremos esta investigación para comparar hipótesis, técnicas y revisar su conclusión en ayuda de la hipótesis propuesta en la presente investigación.

Jimenes y Ramos proponen un drenaje para complementar el cierre de la bocamina en Colquirrumi en Cajamarca (Jiménez Bermejo & Llanos Rimarachín, 2019). Complementaremos nuestra investigación tomando los drenajes propuestos en la investigación de Jimenes y Ramos.

También se proponen la importancia de la mitigación del impacto ambiental en el proceso de cierre de minas como en la investigación de Bazán y Vásquez en el 2018 (Bazán Cacho & Vásquez Guevara, 2018).

La actividad minera más antigua de la cual se tiene conocimiento data del año 40 000 años A.C. localizada en el Cerro Bomvu en Suazilandia, donde el hombre del neandertal extraía hematita, que usaba en su ceremonia de enterramiento (Cartaya - Pire, 2001). En el Perú antes de los Incas ya se trabajaba el oro siendo su más antiguo registro el hallado en Kuntur Wasi que data de 1 000 años A.C (Mendoza Fantinato, 2016). En

Huancavelica tenemos el registro de la mina colonial más antigua del año 1566, de donde ya los Incas extraían Mercurio para trabajar el oro (Wise & Faraud, 2005). Teniendo así que cerrar las actividades dedicadas a la extracción de minerales.

El cierre de minas, es la actividad usada para la rehabilitación del área afectada luego del proceso de extracción el cual pretende hacer compatible el área con el ambiente, para lograr un sano desarrollo de la vida natural.

El origen hidrotermal de la mineralización de este yacimiento se acoge también a la teoría de las soluciones mineralizantes aprovechando las fracturas y fallas del macizo rocoso presentes en esta área.

La geología regional de la mina artesanal Yanamina en Huancavelica está conformada por unidades de litoestratigráficas compuestas por rocas de los grupos Pucará y Goyllarisquizga y las formaciones: Chayllacatana, Chulec, Casapalca y Santa Barbara; estas rocas se encuentran parcialmente cubiertas por diferentes depósitos del cuaternario. Las rocas ígneas ocurren en forma muy puntual como cuerpos menores en forma de diques y sills (Acosta, Rodríguez, Flores, Villareal, & Huanacuni, 2011).

El grupo pucará está conformado por calizas indivisos consistentes en una intercalación de calizas grisáceas a gris oscuro, en algunos casos con tonos beige, con lutitas, lutitas limonitas e intercalación de secuencias volcánicas, que afloran con una morfología algo agreste; estas rocas yacen con estratificación de varios espesores con rumbo NW a SE, plegadas, con estratos que buzcan en dirección hacia el Este (Acosta, Rodríguez, Flores, Villareal, & Huanacuni, 2011).

El Grupo Goyllarisquizga la litología corresponde a areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, de color gris claras o gris marrones hasta gris anaranjado con variado grado de alteración, los estratos tienen variado espesor.

La formación Chayllacatana consiste en una secuencia volcánica sedimentaria de derrames basálticos de color gris verdoso, gris rojizo-olivino hasta gris violáceo, interestratificado con areniscas amarillentas y limonitas areniscozas colores rojizos hasta marrones rojizos (Acosta, Rodríguez, Flores, Villareal, & Huanacuni, 2011).

La Formación Chulec está constituida por lutitas calcáreas, luego grandes amargas interestratificadas con horizontes de calizas de color amarillento cerca del tope de la unidad prevalecen margas en estratos más gruesos e intercalación de margas calcáreas con nódulos y colores gris azulado (Acosta, Rodríguez, Flores, Villareal, & Huanacuni, 2011).

La Formación Casapalca está constituida por lutitas rojas con intercalaciones de conglomerados y areniscas rojas; contienen arcillas, yeso y carbonatos. Las areniscas se encuentran intercaladas con limo-arcillitas en capas gruesas y horizontes delgados de lodolitas; también ocurren niveles delgados de calizas con intercalación de lodolitas; en conjunto tiene color rojizo (Acosta, Rodríguez, Flores, Villareal, & Huanacuni, 2011).

La formación Santa Barbara es un complejo de centro volcánico, con un ciclo inicial eruptivo que ha depositado una serie de tobas piroclásticas brechoides, seguido por un ciclo efusivo que ha dejado grandes volúmenes de derrame de brechas y lavas. En el área de la mina está constituida por tobas lapillíticas masivas (ignimbritas) de color rosado amarillento a blanquecino, que constituye una sucesión de flujos piroclásticos litológicamente monótonos, de composición riodacítica y espesor 80m (Acosta, Rodríguez, Flores, Villareal, & Huanacuni, 2011).

La bocamina BY-04 ubicada en el sector de la mina artesanal se encuentra excavada en una secuencia de rocas volcánicas lávicas que tienen algunas intercalaciones con piroclásticas, que se ven en toda la matriz rocosa sobre la bocamina.

Está constituida principalmente por lavas andesíticas, que en gran parte están cubiertas por depósitos morrénicos. Las tobas tienen una dotación de 12 -14 M.a (Mc Kee & Noble, 1982) lo que lo ubica dentro del Mioceno Superior, perteneciente a la Formación Caudalosa. Cabe resaltar que estas rocas se encuentran en variado grado de fracturamiento y de alteración.

Según el plano geológico la bocamina BY-06 está ubicada en el sector de la mina artesanal (figura 2) y se encuentra en un depósito glaciar, por lo tanto, sería pertenecería al cuaternario, pero para conocer la litología de la roca se debe saber que la suprayace y esa es la formación caudalosa en una secuencia de rocas volcánicas lávicas que tiene algunas intercalaciones con piroclásticos, que se ven en toda la matriz rocosa sobre la bocamina. Está constituida principalmente por lavas andesíticas, que en gran parte están cubiertas por depósitos morrénicos. Las tobas tienen una datación de 12 – 14 M.a. (Mc Kee & Noble, 1982) lo que lo ubica dentro del Mioceno Superior. Cabe resaltar que estas rocas se encuentran en un grado de fracturamiento y de alteración avanzado.

El sector de la mina artesanal se caracteriza por tener bofedales y lagunas en la cabecera de cuenca. Geológicamente la BY-04 y la BY-06 presenta rocas volcánicas, con características de porosidad y permeabilidad baja, pero debido a su alto grado de fracturamiento estas aguas infiltradas están siendo captadas por la labor subterránea manifestándose por la bocamina con un caudal moderado y significativo.

Usando la guía de diseño de tampones para el cierre de labores mineras en su primera edición del año 2007 de la República del Perú a solicitud de la dirección general de asuntos ambientales mineros de Nuestra República (Carter & Castro, 2007), siguiendo algunas consideraciones para el diseño del concreto, como son:

Congelamiento/Descongelamiento, Ambiente químicamente agresivo, Abrasión, Corrosión de metales en el concreto, Reacciones químicas en los agregados.

La presente investigación servirá como guía práctica y metodológica para el desarrollo de futuros trabajos que estén enfocados en el sellado de bocaminas para la etapa de cierre de minas

1.1. Formulación del problema

¿Cuál es el diseño de sellado y estabilidad, al realizar la clasificación geomecánica para las bocaminas BY-04 y BY-06 en el cierre de una mina artesanal, Yanamina, Huancavelica?

1.2. Objetivos

Objetivo general

Realizar la clasificación geomecánica para el diseño de sellado y estabilidad de las bocaminas BY-04 y BY-06, en el cierre de una mina artesanal en Yanamina, Huancavelica.

Objetivos específicos

- Definir la calidad del macizo rocoso a través del Q de Barton, GSI, RMR de las bocaminas BY-04 y BY-06.
- Definir el tipo de sostenimiento de las bocaminas BY-04 y BY-06.
- Diseñar el sellado de las bocaminas BY-04 y BY-06.

1.3. Hipótesis

Hipótesis general

Al realizar el análisis de estabilidad se podrá diseñar el sellado de las bocaminas BY-04 y BY-06 en el cierre de una mina artesanal Yanamina en Huancavelica.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La presente investigación tiene por objetivo evaluar el sellado de las bocaminas BY-04 y BY-06 de una mina artesanal Yanamina en Huancavelica para el cierre de mina, la investigación es aplicada, explicativa, cuantitativa con diseño no experimental y transversal; los instrumentos que fueron usados en esa investigación fue la ficha de clasificación geomecánica y la ficha de toma de datos de campo

Según su fin

La investigación fue aplicada porque se estudió la relación de influencia entre dos variables, es decir de la estabilidad de las bocaminas y los parámetros geotécnicos

Según su alcance

La investigación fue explicativa porque se estudió las relaciones de influencia entre las dos variables, es decir de la estabilidad de las bocaminas y los parámetros geotécnicos.

Según su enfoque

La investigación fue cuantitativa ya que utilizamos métodos cuantitativos para determinar la estabilidad de las bocaminas y los parámetros geotécnicos.

2.2. Población

Todas las bocaminas de la mina artesanal Yanamina en Huancavelica.

Ubicación

Tabla 1:

Ubicación de la zona de la mina artesanal Yanamina en Huancavelica.

DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO
Santa Barbara.	Huancavelica.	Huancavelica.

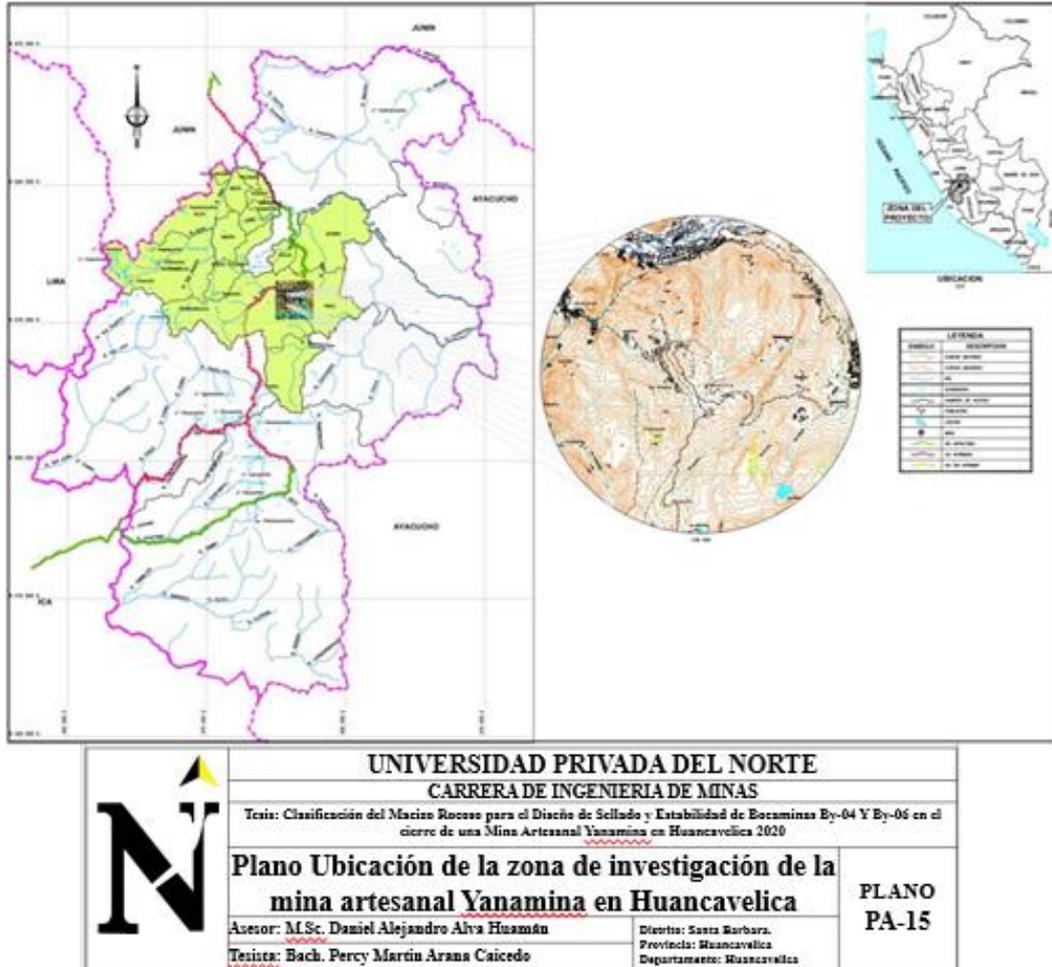


Figura 1: Ubicación de la zona de investigación de la mina artesanal Yanamina en Huancavelica.

Tabla 2:

Coordenadas de mina la artesanal Yanamina en Huancavelica.

SECTOR MINA ARTESANAL			
DESMONTERA	COORDENADAS		COTA
	NORTE	ESTE	
BY-04	8,580,718.66	503,331.61	4,426.05
BY-06	8,581,310.94	504,625.94	4,450.30



Figura 2: Ubicación de las bocaminas BY-01 BY-04 y BY-06.

2.3. Muestra

2 macizos rocosos de bocaminas BY-04 y BY-06 de la mina artesanal en Yanamina, Huancavelica.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La técnica que utilizaremos será la de observación directa, información documental basado en libros y boletines, usamos instrumentos de recolección de datos como: ficha de observación para hallar RMR, ficha de observación de GSI y un cuaderno de campo.

2.5. Procedimiento

Etapa pre campo

Se busco la compilación literaria en bibliotecas virtuales de libros de análisis de estabilidad y evaluación de RMR, geología, hidrología y técnicas de medidas de sostenimiento.

Así mismo se realiza los planos que nos ayuden a la ubicación y acceso a las bocaminas de la Mina Artesanal Yanamina en Huancavelica.

Obtuvimos las palabras que usaremos para realizar el análisis de estabilidad de las bocaminas BY-04 y BY-06 en campo.

Etapa campo

Se hizo reconocimiento y ubicación de las formaciones geológicas, bocaminas y a las estructuras de las mismas; se realizó el análisis de estabilidad y geomecánica de la roca con los materiales e instrumentos preparados en gabinete.

Se realiza la evaluación de GSI a partir de la observación geológica de campo para escoger en la tabla lo que más se acerque a la realidad del macizo rocoso a estudiar para obtener el valor del GSI. (Sánchez Pérez, 2012).

Realizamos la evaluación RMR a través de la valoración de características geomecánicas, en la tenemos en cuenta los parámetros del macizo rocos, con cada uno de los parámetros asignamos un valor, el RMR que obtenemos es la suma de todos ellos (Sánchez Pérez, 2012).

Se hizo registro fotográfico.

Etapa de Procedimiento y Análisis de Datos

Análisis de Estabilidad – Evaluación Del RMR (BY-04, BY-06)

La bocamina BY-04 y BY-06 tiene una longitud desconocida con una orientación de NE-SW y NE-SW respectivamente.

Los flancos de la bocamina BY-04 está cubierta en la parte superior por un bofedal, en partes por sedimentos morrénicos y algo de vegetación, producto de la composición de la toba por donde se infiltran las aguas de precipitación.

El flanco de la BY-06 está cubierta en partes por sedimentos morrénicos y sobre él algo de vegetación, producto de la composición de la toba por donde se infiltran las aguas de precipitación.

El RMR, introducido por Bieniawski 1976, es posiblemente la clasificación geomecánica más usadas, inicialmente pensado para valorar la estabilidad de los túneles, ha resultado ser apto también para la valoración de la estabilidad en taludes. (Bieniawski, Rock mass classification in rock engineering, 1976)

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

- Resistencia del material intacto que se obtiene mediante ensayo de carga puntual o compresión simple.
- RQD.
- Espaciado de las discontinuidades, hace referencia a la longitud entre discontinuidades dentro de la zona a estudiar.
- Condición de las discontinuidades, que incluye:
 - Longitud de la discontinuidad.

- Abertura.
 - Rugosidad.
 - Relleno.
 - Alteración.
- Presencia de agua subterránea a cada uno de los parámetros anteriores se le asigna un valor, el RMR se tiene como la suma de todos ellos.

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

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

Ecuación 1: RMR.

Tabla 3:

Clasificación de RMR.

Clases	Calidad de roca	RMR
I	Muy buena	81–100
II	Buena	61–80
III	Regular	41–60
IV	Mala	21–40
V	Muy mala	0-20

(Pérez Rodríguez, 2018), clasificación de RMR.

Tabla 4:

Parámetros y rangos de valores para la clasificación geomecánica RMR₈₉.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (σ _{ci})	RQR	ESPACIAMIENTO	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES					AGUA
			PERSISTENCIA	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACIÓN	
1.- > 250 MPa	15							
2.- 100-250 MPa	12							
3.- 50-100 MPa	7							
4.- 25-50 MPa	4							
5.- < 25 MPa	2							
1.- 90-100 %	20							
2.- 75-90 %	17							
3.- 50-75 %	13							
4.- 25-50 %	8							
5.- < 25 %	3							
1.- > 2 m	20							
2.- 0.6-2 m	15							
3.- 200-600 mm	10							
4.- 60-200 mm	8							
5.- < 60 mm	5							
1.- < 1 m	6							
2.- 1-3 m	4							
3.- 3-10 m	2							
4.- 10-20 m	1							
5.- > 20 m	0							
1.- Cerrada 0	6							
2.- Muy angosta < 0.1 mm	5							
3.- Angosta 0.1-1.0 mm	4							
4.- Abierta 1.0-5.0 mm	1							
5.- Muy Abierta > 5.0 mm	0							
1.- Muy rugosa	6							
2.- Rugosa	5							
3.- ligeramente rugosa	3							
4.- Lisa	1							
5.- Muy lisa	0							
1.- Ninguna	6							
2.- Relleno duro < 5 mm (d<5)	4							
3.- Relleno duro > 5 mm (d>5)	2							
4.- Relleno Blando < 5 mm	1							
5.- Relleno Blando > 5 mm	0							
1.- No meteorizada	6							
2.- ligeramente	5							
3.- moderadamente	3							
4.- Altamente Meteorizada	1							
5.- Descompuesta	0							
1.- Completamente seco	15							
2.- Lig. Húmedo	10							
3.- Húmedo	7							
4.- Goteo	4							
5.- Flujo	0							

(Bieniawski, Engineering rock mass classifications, 1989). Parámetros y rango de valores para la clasificación geomecánica RMR₈₉.

El RQD (Rock quality designation index): fue desarrollado por Deere. (Deere, Hendron, Patton, & Cording, 1967), para estimar cuantitativamente la calidad del macizo rocoso basándose en la recuperación de un testigo. Depende directamente del número de fracturas y del grado de alteración del macizo (Sánchez Pérez, 2012).

El RQD se ha estimado midiendo la cantidad de discontinuidades en 1m² del talud.

$$RQD = 115 - 3.3(Jv)$$

En donde: Jv es el número de discontinuidades en 1m².

Ecuación 2: fórmula para hallar el RQD de BY-04.

$$RQD = 100. e^{-0.1(\lambda)} * (1.1\lambda + 1)$$

En donde: número de discontinuidades en 1m².

Ecuación 3: fórmula para hallar el RQD de BY-06.

Tabla 5:

Relación entre el valor del RQD y la calidad de la roca.

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

Una vez obtenido el valor de RQD, la calidad de la roca viene dada según la siguiente figura:

Resistencia de la roca intacta

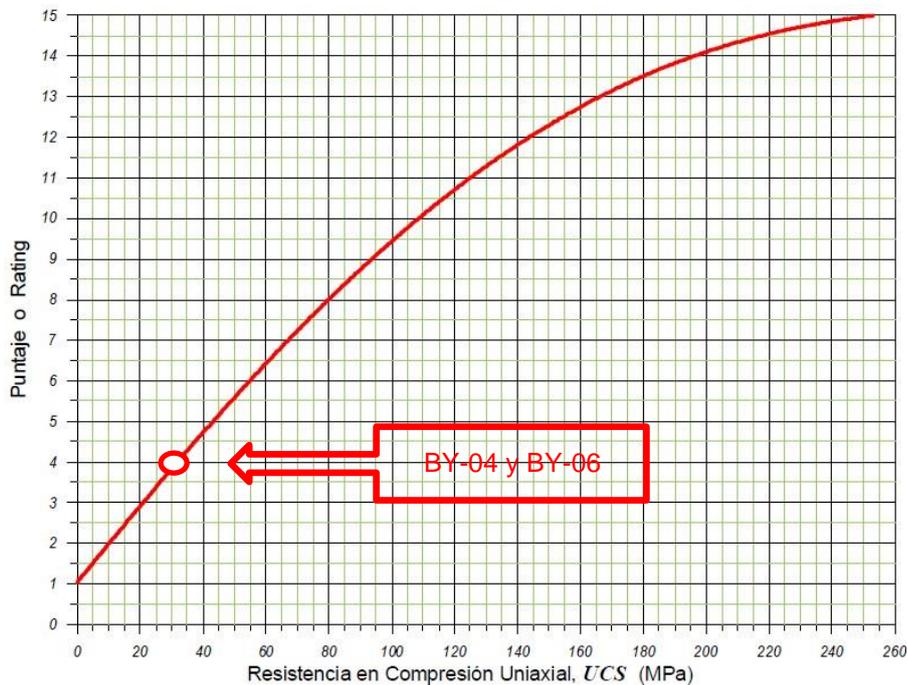


Figura 3: puntaje asociado a la resistencia a la compresión uniaxial de la roca “intacta” UCS. (Bieniawski, Engineering rock mass classifications, 1989).

Tabla 6:

Puntajes asociados a la resistencia de la roca intacta.

UCS (MPa)	PLS (MPa)	PUNTAJE	COMENTARIOS
< 1	En este rango no se recomienda el uso de los ensayos de carga puntual para estimar la resistencia de la roca “intacta”	0	Resistencia muy baja
1 a 5		1	
5 a 25		2	BY-04 y BY-06
25 – 50	1 a 2	4	Resistencia baja
50 – 100	2 a 4	7	Resistencia moderada
100 – 250	4 a 10	12	Resistencia alta
> 250	> 10	15	Resistencia muy alta

(Bieniawski, Engineering rock mass classifications, 1989), puntajes asociados a la resistencia de la roca intacta.

Según lo obtenido la roca tiene una resistencia de entre 25 a 50 % lo que quiere decir que tiene una resistencia baja, recibiendo un puntaje de 4 en ambas bocaminas BY-04 y BY-06.

Indice de calidad de la roca (RQD)

El RQD se ha estimado midiendo la cantidad de discontinuidades e 1m² del talud.

$$RQD = 115 - 3.3(Jv)$$

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

$$RQD = 42,4\%$$

Ecuación 4: aplicación de la fórmula para hallar el RQD BY-04.

$$RQD = 100 \cdot e^{-0.1(\lambda)} * (1.1\lambda + 1)$$

Donde (λ): es la frecuencia media de discontinuidades por metro.

Ecuación 5: aplicación de la fórmula para hallar el RQD.

$$\lambda = \frac{\text{cantidad de fracturas}}{\text{longitud de sondeo}}$$

Ecuación 6: fórmula para hallar λ .

Aplicando la fórmula tenemos:

- Cantidad de fracturas 652 en 32m.

ENTONCES:

$$\lambda = \frac{652}{32} = 20.4$$

$$RQD = 100 * e^{-0.1(20.4)}(0.1(20.4) + 1) = 39.5\%$$

Ecuación 7: aplicación de la fórmula para hallar RQD.

Tabla 7:

Puntajes asociados al índice de calidad RQD del macizo rocoso.

Calidad del macizo	RQD (%)	Puntaje
MUY MALA Calidad Geotécnica	< 25	3
MALA Calidad Geotécnica	25 a 50	8
REGULAR Calidad Geotécnica	50 a 75	13
BUENA Calidad Geotécnica	75 a 90	17
EXELENTE Calidad Geotécnica	90 a 100	20

(Bieniawski, Engineering rock mass classifications, 1989), puntajes asociados al índice de calidad RQD del macizo rocoso.

Según lo obtenido con los cálculos el RQD se encuentra entre un 25 a 50 % lo que quiere decir que la calidad del macizo rocoso es de mala calidad geotécnica, recibiendo un puntaje de 8 en ambos casos BY-04 y BY-06.

Espaciamiento de las discontinuidades

En este punto se midieron 4 sistemas de discontinuidades (denominado 1, 2, 3 y 4) que corresponde a los estratos como estructuras principales (1) y a las fracturas perpendiculares a la estratificación con orientación (2, 3 y 4).

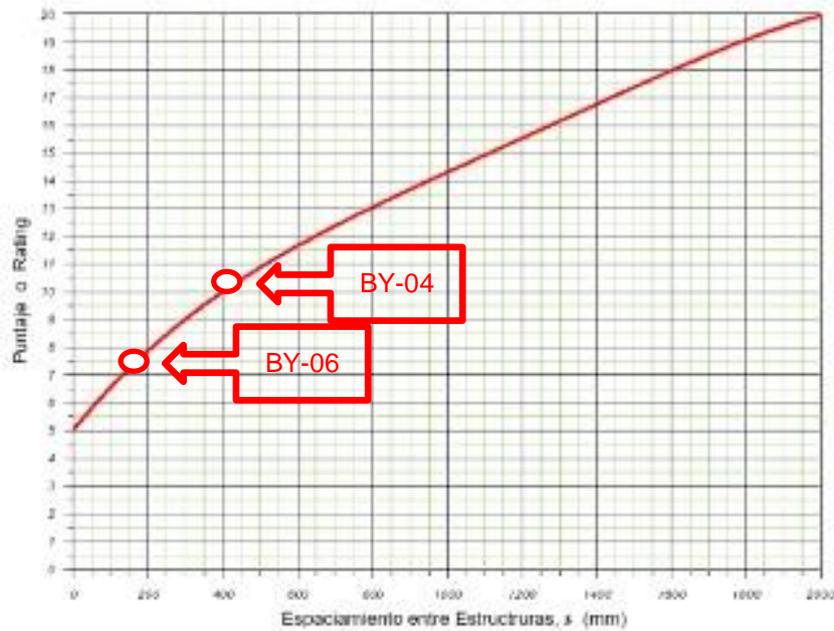


Figura 4: puntaje asociado al espaciamiento de la discontinuidad del macizo rocoso. (Bieniawski, Engineering rock mass classifications, 1989).

El rumbo y espaciamiento de las discontinuidades se resumen en el siguiente cuadro:

Tabla 8:

Sistemas de discontinuidad en el macizo rocoso BY-04.

Sistema	Rumbo	Dip	Dip Dirección	Espaciamiento de Discontinuidades (mm)
1	S 45° W	48° SW	135°	200 – 600
2	N 85° E	18° NW	175°	200 – 600
3	N 80° W	32° NE	170°	60 – 200

Propia fuente (2019), sistema de discontinuidad en el macizo rocoso BY-04.

Tabla 9:

Sistemas de discontinuidad en el macizo rocoso BY-06.

Sistema	Rumbo	Dip	Dip Dirección	Espaciamiento de Discontinuidades (mm)
1	S 30° W	72° SE	120°	200 – 600
2	S 28° W	18° SE	118°	60 – 200
3	N 45° W	56° SE	135°	60 – 200
4	N 75° E	30° NW	165°	200 – 600

Propia fuente (2019), sistema de discontinuidad en el macizo rocoso BY-06.

Tabla 10:

Puntajes asociados al espaciamiento entre discontinuidades.

Descripción del espaciamiento	S (mm)	Puntaje
MUY JUNTO a EXTREMADAMENTE JUNTO	< 60	5
JUNTO	60 a	8
MODERADO	200 a 600	10
SEPARADO	600 a 2000	15
MUY SEPARADO BY-04 y BY-06	> 2000	20

Propia fuente (2019), puntajes asociados al espaciamiento entre discontinuidades.

La valoración del espaciamiento entre las discontinuidades es entre 200 a 600 mm en ambos casos de las bocaminas BY-04 y BY-06 lo que nos da un puntaje de 10 siendo esta moderadamente juntas.

Condición de las discontinuidades (JC)

La condición de las estructuras se describe según lo observado en el macizo rocoso, además se puede apreciar la condición en las fotografías que acompañan a la descripción.

La persistencia de las fracturas en BY -04 va de 1 a 3 m, obteniendo puntuación de 4, de las fracturas en BY-06 va de 10 a 20 m, obteniendo puntuación de 1.

Las aperturas que se observan en el macizo rocoso son de 1 a 5 mm, siendo estas abiertas obteniendo una puntuación de 1, para ambos casos en las bocaminas BY-04 y BY-06.

Las fracturas son ligeramente rugosas obteniendo una puntuación de 3, para ambos casos en las bocaminas BY-04 y BY-06.

El relleno es duras mayores a 5 mm en el caso de la bocamina BY-04 y es blando menor a 5 mm en el caso de la bocamina BY-06 obteniendo una puntuación de 2 y 1 respectivamente.

En cuanto a **la alteración** el macizo rocoso se consideró moderadamente meteorizada y meteorizada respectivamente, valoración 3 y 1.

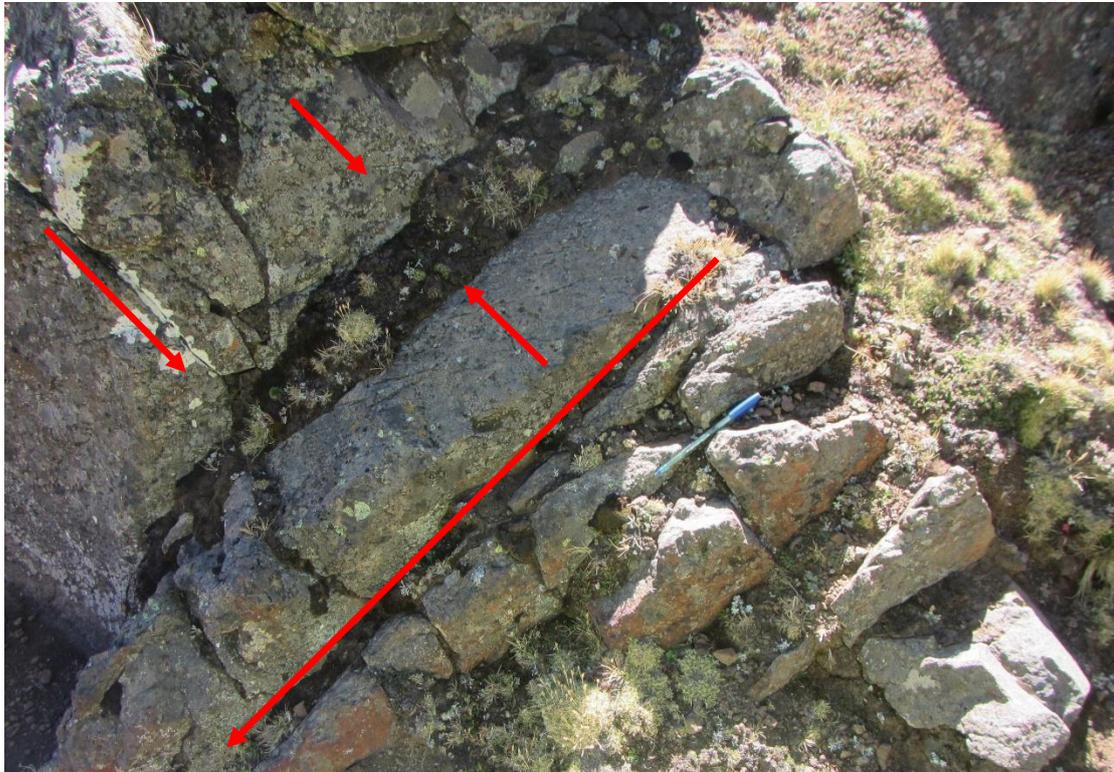


Figura 5: imagen de la condición de las discontinuidades del macizo rocoso. Foto propia (2019).

Condición del agua

En el caso del macizo rocoso de la bocamina BY-04 se presenta con goteo, por lo tanto, su valoración es de 4 y en el caso del macizo rocoso de la bocamina BY-06 se presenta húmedo, por lo tanto, su valoración es de 7, según la clasificación propuesta por Deere en 1964.

Valoración del macizo rocoso. RMR

Tabla 11:

Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos en BY-04.

Valoración del macizo rocoso RMR	
Resistencia de la roca intacta	4
RQD	8
Espaciamiento de las discontinuidades	10
Longitud de las discontinuidades	4
Apertura	1
Rugosidad	3
Relleno	2
Meteorización	3
Condición de agua	4
TOTAL (RMR)	39

Propia fuente (2019), valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos en BY-04.

Tabla 12:

Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos en BY-06.

Valoración del macizo rocoso RMR	
Resistencia de la roca intacta	4
RQD	8
Espaciamiento de las discontinuidades	10
Longitud de las discontinuidades	1
Apertura	1
Rugosidad	3
Relleno	1
Meteorización	1

Condición de agua	7
TOTAL (RMR)	36

Propia fuente (2019), valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos en BY-06.

La valoración total del macizo rocoso es de 39 y 36 en cada una de las bocaminas BY-04 y BY-06, estos valores corresponden con un macizo rocoso de categoría IV, es decir de Calidad MALA.

Orientación de las discontinuidades

En el caso de túneles de la bocamina BY-04, al RMR se le resta 2, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 13:

Ajuste de la valoración por orientación de las fisuras BY-04.

Condición de la orientación de las fisuras	Ajuste en la valoración	Valor de RMR	RMR ajustado
Medianamente desfavorable	-2	39	37

De esta manera el RMR, caracterizaría un macizo rocoso de Clase IV, considerado un macizo de Calidad Mala.

El RMR por otra parte 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. (Sánchez Pérez, 2012).

$$c = 5RMR(KPa)$$

$$c = 5 * 37(KPa)$$

$$c = 185(KPa)$$

Ecuación 8: Cohesión BY-04.

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

$$\phi = 5 + \frac{37}{2} (deg)$$

$$\phi = 23.5(deg)$$

Ecuación 9: Ángulo de fricción BY-04.

Una cohesión de 185KPa y un ángulo de fricción 23.5°.

$$RMR_{14}: 37(1.1) + 2 = 42.7$$

Ecuación 10: RMR₁₄ BY-04.

En el caso de túneles de la bocamina BY-06, al RMR se le resta 2, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 14:

Ajuste de la valoración por orientación de las fisuras.

Condición de la orientación de las fisuras	Ajuste en la valoración	Valor de RMR	RMR ajustado
Medianamente desfavorable	-2	36	34

De esta manera el RMR, caracterizaría un macizo rocoso de Clase IV, considerado un macizo de Calidad Mala.

El RMR por otra parte 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. (Sánchez Pérez, 2012).

$$c = 5RMR(KPa)$$

$$c = 5 * 34(KPa)$$

$$c = 170(KPa)$$

Ecuación 11: Cohesión BY-04.

$$\emptyset = 5 + \frac{RMR}{2} (deg)$$

$$\emptyset = 5 + \frac{34}{2} (deg)$$

$$\emptyset = 22(deg)$$

Ecuación 12: Ángulo de fricción BY-06.

Una cohesión de 170KPa y un ángulo de fricción 22°.

$$RMR_{14}: 34(1.1) + 2 = 39.4$$

Ecuación 13: RMR₁₄ BY-06.

Evaluación del GSI (Geological Strength Index)

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

Las observaciones se basan en la apariencia del macizo a nivel de estructura y a nivel de condición de la superficie. A nivel de estructuras se tiene en cuenta el nivel de alteración que sufren las rocas, la unión que existe entre ellas, que bien dada por las formas y aristas que presentan, así como de su cohesión. Para las condiciones de la superficie, se tiene en cuenta si esta esta alterada, si ha sufrido erosión o qué tipo de estructura presenta, y el tipo de recubrimiento existente. Una vez realizadas las observaciones se escoge una tabla la situación que más se acerca a la realidad del macizo a estudio, obteniendo de esta forma, el valor del GSI.

Tal y como se observa en la siguiente tabla los valores del SGI varían desde 1 hasta 100. Los valores cercanos al 1 corresponden a las situaciones del macizo rocoso de menor calidad. Es decir, con la superficie muy erosionada, con arcilla blanda en las juntas, y con una estructura poco resistente debido a las formas redondas, y a la gran cantidad de

fragmentación que sufre el macizo. Por el contrario, valores de GSI cercanos a 100, implican macizos de gran calidad, ya que significa una estructura marcada por una pequeña fragmentación en la que abundan las formas prismáticas y superficies rugosas sin erosión. (Sánchez Pérez, 2012).

Se puede obtener también con la fórmula:

$$GSI = 37 - 5$$

$$GSI = 32$$

Ecuación 14: GSI bocamina BY-04.

$$GSI = 34 - 5$$

$$GSI = 29$$

Ecuación 15: GSI bocamina BY-06.

Rock Type: <input type="text" value="General"/> <input type="button" value="OK"/>		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
GSI Selection: <input type="text" value="50"/>		DECREASING SURFACE QUALITY →				
STRUCTURE		DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	70	60	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets					
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets					
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity					
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces					
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			10

BY-04

BY-06

Figura 6: estimado de GSI en la BY-04 y BY-06. Foto propia (2019).

En el caso del macizo rocoso de la BY-04 y BY-06 tiene un valor aproximado entre 32 y 29 de GSI. Lo que quiere decir que tenemos una roca muy fracturada o perturbada ya que el macizo rocoso este plegado, formado por bloques angulares que se han conformado por la intersección de varias discontinuidades. Dando como resultado una condición de superficie mala siendo esta lisa, meteorizada y alterada.

Q de Barton

El método de clasificación de Barton et al. (Barton, Lien, & Lunde, 1974) se desarrolló para estimar la formación de túneles en función del índice de calidad geotécnica Q, definido como:

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) * \left(\frac{J_r}{J_a} \right) * \left(\frac{J_w}{SRF} \right)$$

Ecuación 16: Q de Barton.

Donde el primer cociente corresponde a una estimación del tamaño de los bloques que conforman el macizo rocoso, el segundo cociente corresponde a una estimación de la resistencia al corte entre bloques y el tercer cociente representa lo que Barton et al. (Barton, Lien, & Lunde, 1974) denominada “esfuerzo activo”. Los parámetros que definen estos cocientes son:

- **RQD:** es la designación de la calidad de la roca definido por Deere et al. (Deere, Hendron, Patton, & Cording, 1967), que puede variar de 0 a 100 de mala a buena calidad.
- **Jn:** es un coeficiente asociación al número de sets de estructuras presentes en el macizo rocoso (Join Set Number), que puede variar de 0.5 (macizo masivo o con pocas estructuras) a 20 (roca totalmente disgregada o triturada).

- **Jr:** es un coeficiente asociado a la rugosidad de las estructuras presentes en el macizo rocoso (Join Roughness Number), que puede variar de 0.5 (estructuras planas y pulidas) a 5 (estructuras poco persistentes espaciadas a más de 3m).
- **Ja:** es un coeficiente asociada a la condición o grado de alteración de las estructuras presentes en el macizo rocoso (Join Alteration Number), que puede variar de 0.75 (venillas cerradas en rocas duras con relleno resistentes y no degradables) a 20 (estructuras con rellenos potentes de arcillas).
- **Jw:** es un coeficiente asociados a la condición de aguas en las estructuras presentes en el macizo rocoso (Join Water Reduction Factor), que puede variar de 0.05 (flujo notorio de aguas, permanente o que no decae en el tiempo) a 1 (estructuras secas o con flujos mínimos de agua).
- **SRF:** es un coeficiente asociado el posible efecto sobre la condición de esfuerzo en el macizo rocoso (Stress Reduction Factor), que puede variar de 0.05 (concentraciones importantes de esfuerzos en roca competente) a 400 (potencial ocurrencia de estallido la roca).

Tabla 15:

Valores del coeficiente Jn.

Caso	Condición	Jn
A	Macizo rocoso masivos, sin o con muy pocas estructuras.	0.5 a 1
B	Macizo rocoso con un único set de estructuras.	2
C	Macizo rocoso con un set de estructuras más estructuras aleatorias.	3
D	Macizo rocoso con dos sets de estructuras.	4
E	Macizo rocoso con dos sets de estructuras más estructuras aleatorias.	6
F	Macizo rocoso con tres sets de estructuras.	9
G	Macizo rocoso con tres sets de estructuras más estructuras aleatoria.	12
H	Macizo rocoso con cuatro o más sets de estructura, con muchas estructuras aleatorias, con bloques cúbicos, etc.	15
J	Macizo rocoso totalmente desintegrado, similar a un suelo granular.	20

AUMENTE LA BLOCOSIDAD DEL MACIZO



Tabla 16:

Valores del coeficiente Jr

Caso	Condición	Jr
(a)	Hay contacto entre las cajas de la estructura (entre los dos casos).	
(b)	Desplazamiento de corte menores que 10 cm producen contacto entre las cajas de la estructura.	
A	Estructuras discontinuas o que presentan puentes de roca.	4
B	Estructuras ondulosas y rugosas (o irregulares).	3
C	Estructuras ondulosas y lisas.	2
D	Estructuras ondulosas y pulidas.	1.5
E	Estructuras planas y rugosas.	1.5
F	Estructuras planas y lisas.	1.0
G	Estructuras planas y pulidas.	0.5
(c)	Los desplazamientos de corte no producen contacto entre las cajas de la estructura (rellenas)	
H	Estructuras con rellenos arcillosos de espesor suficiente como para impedir el contacto entre las cajas de la estructura.	1.0
J	Estructura con rellenos de roca molida y/o materiales granulares de espesor suficiente como para impedir el contacto entre las cajas de la estructura.	1.0

DISMINUYE LA RUGOSIDAD DE LA ESTRUCTURA



Tabla 17:

Valores del coeficiente Ja.

Caso	Condición	ϕ_{pes}	Ja
(a) Hay contacto entre las cajas de la estructura.			
A	Estructuras bien trabadas y selladas con rellenos duros, impermeable, y que no se ablandan (e.g. cuarzo, epidora, etc).	---	0.75
B	Estructuras con cajas no alteradas, que solo presentan pátinas locales.	25° a 35°	1
C	Estructuras con cajas ligeramente alteradas Pátinas de materiales que no se ablandan y libres de finos: arenas, roca molida, etc.	25° a 30°	2
D	Estructuras con pátinas limo arenosas, con poco contenido de arcillas, que no se ablandan.	20° a 25°	3
E	Estructuras con pátinas de minerales arcillosos de baja fricción y que se ablandan (e.g. caolinita, micas, etc). Estructuras con pátinas de clorita, talco, yeso, grafito, etc. Estructuras con pequeñas cantidades de arcillas expansiva (pátinas discontinuas, de 1 a 2 mm de potencia).	8° a 16°	4
(b) Desplazamientos de corte menores que 10 cm producen contacto entre las cajas de la estructura.			
F	Estructuras con relleno de arenas y/o rocas molidas, libres de arcillas.	25° a 30°	4
G	Estructuras con rellenos de arcillas muy preconsolidadas, que no se ablandan (rellenos continuos, con espesores < 5 mm).	16° a 24°	6
H	Estructuras con rellenos de arcillas algo o pocas preconsolidadas, que se ablandan (rellenos continuos, con espesores < 5 mm).	12° a 16°	8
J	Estructuras con rellenos de arcillas expansivas (e.g. montmorillonitas, rellenos continuos, con espesores < 5 mm). El valor de Ja depende del contenido de arcilla, de la exposición al agua, etc).	6° a 12°	8 a 12
(c) Los desplazamientos de corte no producen contacto entre las cajas de la estructura.			
K, L, M	Estructuras con rellenos de desintegrada o triturada y arcillas (ver G, H, J para descripciones del material arcilloso).	6° a 24°	6, 8 o 8-12
N	Estructuras con rellenos potentes de arenas limosas o limoarcillas, con poco contenido de arcillas (que no se ablandan).	---	b
O, P, R	Estructuras con rellenos potentes de salvada arcillosa (ver G, H, J para descripciones del material arcilloso).	6° a 24°	, 13 o 13-20

AUMENTA LA ALTERACIÓN DE LA ESTRUCTURA

BY-04

BY-06

Tabla 18:

Valores del coeficiente J_w .

Caso	Condición	Pw (MPa)	J_w	
AUMENTAN LAS INFILTRACIONES	A	Túneles secos o con infiltración menores (e.g. 5 lt/min localmente o solo en algunos sectores).	< 0.1	1
	B	Infiltraciones y presiones moderadas, que ocasionalmente causan el lavado del relleno de las estructuras.	0.1 a 0.25	0.66
	C	Infiltraciones y presiones importantes en roca competente con estructuras sin relleno.	0.25 a 1.0	0.50
	D	Infiltraciones y presiones importantes que causan lavado de los rellenos de las estructuras.		0.33
	E	Infiltraciones muy importantes e a presión gavilladas por las tronaduras, pero decaen con el tiempo.	> 1.0	0.1 a 0.2
	F	Infiltraciones excepcionalmente altas con presiones que continúan sin decaer con el tiempo.		0.05 a 0.1

Tabla 19:

Valores del coeficiente SRF.

Caso	Condición	SRF		
(a)	Zonas débiles interceptan la posición que tendrá la excavación subterránea, lo que puede causar aflojamiento (loosening) del terreno cuando se desarrolle la excavación subterránea.			
A	Aparecen múltiples zonas débiles que contienen salbanda arcillosa o roca químicamente desintegrada, con roca suelta en su periferia			10.0
B	Aparece una zona débil que contiene salbanda arcillosa o roca químicamente desintegrada, con roca suelta en su periferia			5.0
C	Aparece una zona débil que contiene salbanda arcillosa o roca químicamente desintegrada, con roca suelta en su periferia.			2.5
D	Aparecen múltiples zonas débiles, con roca suelta en su periferia, en un macizo rocoso competente y libre de arcilla.			7.5
E	Aparece una zona débil, con roca suelta en su periferia, en un macizo rocoso competente y libre de arcilla.			5.0
F	Aparece una zona débil con roca suelta en su periferia, en un macizo rocoso competente y libre de arcilla.			2.5
G	Macizo rocoso muy fracturado, con estructuras abiertas que definen bloques en forma de cubos.			5.0
(b)	Macizo rocoso competente, problemas asociados a concentraciones de esfuerzos.			
		<i>CSIS_t</i>	<i>σ_{pIUCS}</i>	<i>SRF</i>
H	Estado tensional de magnitud baja, estructuras superficies abiertas.	> 200	< 0.01	2.5
J	Estado tensional de magnitud moderada, condición de esfuerzos es favorable.	10 a 200	0.01 a 0.3	1.0
K	Estado tensional de magnitud alta, estructuras bien trabadas (usualmente favorables para la estabilidad, aunque puede presentar problemas en las cajas).	5 a 10	0.3 a 0.4	0.5 a 2.0
L	Macizo rocoso masivo que presenta lajamientos moderados 1 hora después del desarrollo de la excavación subterránea.	3 a 5	0.5 a 0.65	5 a 50
M	Macizo rocoso masivo que presenta lajamientos e incluso estallidos de roca poco después del desarrollo de la excavación subterránea.	2 a 3	0.65 a 1.0	50 a 200
N	Macizo rocoso que sufren notorios estallidos de roca y deformaciones inmediatas después del desarrollo de la excavación subterránea.	< 2	> 1	200 a 400
(c)	Macizos rocosos que fluyen plásticamente (squeezing rock).			
O	El flujo plástico genera presiones leves a moderadas.	1 a 5		5 a 10

P	El flujo plástico genera presiones importantes.	> 5	10 a 20
	(d) Macizos rocosos expansivos (swelling rock) expansión o hinchamiento debido a reacciones químicas causadas por la presencia de agua.		
R	El hinchamiento genera presiones leves a moderadas.		5 a 10
S	El hinchamiento genera presiones importantes.		10 a 15

(Flores & Karzulovic, 2003), método de índice Q “Tablas de valores de coeficientes”

$$Q = \left(\frac{RQD}{Jn} \right) * \left(\frac{Jr}{Ja} \right) * \left(\frac{Jw}{SRF} \right)$$

$$Q = \left(\frac{42.4}{3} \right) * \left(\frac{1.5}{2} \right) * \left(\frac{0.66}{5} \right)$$

$$Q = 1.4$$

Ecuación 17: Q de Barton en Bocamina BY-04.

$$Q = \left(\frac{RQD}{Jn} \right) * \left(\frac{Jr}{Ja} \right) * \left(\frac{Jw}{SRF} \right)$$

$$Q = \left(\frac{39.5}{12} \right) * \left(\frac{1.5}{2} \right) * \left(\frac{0.66}{5} \right)$$

$$Q = 3.39$$

Ecuación 18: Q de Barton en bocamina BY-06.

Parámetros de calidad geotécnica de Q de Barton:

Entre:

0.001 y 0.01: roca excepcionalmente mala.

0.01 y 0.1: roca extremadamente mala.

0.1 y 1: roca muy mala.

1 y 4: roca mala.

4 y 10: roca media.

10 y 40: roca buena.

40 y 100: roca muy buena.

100 y 400: roca extremadamente buena.

400 y 1 000: rocas excepcionalmente buenas.

El Q de Barton nos da como resultado 1.4 el cual se encuentra dentro de la escala logarítmica que varía de 1 a 4, siendo esta una roca de calidad mala.

Etapa post campo

Diseño del sellado y recomendaciones para un correcto cerrado de minas de las bocaminas BY-04 y BY-06.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

La caracterización del macizo rocoso de las bocaminas BY-04 y BY-06 son las siguientes:

Características geomecánica (BY-04, BY-06)

Tabla 20:

Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos en BY-04 y BY-06.

Valoración del macizo rocoso RMR		
	BY-04	BY-06
Resistencia de la roca intacta	4	4
RQD	8	8
Espaciamiento de las discontinuidades	10	10
Longitud de las discontinuidades	4	1
Apertura	1	1
Rugosidad	3	3
Relleno	2	1
Meteorización	3	1
Condición de agua	4	7
TOTAL (RMR)	39	36

Propia fuente (2019), valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos en BY-04 y BY-06.

Tabla 21:

Ajuste de la valoración por orientación de las fisuras.

Condición de la orientación de las fisuras	Ajuste en la valoración	Valor de RMR	RMR ajustado
Medianamente desfavorable BY-04	-2	39	37
Medianamente desfavorable BY-06	-2	36	34

Tabla 22:

Cohesión, ángulo de fricción, RMR_{14} y GSI

Bocamina	Cohesión	Angulo de fricción	RMR_{14}	GSI
BY-04	185KPa	23.5°	42.7	37
BY-06	170KPa	22.0°	39.4	34

Tabla 23:

Q de Barton.

Q de Barton				
Bocamina	Valor del coeficiente	Caso	Condición	Q
BY-04	Jn	C	Macizo rocoso con un set de estructuras más estructuras aleatorias.	1.4
	Jr	E	Estructuras planas y rugosas.	
	Ja	C	Estructuras con cajas ligeramente alteradas Pátinas de materiales que no se ablandan y libres de finos: arenas, roca molida, etc.	
	Jw	B	Infiltraciones y presiones moderadas, que ocasionalmente causan el lavado del relleno de las estructuras.	
	SRF	B	Aparece una zona débil que contiene salbanda arcillosa o roca químicamente desintegrada, con roca suelta en su periferia	
	Jn	G	Macizo rocoso con tres sets de estructuras más estructuras aleatoria.	
BY-06	Jr	E	Estructuras planas y rugosas.	3.39
	Ja	C	Estructuras con cajas ligeramente alteradas Pátinas de materiales que no se ablandan y libres de finos: arenas, roca molida, etc.	
	Jw	B	Infiltraciones y presiones moderadas, que ocasionalmente causan el lavado del relleno de las estructuras.	
	SRF	G	Macizo rocoso muy fracturado, con estructuras abiertas que definen bloques en forma de cubos.	

El tipo de sostenimiento que se ha definido para las bocaminas BY-04 y BY-06 siguiendo los antecedentes de los estudios realizados nos dice que cuenta con un sostenimiento en la entrada de la bocamina siendo este de cuadros de madera.



Figura 7: imagen de la condición del sostenimiento de la bocamina BY-04. Foto propia (2019).



Figura 8: imagen de la condición del sostenimiento de la bocamina BY-06. Foto propia (2019).

El diseño del sellado de las bocaminas BY-04 y BY-06 según lo propuesto en la Guía para el diseño de tapones para el cierre de labores mineras.

La guía propone tapones de concreto en bocaminas con caudales continuas de agua corriente y saliente de la actividad de extracción, lo cual en nuestras bocaminas no se encuentran presentes, más que húmedas, goteos aislados solo en tiempos de lluvia lo que indica que no existe un caudal continuo y masivo.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El yacimiento está constituido por el mineral cinabrio y otros minerales secundarios, de cinabrio se puede extraer Mercurio; se encuentran en rocas areniscas del grupo Goyllarisquizga de la formación Chulec y rocas volcánicas.

Tales que como parte de los estudios se ha evaluado la estabilidad física de los componentes mineros como son las bocaminas.

4.1. Discusión

En la tabla N° 20 tenemos la valoración del macizo rocoso de las bocaminas BY-04 y BY-06, recolectando datos de estudio antes realizado en campo y procesados en desarrollo de la presente investigación.

Así mismo en la tabla N° 21 ajustamos los valores para la orientación de figuras utilizando en la valoración con valores -2 a los RMR de 39 y 36 obteniendo valores reajustados 37 y 34 respectivamente.

En la tabla N° 22 hallamos la cohesión, el ángulo de fricción, RMR_{14} y GSI de las bocaminas BY-04 y BY-06

También en la tabla N° 23 nos encontramos con la Q de Barton obteniendo valores de 1.4 y 3.39 respectivamente para las bocaminas BY-04 y BY-06.

Obteniendo los antecedentes determinamos que el tipo de sostenimiento que se ha utilizado es de soporte que se usa para terrenos fracturados como se encontraron en el estudio, los sostenimientos utilizados son de cuadros de madera.

Así mismo propondremos el diseño de sellado de las bocaminas según el resultado obtenido de no presencia de un caudal continuo y masivo dentro de las bocaminas BY-04 y BY-06.

4.2. Limitantes

Las limitantes con las que nos encontramos fueron: el acceso limitado a las bocaminas ya que para acceder a ellas no existe vías accesibles con vehículos teniendo que caminar por tiempos considerables, el clima lluvioso y temperaturas bajas propias de la sierra central.

También nos limito el cierre del País, para visitas posteriores, por la presencia del Covid 19 que por consecuencia trajo la cancelación de viajes y visita a todo el país.

4.3. Conclusiones

4.3.1. Bocamina BY-04

- La calidad del macizo rocoso es de 37, correspondiendo con un macizo rocoso de categoría IV, es decir de Calidad Mala.
- La estabilidad física obtenida es mala, por ello se recomendaría usar un ángulo de fricción y cohesión obtenidos en la presente investigación para mejorar la calidad de la estabilidad, en el caso se desee mejorar los taludes sobre la bocamina.
- Tiene como litología roca volcánicas (tobas alteradas y meteorizadas).

Tabla 24:

Resultados BY-04.

RMR (1989)	RMR AJUSTADO	Q DE BARTON (1993)	GSI (1974)	COHESIÓN	ÁNGULO DE FRICCIÓN
39	37	2.05	32	185 KPa	23.5deg

- Se propone sostenimiento tipo soporte con cuadros de madera que son los adecuados para el tipo de roca altamente fracturada.

- La propuesta del sellado de la bocamina es de concreto armado con una resistencia de 3000 PSI (1:2:3) a doble malla de acero de ½”, cubriendo en su totalidad el ingreso con una profundidad de 50 o 60 centímetros.

4.2.1. Bocamina BY-06

- La calidad del macizo rocoso es de 34, correspondiendo con un macizo rocoso de categoría IV, es decir de Calidad Mala.
- La estabilidad física obtenida es mala, por ello se recomendaría usar un ángulo de fricción y cohesión obtenidos en la presente investigación para mejorar la calidad de la estabilidad, en el caso se desee mejorar los taludes sobre la bocamina.
- Tiene como litología roca volcánicas (tobas muy alteradas y meteorizadas).

Tabla 25:

Resultados BY-06.

RMR (1989)	RMR AJUSTADO	Q DE BARTON (1993)	GSI (1974)	COHESIÓN	ÁNGULO DE FRICCIÓN
36	34	3.39	32	170 KPa	22 deg

- Se propone sostenimiento tipo soporte con cuadros de madera que son los adecuados para el tipo de roca altamente fracturada.
- La propuesta del sellado de la bocamina es de concreto armado con una resistencia de 3000 PSI (1:2:3) a doble malla de acero de ½”, cubriendo en su totalidad el ingreso con una profundidad de 50 o 60 centímetros.

REFERENCIAS

- Acosta, J., Rodríguez, I., Flores, A., Villareal, E., & Huanacuni, D. (2011). *MEMORIA SOBRE LA GEOLOGÍA ECONOMICA DE LA REGIÓN HUANCVELICA*. LIMA: INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO.
- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). *Engineering classification of rock masses for the design of rock support*. Oslo: Norwegian Geotechnical Institute.
- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1 de enero de 1974). *link springer*. Obtenido de <https://doi.org/10.100/BF01239496>
- Bazán Cacho, A. D., & Vásquez Guevara, A. (2018). *Influencia de medidas de mitigación de impactos ambientales para el cierre de minas en la mina de carbón Juana, Cajamarca 2018*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Bieniawski, Z. T. (1976). *Rock mass classification in rock engineering*. Johannesburg: Proceedings of the Symposium on Exploration for Rock Engineering.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. New York: John Wiley & Sons.
- Cartaya - Pire, M. (2001). *Caracterización geomecánica de macizo rocosos en obras subterráneas la región oriental del país*. Holguín: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa 'Dr Antonio Nuñez Jiménez'.
- Carter, T., & Castro, L. (2007). *GUÍA PARA EL DISEÑO DE TAPONES PARA EL CIERRE DE LABORES MINERAS*. LIMA: DIRECCIÓN GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES MINEROS.
- Deere, D. U., Hendron, A. J., Patton, F. D., & Cording, E. J. (1967). *Design of surface and near-surface construction in rock*. New York: Society of Mining Engineers.
- Flores, G. G., & Karzulovic, L. A. (2003). *Guías geotécnicas para una transición desde rajo abierto a minería subterránea*. Santiago de Chile: División Chuquicamata de Codelco.
- Gomez Sarmiento, P. A. (2013). *Cierre de bocaminas y chimeneas de la zona de San Rafael - Puno*. Puno: Universidad nacional del Altiplano.
- Jiménez Bermejo, P. J., & Llanos Rimarachín, J. F. (2019). *Evaluación del drenaje anóxico calizo, como técnica complementaria al cierre de la bocamina BQH5 de Colquirrumi*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Mc Kee, E., & Noble, D. (1982). *Economic Geology*. Nevada: Society of Economic Geologists.
- Mendoza Fantinato, G. (7 de enero de 2016). *Researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/334524568_Descubriendo_el_esplendor_de_Kuntur_Wasi_en_la_epoca_previa_al_apogeo_de_Chavin_los_resultados_de_la_mision_arqueologica_japonesa En El Blog de Guido Mendoza Fantinato
- Pérez Rodríguez, M. S. (1 de junio de 2018). *www.scielo.org.co*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-36302018000100034
- Sánchez Pérez, J. F. (2012). *Solución numérica de problemas de oxidación mediante el método de simulación por redes*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena .

Wise, J., & Faraud, J. (1 de Enero de 2005). *researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/James_Wise6/publication/295009864_LOS_MAPAS_HISTORICOS_DE_LA_MINA_SANTA_BARBARA_HUANCAVELICA/links/56c6235008ae8cf828fef743.pdf

ANEXOS

Anexo N°1: Formato de cálculo de RMR BY-04.

CÁLCULO DE RMR (Bieniawski, 1989)																																																																																							
Tesis : “ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y DISEÑO DE SELLADO DE BOCAMINAS BY-04 Y BY-06 EN EL CIERRE DE UNA MINA ARTESANAL EN HUANCAMELICA”																																																																																							
Autor : Arana Caicedo, Percy Martin																																																																																							
Tipo de roca : Volcanica																																																																																							
Ubicación : BY-04																																																																																							
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE																																																																																							
VALOR DE RESISTENCIA : 98 Mpa																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">VALOR Y/O RESISTENCIA ADOPTADA</th> <th>PUNTAJE</th> </tr> <tr> <th>RESISTENCIA</th> <th>CALIDAD</th> <th>PUNTAJE</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>> 250 Mpa</td> <td>Muy alta</td> <td>15</td> <td></td> </tr> <tr> <td>250 - 100</td> <td>Alta</td> <td>12</td> <td></td> </tr> <tr> <td>100 - 50</td> <td>Mediana</td> <td>7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>50 - 25</td> <td>Baja</td> <td>4</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>25 - 5</td> <td></td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5 - 1</td> <td>Muy baja</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>< 1 Mpa</td> <td></td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										VALOR Y/O RESISTENCIA ADOPTADA			PUNTAJE	RESISTENCIA	CALIDAD	PUNTAJE		> 250 Mpa	Muy alta	15		250 - 100	Alta	12		100 - 50	Mediana	7		50 - 25	Baja	4	X	25 - 5		2		5 - 1	Muy baja	1		< 1 Mpa		0																																											
VALOR Y/O RESISTENCIA ADOPTADA			PUNTAJE																																																																																				
RESISTENCIA	CALIDAD	PUNTAJE																																																																																					
> 250 Mpa	Muy alta	15																																																																																					
250 - 100	Alta	12																																																																																					
100 - 50	Mediana	7																																																																																					
50 - 25	Baja	4	X																																																																																				
25 - 5		2																																																																																					
5 - 1	Muy baja	1																																																																																					
< 1 Mpa		0																																																																																					
Este valor se ha determinado usando:																																																																																							
Ensayo de laboratorio (compresión simple)																																																																																							
Ensayo de laboratorio (carga puntual)																																																																																							
Martillo Schmidt sobre testigo																																																																																							
Martillo Schmidt sobre aflorante rocoso X																																																																																							
Tablas (*)																																																																																							
Referencia (ISRM, 1978)																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>SI</th> <th>no</th> <th>INDICE MANUAL (martillo del geologo)</th> <th>Resistencia a la compresión simple (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>No rompe, solo saltan astillas</td> <td>> 250.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Rompe con muchos golpes</td> <td>100.0 - 250.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Rompe con mas de un golpe</td> <td>50.0 - 100.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Rompe con un golpe X</td> <td>25.0 - 50.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Se indenta la punta</td> <td>5.0 - 25.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Se machaca con un golpe</td> <td>1.0 - 5.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Idem y se raya con la uña</td> <td>0.25 - 1.0</td> </tr> </tbody> </table>										SI	no	INDICE MANUAL (martillo del geologo)	Resistencia a la compresión simple (MPa)			No rompe, solo saltan astillas	> 250.0			Rompe con muchos golpes	100.0 - 250.0			Rompe con mas de un golpe	50.0 - 100.0			Rompe con un golpe X	25.0 - 50.0			Se indenta la punta	5.0 - 25.0			Se machaca con un golpe	1.0 - 5.0			Idem y se raya con la uña	0.25 - 1.0																																														
SI	no	INDICE MANUAL (martillo del geologo)	Resistencia a la compresión simple (MPa)																																																																																				
		No rompe, solo saltan astillas	> 250.0																																																																																				
		Rompe con muchos golpes	100.0 - 250.0																																																																																				
		Rompe con mas de un golpe	50.0 - 100.0																																																																																				
		Rompe con un golpe X	25.0 - 50.0																																																																																				
		Se indenta la punta	5.0 - 25.0																																																																																				
		Se machaca con un golpe	1.0 - 5.0																																																																																				
		Idem y se raya con la uña	0.25 - 1.0																																																																																				
VALORACION DE PARAMETROS Q (según Barton, Lien y Lunden)																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>VALOR</th> <th>PUNTAJE</th> <th>Observacion</th> <th>PUNTAJE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muy mala</td> <td>0 a 25</td> <td>3</td> <td rowspan="5">Cuando RQD se reporta o es medido como menor a 10, se le otorga un valor nominal de 10</td> <td rowspan="5">8</td> </tr> <tr> <td>Mala</td> <td>25 a 50</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Regular</td> <td>50 a 75</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>Buena</td> <td>75 a 90</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>Excelente</td> <td>90 a 100</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>										DESCRIPCIÓN	VALOR	PUNTAJE	Observacion	PUNTAJE	Muy mala	0 a 25	3	Cuando RQD se reporta o es medido como menor a 10, se le otorga un valor nominal de 10	8	Mala	25 a 50	8	Regular	50 a 75	13	Buena	75 a 90	17	Excelente	90 a 100	20																																																								
DESCRIPCIÓN	VALOR	PUNTAJE	Observacion	PUNTAJE																																																																																			
Muy mala	0 a 25	3	Cuando RQD se reporta o es medido como menor a 10, se le otorga un valor nominal de 10	8																																																																																			
Mala	25 a 50	8																																																																																					
Regular	50 a 75	13																																																																																					
Buena	75 a 90	17																																																																																					
Excelente	90 a 100	20																																																																																					
VALORACION DE PARAMETROS (LF)																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>VALOR (m)</th> <th>PUNTAJE</th> <th>PUNTAJE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muy separada</td> <td>> 2.00</td> <td>20</td> <td rowspan="5">10</td> </tr> <tr> <td>Separada</td> <td>2.00 - 0.60</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Medianamente separada</td> <td>0.60 - 0.20</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Proximamente</td> <td>0.20 - 0.06</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Muy Proximas</td> <td>< 0.06</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>										DESCRIPCIÓN	VALOR (m)	PUNTAJE	PUNTAJE	Muy separada	> 2.00	20	10	Separada	2.00 - 0.60	15	Medianamente separada	0.60 - 0.20	10	Proximamente	0.20 - 0.06	8	Muy Proximas	< 0.06	5																																																										
DESCRIPCIÓN	VALOR (m)	PUNTAJE	PUNTAJE																																																																																				
Muy separada	> 2.00	20	10																																																																																				
Separada	2.00 - 0.60	15																																																																																					
Medianamente separada	0.60 - 0.20	10																																																																																					
Proximamente	0.20 - 0.06	8																																																																																					
Muy Proximas	< 0.06	5																																																																																					
VALORACION DE PARAMETROS																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Longitud de la discontinuidad</th> <th>Abertura (mm)</th> <th>Rugosidad</th> <th>Relleno</th> <th>Alteración</th> <th>PUNTAJE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 1 m</td> <td>6</td> <td>Nada</td> <td>6</td> <td>Muy rugosa</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>1 - 3 m</td> <td>4</td> <td>< 0.10</td> <td>5</td> <td>Rugosa</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3 - 10 m</td> <td>2</td> <td>0.10 - 1</td> <td>4</td> <td>Ligeramente rugosa</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>10 - 20 m</td> <td>1</td> <td>1 - 5</td> <td>3</td> <td>Duro (> 5 mm)</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>> 20 m</td> <td>0</td> <td>> 5</td> <td>2</td> <td>Duro (> 5 mm)</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>Blando (< 5mm)</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td>Blando (> 5mm)</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Inalterada</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Ligeramente alterada</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Moderadamente alterada</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Muy alterada</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Descompuesta</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>										Longitud de la discontinuidad	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteración	PUNTAJE	< 1 m	6	Nada	6	Muy rugosa	6	1 - 3 m	4	< 0.10	5	Rugosa	5	3 - 10 m	2	0.10 - 1	4	Ligeramente rugosa	4	10 - 20 m	1	1 - 5	3	Duro (> 5 mm)	3	> 20 m	0	> 5	2	Duro (> 5 mm)	2		4	1	3	Blando (< 5mm)	3				2	Blando (> 5mm)	2					Inalterada	6					Ligeramente alterada	5					Moderadamente alterada	3					Muy alterada	1					Descompuesta	0
Longitud de la discontinuidad	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteración	PUNTAJE																																																																																		
< 1 m	6	Nada	6	Muy rugosa	6																																																																																		
1 - 3 m	4	< 0.10	5	Rugosa	5																																																																																		
3 - 10 m	2	0.10 - 1	4	Ligeramente rugosa	4																																																																																		
10 - 20 m	1	1 - 5	3	Duro (> 5 mm)	3																																																																																		
> 20 m	0	> 5	2	Duro (> 5 mm)	2																																																																																		
	4	1	3	Blando (< 5mm)	3																																																																																		
			2	Blando (> 5mm)	2																																																																																		
				Inalterada	6																																																																																		
				Ligeramente alterada	5																																																																																		
				Moderadamente alterada	3																																																																																		
				Muy alterada	1																																																																																		
				Descompuesta	0																																																																																		
VALORACION DE PARAMETROS																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>RELACION: PRESION DE AGUA/TENSION PRINCIPAL MAYOR</th> <th>CAUDAL POR 10 m DE TUNEL</th> <th>ESTADO GENERAL</th> <th>PUNTAJE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SECO</td> <td>0</td> <td>NULO</td> <td>SECO</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>LIGERAMENTE HUMEDO</td> <td>0 - 0.1</td> <td>< 10 lt/min</td> <td>LIGERAMENTE HÚMEDO</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>HUMEDO</td> <td>0.1 - 0.2</td> <td>10 - 25 lt/min</td> <td>HÚMEDO</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>GOTEANDO</td> <td>0.2 - 0.5</td> <td>25 - 125 lt/min</td> <td>GOTEANDO</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>FLUYENDO</td> <td>> 0.5</td> <td>> 125 lt/min</td> <td>AGUA FLUYENDO</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>										DESCRIPCIÓN	RELACION: PRESION DE AGUA/TENSION PRINCIPAL MAYOR	CAUDAL POR 10 m DE TUNEL	ESTADO GENERAL	PUNTAJE	SECO	0	NULO	SECO	15	LIGERAMENTE HUMEDO	0 - 0.1	< 10 lt/min	LIGERAMENTE HÚMEDO	10	HUMEDO	0.1 - 0.2	10 - 25 lt/min	HÚMEDO	7	GOTEANDO	0.2 - 0.5	25 - 125 lt/min	GOTEANDO	4	FLUYENDO	> 0.5	> 125 lt/min	AGUA FLUYENDO	0																																																
DESCRIPCIÓN	RELACION: PRESION DE AGUA/TENSION PRINCIPAL MAYOR	CAUDAL POR 10 m DE TUNEL	ESTADO GENERAL	PUNTAJE																																																																																			
SECO	0	NULO	SECO	15																																																																																			
LIGERAMENTE HUMEDO	0 - 0.1	< 10 lt/min	LIGERAMENTE HÚMEDO	10																																																																																			
HUMEDO	0.1 - 0.2	10 - 25 lt/min	HÚMEDO	7																																																																																			
GOTEANDO	0.2 - 0.5	25 - 125 lt/min	GOTEANDO	4																																																																																			
FLUYENDO	> 0.5	> 125 lt/min	AGUA FLUYENDO	0																																																																																			
CORRECCIÓN POR LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES (F)																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DIRECCION Y BUZAMIENTO</th> <th>Túneles/Casi</th> <th>Cimentaciones</th> <th>Taludes</th> <th>PUNTAJE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muy favorables</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td rowspan="5">-2</td> </tr> <tr> <td>Favorables</td> <td>-2</td> <td>-2</td> <td>-2</td> </tr> <tr> <td>Medias</td> <td>-5</td> <td>-7</td> <td>-25</td> </tr> <tr> <td>Desfavorable</td> <td>-10</td> <td>-15</td> <td>-50</td> </tr> <tr> <td>Muy desfavorable</td> <td>-12</td> <td>-25</td> <td>-60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>-2</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										DIRECCION Y BUZAMIENTO	Túneles/Casi	Cimentaciones	Taludes	PUNTAJE	Muy favorables	0	0	0	-2	Favorables	-2	-2	-2	Medias	-5	-7	-25	Desfavorable	-10	-15	-50	Muy desfavorable	-12	-25	-60		-2																																																		
DIRECCION Y BUZAMIENTO	Túneles/Casi	Cimentaciones	Taludes	PUNTAJE																																																																																			
Muy favorables	0	0	0	-2																																																																																			
Favorables	-2	-2	-2																																																																																				
Medias	-5	-7	-25																																																																																				
Desfavorable	-10	-15	-50																																																																																				
Muy desfavorable	-12	-25	-60																																																																																				
	-2																																																																																						
CLASIFICACIÓN RMR OBTENIDA EN CAMPO																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>CLASE</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> <th>IV</th> <th>V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CALIDAD</td> <td>MUY BUENA</td> <td>BUENA</td> <td>MEDIA</td> <td>MALA</td> <td>MUY MALA</td> </tr> <tr> <td>PUNTAJACIÓN</td> <td></td> <td>80 - 61</td> <td>60 - 41</td> <td>40 - 21</td> <td>< 20</td> </tr> <tr> <td>COHESIÓN (kg/cm²)</td> <td>> 4</td> <td>- 4</td> <td>- 3</td> <td>- 2</td> <td>< 1</td> </tr> <tr> <td>FRICCIÓN (φ)</td> <td>> 45</td> <td>- 45</td> <td>- 35</td> <td>- 25</td> <td>< 15</td> </tr> </tbody> </table>										CLASE	I	II	III	IV	V	CALIDAD	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA	PUNTAJACIÓN		80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20	COHESIÓN (kg/cm²)	> 4	- 4	- 3	- 2	< 1	FRICCIÓN (φ)	> 45	- 45	- 35	- 25	< 15																																																
CLASE	I	II	III	IV	V																																																																																		
CALIDAD	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA																																																																																		
PUNTAJACIÓN		80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20																																																																																		
COHESIÓN (kg/cm²)	> 4	- 4	- 3	- 2	< 1																																																																																		
FRICCIÓN (φ)	> 45	- 45	- 35	- 25	< 15																																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Valor de RMR</th> <th>37</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Correlaciones de RMR</td> </tr> <tr> <td>Cohesión (C)</td> <td>1.8</td> <td>Kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>Ángulo de Fricción</td> <td>23.4</td> <td>°</td> </tr> </tbody> </table> <p>(Valores propuestos por Bieniawski)</p>										Valor de RMR		37	Correlaciones de RMR			Cohesión (C)	1.8	Kg/cm²	Ángulo de Fricción	23.4	°																																																																		
Valor de RMR		37																																																																																					
Correlaciones de RMR																																																																																							
Cohesión (C)	1.8	Kg/cm²																																																																																					
Ángulo de Fricción	23.4	°																																																																																					

Anexo N° 2: Formato de cálculo de RMR BY-06.

CÁLCULO DE RMR (Bieniaswki, 1989)																																																			
<p>Tesis : "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y DISEÑO DE SELLADO DE BOCAMINAS BY-04 Y BY-06 EN EL CIERRE DE UNA MINA ARTESANAL EN HUANCAMELICA"</p> <p>Autor : Arana Caicedo, Percy Martín</p> <p>Tipo de roca : Volcanica</p> <p>Ubicación : BY-06</p>																																																			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE																																																			
MATRIZ ROCOSA	VALOR DE RESISTENCIA : 35 Mpa				VALOR Y/O RESISTENCIA ADOPTADA			PUNTAJE																																											
	<p>Este valor se ha determinado usando:</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Ensayo de laboratorio (compresión simple)</td><td style="text-align: center;">█</td></tr> <tr><td>Ensayo de laboratorio (carga puntual)</td><td style="text-align: center;">█</td></tr> <tr><td>Martillo Schmidt sobre testigo</td><td style="text-align: center;">█</td></tr> <tr><td>Martillo Schmidt sobre aflorante rocoso</td><td style="text-align: center;">█</td></tr> <tr><td>Tablas (*)</td><td style="text-align: center;">█ X</td></tr> </table>				Ensayo de laboratorio (compresión simple)	█	Ensayo de laboratorio (carga puntual)	█	Martillo Schmidt sobre testigo	█	Martillo Schmidt sobre aflorante rocoso	█	Tablas (*)	█ X	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>RESISTENCIA</th><th>CALIDAD</th><th>PUNTAJE</th></tr> <tr><td>> 250 Mpa</td><td>Muy alta</td><td style="text-align: center;">15</td></tr> <tr><td>250 - 100</td><td>Alta</td><td style="text-align: center;">12</td></tr> <tr><td>100 - 50</td><td>Mediana</td><td style="text-align: center;">7</td></tr> <tr><td>50 - 25</td><td>Baja</td><td style="text-align: center;">█ X 4</td></tr> <tr><td>25 - 5</td><td></td><td style="text-align: center;">2</td></tr> <tr><td>5 - 1</td><td>Muy baja</td><td style="text-align: center;">1</td></tr> <tr><td>< 1 Mpa</td><td></td><td style="text-align: center;">0</td></tr> </table>			RESISTENCIA	CALIDAD	PUNTAJE	> 250 Mpa	Muy alta	15	250 - 100	Alta	12	100 - 50	Mediana	7	50 - 25	Baja	█ X 4	25 - 5		2	5 - 1	Muy baja	1	< 1 Mpa		0	4									
	Ensayo de laboratorio (compresión simple)	█																																																	
	Ensayo de laboratorio (carga puntual)	█																																																	
	Martillo Schmidt sobre testigo	█																																																	
	Martillo Schmidt sobre aflorante rocoso	█																																																	
	Tablas (*)	█ X																																																	
	RESISTENCIA	CALIDAD	PUNTAJE																																																
	> 250 Mpa	Muy alta	15																																																
	250 - 100	Alta	12																																																
100 - 50	Mediana	7																																																	
50 - 25	Baja	█ X 4																																																	
25 - 5		2																																																	
5 - 1	Muy baja	1																																																	
< 1 Mpa		0																																																	
Referencia (ISRM, 1978)																																																			
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>si</th><th>no</th></tr> <tr><td style="text-align: center;">█</td><td style="text-align: center;">█</td></tr> </table>		si	no	█	█	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>INDICE MANUAL (martillo del geologo)</th><th>Resistencia a la compresión simple (MPa)</th></tr> <tr><td>No rompe, solo saltan astillas</td><td style="text-align: center;">> 250.0</td></tr> <tr><td>Rompe con muchos golpes</td><td style="text-align: center;">100.0 - 250.0</td></tr> <tr><td>Riompe con mas de un golpe</td><td style="text-align: center;">50.0 - 100.0</td></tr> <tr><td>Rompe con un golpe</td><td style="text-align: center;">25.0 - 50.0</td></tr> <tr><td>Se indenta la punta</td><td style="text-align: center;">5.0 - 25.0</td></tr> <tr><td>Se machaca con un golpe</td><td style="text-align: center;">1.0 - 5.0</td></tr> <tr><td>Idem y se raya con la uña</td><td style="text-align: center;">0.25 - 1.0</td></tr> </table>		INDICE MANUAL (martillo del geologo)	Resistencia a la compresión simple (MPa)	No rompe, solo saltan astillas	> 250.0	Rompe con muchos golpes	100.0 - 250.0	Riompe con mas de un golpe	50.0 - 100.0	Rompe con un golpe	25.0 - 50.0	Se indenta la punta	5.0 - 25.0	Se machaca con un golpe	1.0 - 5.0	Idem y se raya con la uña	0.25 - 1.0																												
si	no																																																		
█	█																																																		
INDICE MANUAL (martillo del geologo)	Resistencia a la compresión simple (MPa)																																																		
No rompe, solo saltan astillas	> 250.0																																																		
Rompe con muchos golpes	100.0 - 250.0																																																		
Riompe con mas de un golpe	50.0 - 100.0																																																		
Rompe con un golpe	25.0 - 50.0																																																		
Se indenta la punta	5.0 - 25.0																																																		
Se machaca con un golpe	1.0 - 5.0																																																		
Idem y se raya con la uña	0.25 - 1.0																																																		
VALORACION DE PARAMETROS Q (según Barton, Lien y Lunden)																																																			
ROD	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>DESCRIPCIÓN</th><th>VALOR</th><th>PUNTAJE</th></tr> <tr><td>Muy mala</td><td style="text-align: center;">0 a 25</td><td style="text-align: center;">3</td></tr> <tr><td>Mala</td><td style="text-align: center;">25 a 50</td><td style="text-align: center;">█ X 8</td></tr> <tr><td>Regular</td><td style="text-align: center;">50 a 75</td><td style="text-align: center;">13</td></tr> <tr><td>Buena</td><td style="text-align: center;">75 a 90</td><td style="text-align: center;">17</td></tr> <tr><td>Excelente</td><td style="text-align: center;">90 a 100</td><td style="text-align: center;">20</td></tr> </table>			DESCRIPCIÓN	VALOR	PUNTAJE	Muy mala	0 a 25	3	Mala	25 a 50	█ X 8	Regular	50 a 75	13	Buena	75 a 90	17	Excelente	90 a 100	20	<p>Observacion Cuando RQD se reporta o es medido como menor a 10, se le otorga un valor nominal de 10</p>			PUNTAJE		8																								
	DESCRIPCIÓN	VALOR	PUNTAJE																																																
	Muy mala	0 a 25	3																																																
	Mala	25 a 50	█ X 8																																																
	Regular	50 a 75	13																																																
Buena	75 a 90	17																																																	
Excelente	90 a 100	20																																																	
VALORACION DE PARAMETROS (LF)																																																			
SEPARACION DE DIACLASAS	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>DESCRIPCIÓN</th><th>VALOR (m)</th><th>PUNTAJE</th></tr> <tr><td>Muy separada</td><td style="text-align: center;">> 2.00</td><td style="text-align: center;">20</td></tr> <tr><td>Separada</td><td style="text-align: center;">2.00 - 0.60</td><td style="text-align: center;">15</td></tr> <tr><td>Medianamente separada</td><td style="text-align: center;">0.60 - 0.20</td><td style="text-align: center;">█ X 10</td></tr> <tr><td>Proximamente</td><td style="text-align: center;">0.20 - 0.06</td><td style="text-align: center;">8</td></tr> <tr><td>Muy Proximas</td><td style="text-align: center;">< 0.06</td><td style="text-align: center;">5</td></tr> </table>			DESCRIPCIÓN	VALOR (m)	PUNTAJE	Muy separada	> 2.00	20	Separada	2.00 - 0.60	15	Medianamente separada	0.60 - 0.20	█ X 10	Proximamente	0.20 - 0.06	8	Muy Proximas	< 0.06	5				PUNTAJE		10																								
	DESCRIPCIÓN	VALOR (m)	PUNTAJE																																																
	Muy separada	> 2.00	20																																																
	Separada	2.00 - 0.60	15																																																
	Medianamente separada	0.60 - 0.20	█ X 10																																																
Proximamente	0.20 - 0.06	8																																																	
Muy Proximas	< 0.06	5																																																	
VALORACION DE PARAMETROS																																																			
ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>Longitud de la discontinuidad</th><th>Abertura (mm)</th></tr> <tr><td>< 1 m</td><td style="text-align: center;">6</td></tr> <tr><td>1 - 3 m</td><td style="text-align: center;">4</td></tr> <tr><td>3 - 10 m</td><td style="text-align: center;">2</td></tr> <tr><td>10 - 20 m</td><td style="text-align: center;">█ X 1</td></tr> <tr><td>> 20 m</td><td style="text-align: center;">0</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">1</td></tr> </table>		Longitud de la discontinuidad	Abertura (mm)	< 1 m	6	1 - 3 m	4	3 - 10 m	2	10 - 20 m	█ X 1	> 20 m	0		1	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>Rugosidad</th><th>Relleno</th></tr> <tr><td>Muy rugosa</td><td style="text-align: center;">6</td></tr> <tr><td>Rugosa</td><td style="text-align: center;">5</td></tr> <tr><td>Ligeramente rugosa</td><td style="text-align: center;">█ X 3</td></tr> <tr><td>Ondulada</td><td style="text-align: center;">1</td></tr> <tr><td>Suave</td><td style="text-align: center;">0</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">3</td></tr> </table>		Rugosidad	Relleno	Muy rugosa	6	Rugosa	5	Ligeramente rugosa	█ X 3	Ondulada	1	Suave	0		3	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>Alteración</th><th></th></tr> <tr><td>Inalterada</td><td style="text-align: center;">6</td></tr> <tr><td>Ligeramente alterada</td><td style="text-align: center;">5</td></tr> <tr><td>Moderadamente alterada</td><td style="text-align: center;">█ X 3</td></tr> <tr><td>Muy alterada</td><td style="text-align: center;">1</td></tr> <tr><td>Descompuesta</td><td style="text-align: center;">0</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">1</td></tr> </table>		Alteración		Inalterada	6	Ligeramente alterada	5	Moderadamente alterada	█ X 3	Muy alterada	1	Descompuesta	0		1	PUNTAJE		7
	Longitud de la discontinuidad	Abertura (mm)																																																	
	< 1 m	6																																																	
	1 - 3 m	4																																																	
	3 - 10 m	2																																																	
	10 - 20 m	█ X 1																																																	
> 20 m	0																																																		
	1																																																		
Rugosidad	Relleno																																																		
Muy rugosa	6																																																		
Rugosa	5																																																		
Ligeramente rugosa	█ X 3																																																		
Ondulada	1																																																		
Suave	0																																																		
	3																																																		
Alteración																																																			
Inalterada	6																																																		
Ligeramente alterada	5																																																		
Moderadamente alterada	█ X 3																																																		
Muy alterada	1																																																		
Descompuesta	0																																																		
	1																																																		
VALORACION DE PARAMETROS																																																			
FLUJO DE AGUA	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>DESCRIPCIÓN</th><th>RELACION: PRESION DE AGUA/TENSION PRINCIPAL MAYOR</th><th>CAUDAL POR 10 m DE TUNEL</th><th>ESTADO GENERAL</th><th>PUNTAJE</th></tr> <tr><td>SECO</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">NULO</td><td style="text-align: center;">SECO</td><td style="text-align: center;">15</td></tr> <tr><td>LIGERAMENTE HUMEDO</td><td style="text-align: center;">0 - 0.1</td><td style="text-align: center;">< 10 lt/min</td><td style="text-align: center;">LIGERAMENTE HUMEDO</td><td style="text-align: center;">10</td></tr> <tr><td>HUMEDO</td><td style="text-align: center;">0.1 - 0.2</td><td style="text-align: center;">10 - 25 lt/min</td><td style="text-align: center;">HUMEDO</td><td style="text-align: center;">█ X 7</td></tr> <tr><td>GOTEANDO</td><td style="text-align: center;">0.2 - 0.5</td><td style="text-align: center;">25 - 125 lt/min</td><td style="text-align: center;">GOTEANDO</td><td style="text-align: center;">4</td></tr> <tr><td>FLUYENDO</td><td style="text-align: center;">> 0.5</td><td style="text-align: center;">> 125 lt/min</td><td style="text-align: center;">AGUA FLUYENDO</td><td style="text-align: center;">0</td></tr> </table>			DESCRIPCIÓN	RELACION: PRESION DE AGUA/TENSION PRINCIPAL MAYOR	CAUDAL POR 10 m DE TUNEL	ESTADO GENERAL	PUNTAJE	SECO	0	NULO	SECO	15	LIGERAMENTE HUMEDO	0 - 0.1	< 10 lt/min	LIGERAMENTE HUMEDO	10	HUMEDO	0.1 - 0.2	10 - 25 lt/min	HUMEDO	█ X 7	GOTEANDO	0.2 - 0.5	25 - 125 lt/min	GOTEANDO	4	FLUYENDO	> 0.5	> 125 lt/min	AGUA FLUYENDO	0				PUNTAJE		7												
	DESCRIPCIÓN	RELACION: PRESION DE AGUA/TENSION PRINCIPAL MAYOR	CAUDAL POR 10 m DE TUNEL	ESTADO GENERAL	PUNTAJE																																														
	SECO	0	NULO	SECO	15																																														
	LIGERAMENTE HUMEDO	0 - 0.1	< 10 lt/min	LIGERAMENTE HUMEDO	10																																														
	HUMEDO	0.1 - 0.2	10 - 25 lt/min	HUMEDO	█ X 7																																														
GOTEANDO	0.2 - 0.5	25 - 125 lt/min	GOTEANDO	4																																															
FLUYENDO	> 0.5	> 125 lt/min	AGUA FLUYENDO	0																																															
CORRECIÓN POR LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES (F)																																																			
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>DIRECCION Y BUZAMIENTO</th><th>Túneles/Casi</th><th>Cimentaciones</th><th>Taludes</th></tr> <tr><td>Muy favorables</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0</td></tr> <tr><td>Favorables</td><td style="text-align: center;">█ X -2</td><td style="text-align: center;">-2</td><td style="text-align: center;">-2</td></tr> <tr><td>Medias</td><td style="text-align: center;">-5</td><td style="text-align: center;">-7</td><td style="text-align: center;">-25</td></tr> <tr><td>Desfavorable</td><td style="text-align: center;">-10</td><td style="text-align: center;">-15</td><td style="text-align: center;">-50</td></tr> <tr><td>Muy desfavorable</td><td style="text-align: center;">-12</td><td style="text-align: center;">-25</td><td style="text-align: center;">-60</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">-2</td><td></td><td></td></tr> </table>				DIRECCION Y BUZAMIENTO	Túneles/Casi	Cimentaciones	Taludes	Muy favorables	0	0	0	Favorables	█ X -2	-2	-2	Medias	-5	-7	-25	Desfavorable	-10	-15	-50	Muy desfavorable	-12	-25	-60		-2			PUNTAJE		-2																	
DIRECCION Y BUZAMIENTO	Túneles/Casi	Cimentaciones	Taludes																																																
Muy favorables	0	0	0																																																
Favorables	█ X -2	-2	-2																																																
Medias	-5	-7	-25																																																
Desfavorable	-10	-15	-50																																																
Muy desfavorable	-12	-25	-60																																																
	-2																																																		
CLASIFICACIÓN RMR OBTENIDA EN CAMPO																																																			
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>CLASE</th><th>I</th><th>II</th><th>III</th><th>IV</th><th>V</th></tr> <tr><td>CALIDAD</td><td style="text-align: center;">MUY BUENA</td><td style="text-align: center;">BUENA</td><td style="text-align: center;">MEDIA</td><td style="text-align: center;">MALA</td><td style="text-align: center;">MUY MALA</td></tr> <tr><td>PUNTAJACIÓN</td><td style="text-align: center;">80 - 61</td><td style="text-align: center;">60 - 41</td><td style="text-align: center;">█ X 40 - 21</td><td style="text-align: center;">< 20</td><td></td></tr> <tr><td>COHESIÓN (kg/cm²)</td><td style="text-align: center;">> 4</td><td style="text-align: center;">- 4</td><td style="text-align: center;">- 3</td><td style="text-align: center;">- 2</td><td style="text-align: center;">< 1</td></tr> <tr><td>FRICCIÓN (φ)</td><td style="text-align: center;">> 45</td><td style="text-align: center;">- 45</td><td style="text-align: center;">- 35</td><td style="text-align: center;">- 25</td><td style="text-align: center;">< 15</td></tr> </table>					CLASE	I	II	III	IV	V	CALIDAD	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA	PUNTAJACIÓN	80 - 61	60 - 41	█ X 40 - 21	< 20		COHESIÓN (kg/cm²)	> 4	- 4	- 3	- 2	< 1	FRICCIÓN (φ)	> 45	- 45	- 35	- 25	< 15	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Valor de RMR</td><td style="text-align: center;">34</td></tr> </table>		Valor de RMR	34													
CLASE	I	II	III	IV	V																																														
CALIDAD	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA																																														
PUNTAJACIÓN	80 - 61	60 - 41	█ X 40 - 21	< 20																																															
COHESIÓN (kg/cm²)	> 4	- 4	- 3	- 2	< 1																																														
FRICCIÓN (φ)	> 45	- 45	- 35	- 25	< 15																																														
Valor de RMR	34																																																		
					<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">Correlaciones de RMR</th></tr> <tr><td>Cohesión (C)</td><td style="text-align: center;">1.7</td><td style="text-align: center;">Kg/cm²</td></tr> <tr><td>Ángulo de Fricción</td><td style="text-align: center;">21.8</td><td style="text-align: center;">°</td></tr> </table>		Correlaciones de RMR			Cohesión (C)	1.7	Kg/cm²	Ángulo de Fricción	21.8	°																																				
Correlaciones de RMR																																																			
Cohesión (C)	1.7	Kg/cm²																																																	
Ángulo de Fricción	21.8	°																																																	
					(Valores propuestos por Bieniaswki)																																														

Anexo N° 3: Guía para el diseño de tapones para el cierre de labores Mineras.

