



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE.

TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL.

AUTOR:

Harman Mauricio Uchuari Quezada

DIRECTOR:

Ing. Ángel Efrén Tamayo Jaramillo, Mg. Sc

Loja – Ecuador

2020



CERTIFICACIÓN

Ingeniero

Ángel Efrén Tamayo Jaramillo, Mg. Sc

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, realizado por el señor egresado: **HARMAN MAURICIO UCHUARI QUEZADA** con C.I. 1900728427, en su proceso de investigación cuyo tema se versa en “**ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE**”, previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, el mismo que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, en consecuencia me permito autorizar para su presentación, sustentación y defensa.

Loja, 03 de marzo del 2020

Ángel Efrén Tamayo Jaramillo, Mg Sc

DIRECTOR DE TESIS



AUTORÍA

Yo, **Harman Mauricio Uchuari Quezada** declaro ser autor del proyecto de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula: 1900728427

Fecha: 03- 03 – 2020



CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, **Harman Mauricio Uchuari Quezada**, declaro ser el autor de la tesis titulada: **“ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”**, como requisito para optar al grado de: **INGENIERO EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, a los veinticuatro días del mes de abril del dos mil veinte.

Firma:

Autor:

Harman Mauricio Uchuari Quezada

Cédula:

1900728427

Dirección:

Loja (Av. Bustamante Celi y Agustín Carrión Palacios)

Correo electrónico:

harman9406@gmail.com

Teléfono:

2613558

Celular:

0987029122

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis:

Ing. Ángel Efrén Tamayo Jaramillo, Mg. Sc

Tribunal de Grado:

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.

Ing. Hernán Luis Castillo García, Mg. Sc.

Ing. Oscar Adrián Estrella Lima, Mg. Sc.



DEDICATORIA

Con eterno agradecimiento dedico el presente trabajo a mis padres: Luis Uchuari y Martha Quezada quienes con su apoyo y dedicación han sido participes en toda mi educación, a mis hermanos; Yadira Katibel, Marlon Adriel, Zaira Verónica, Itatia Mayeli y Luis Adrián, por el cariño que siempre me han demostrado.

Harman Uchuari Quezada



AGRADECIMIENTO

En el presente trabajo de tesis empezare agradeciendo primeramente a Dios por haberme dado salud y la fuerza para culminar esta gran etapa de mi vida.

A mi director de tesis, Ing. Ángel Tamayo que con su conocimiento y experiencia me ha guiado y orientado en el cumplimiento del presente trabajo de investigación, así como a todos mis docentes de la Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial que me compartieron sus conocimientos y enseñanzas, de igual manera quiero agradecer a mis compañeros de clases a cada uno de ellos que con sus enseñanzas, una que otra broma hicieron que las horas de clases fueran más amenas. También quiero agradecer al área minera “Cambanas” por permitirme y brindarme la ayuda necesaria en la realización del proyecto de tesis.

Además, quiero agradecer a mi familia por todo ese apoyo incondicional, a todos mis amigos que de una u otra manera colaboraron conmigo hasta la culminación de mi trabajo.

Finalmente, a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, a la Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, por permitirme realizar mis estudios profesionales.

Harman Uchuari Quezada.



TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
1. TÍTULO	1
2. RESUMEN	2
3. INTRODUCCIÓN	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA	7
4.1. Topografía	7
4.2. Geomorfología	7
4.2.1. Pendientes.	7
4.3. Geología	8
4.3.1. Rocas.....	8
4.3.2. Mapeo Geológico.....	10
4.4. Geología Estructural.....	11
4.4.1. Estructuras Geológicas.	11
4.5. Yacimientos Minerales.....	12
4.5.1. Yacimientos tipo Skarn.....	13
4.5.2. Yacimientos Hidrotermales	13
4.6. Minería	13
4.6.1. Mina.	13
4.6.2. Fases de la Minería.	13



4.6.3.	Sistemas de Explotación Minera.....	14
4.6.4.	Labores Mineras.	15
4.7.	Geotecnia.....	16
4.7.1.	Macizo rocoso.....	16
4.7.2.	Matriz rocosa	16
4.7.3.	Discontinuidades.....	17
4.7.4.	Dominio estructural y estructura del macizo rocoso.	18
4.8.	Clasificaciones Geomecánicas	19
4.8.1.	Clasificación según Bieniawski (R.M.R.)	19
4.8.2.	Clasificación de Barton, Lien y Lunde. (Índice Q).....	22
4.9.	Correlaciones Geomecánicas entre RMR y Q (Bieniawski 1976).....	27
5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
5.1.	Materiales y equipos.....	30
5.2.	Metodología	30
5.2.1.	Metodología para el primer objetivo.	31
5.2.2.	Metodología para el segundo objetivo.....	33
5.2.3.	Metodología para el tercer objetivo.	35
6.	RESULTADOS.....	37
6.1.	Ubicación Geográfica y Acceso.....	37
6.2.	Clima y Vegetación.....	38
6.3.	Hidrología.....	38
6.4.	Topografía del Área Minera Cambanas	38
6.4.1.	Pendientes del Área Minera Cambanas.	39
6.5.	Geología Regional.....	40
6.5.1.	Geología Local de la Galería T1.....	41
6.6.	Geología Estructural Regional	42



6.6.1.	Geología Estructural de la Galería T1.	43
6.7.	Caracterización del Macizo Rocosos.....	48
6.7.1.	Análisis de las propiedades Físico – Mecánicas de las rocas.	48
6.8.	Clasificación Geomecánica RMR del macizo.....	50
6.9.	Clasificación Geomecánica Q de Barton del macizo.....	51
6.10.	Correlación entre el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton	52
7.	DISCUSIÓN.....	54
8.	CONCLUSIONES.....	56
9.	RECOMENDACIONES.....	58
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
11.	ANEXOS	62
ANEXO 1:	FICHAS GEOLÓGICAS PARA ANÁLISIS DE MUESTRAS	63
ANEXO 2:	LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL.....	71
ANEXO 3:	RESULTADOS DE RESISTENCIA MECANICA DE LAS ROCAS 74	
Anexo 3.1:	Resistencia al rebote del martillo de Schmidt.....	75
Anexo 3.2:	Resistencia a Compresión Simple.....	76
ANEXO 4:	FICHAS COMPORTAMIENTO GEOMECAÁNICO.....	77
Anexo 4.1:	Fichas Clasificación Geomecánica RMR	78
Anexo 4.2:	Fichas Clasificación Geomecánica Q De Barton.....	94
ANEXO 5:	MAPAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	100
Anexo 5.1:	Mapa de Ubicación y Acceso	101
Anexo 5.2:	Topografía del Área Minera Cambanas (Código 246)	102
Anexo 5.3:	Mapa de Pendientes del Área Minera Cambanas (Código 246).....	103
Anexo 5.4:	Geología Regional	104
Anexo 5.5:	Mapa de Muestreo y Ensayos del Área Minera Cambanas (Código 246)	



Anexo 5.6: Geología Estructural Local de la Galería T1 del Área Minera Cambanas (Código 246)	106
Anexo 5.7: Calidad del Macizo Rocosos en la Galería T1 del Área Minera Cambanas (Código 246)	107
ANEXO 6: REGISTRO FOTOGRÁFICO	108



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Rango de Pendientes	8
Tabla 2. Parámetro: Resistencia a compresión simple.	19
Tabla 3. Parámetro: Índice de Calidad de la Roca (RQD).	20
Tabla 4. Parámetro: Espaciado de las discontinuidades.	20
Tabla 5. Parámetro: Abertura de las discontinuidades.	20
Tabla 6. Parámetro: Persistencia de las discontinuidades.	20
Tabla 7. Parámetro: Rugosidad de las discontinuidades.	21
Tabla 8. Parámetro: Relleno de las discontinuidades.	21
Tabla 9. Parámetro: Alteración de las discontinuidades.....	21
Tabla 10. Parámetro: Presencia de agua.	22
Tabla 11. Parámetro: Orientación de las discontinuidades con respecto a la obra.....	22
Tabla 12. Calidad de macizo rocoso con relación al RMR.	22
Tabla 13. Calidad de RQD en la Q de Barton.	23
Tabla 14. Valoración del índice de diaclasado (Jn).....	23
Tabla 15. Valoración del índice de rugosidad (Jr).....	24
Tabla 16. Factor de reducción de presencia de agua (Jw).	24
Tabla 17. Valor índice de alteración de las discontinuidades.....	25
Tabla 18. Valoraciones SFR.....	25
Tabla 19. Clasificación del macizo rocoso según Q de Barton	27
Tabla 20. Principales correlaciones establecidas entre el sistema RMR y Q.	28
Tabla 21. Materiales y equipos utilizados	30
Tabla 22: Datos Generales de la Concesión Minera.	37
Tabla 23: Rango de pendientes del área minera.....	39



Tabla 24: Resultados de las propiedades físicas de las muestras obtenidas.....	48
Tabla 25: Resultados del rebote con el martillo de Schmidt.	48
Tabla 26: Resultados de compresión simple de las muestras obtenidas.	49
Tabla 27: Resultados de la Fortaleza de las muestras obtenidas.	50
Tabla 28: Resultados de Valoración del Macizo según RMR.....	50
Tabla 29: Resultados de Valoración del Macizo según Q de Barton.	51



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1: Correlación para el martillo Schmidt entre resistencia a compresión, densidad de la roca y rebote.....	17
Figura. 2: Medidas de Orientación de Discontinuidades	18
Figura. 3: Correlación entre RMR y Q.....	29
Figura 4: Modelo Propuesto de correlación geomecánica	36
Figura. 5: Representación estereográfica del diagrama de concentración de polos de diaclasas.....	46
Figura. 6: Representación estereográfica del diagrama de densidades de diaclasas	47
Figura. 7: Representación estereográfica del diagrama de rosetas de diaclasas.....	47
Figura. 8: Datos de RMR y Q obtenidos en la Galería T1 para el comportamiento geomecánico y correlación entre ambos.....	52
Figura. 9: Comparación de la ecuación ($RMR=7.66*\ln Q+46.834$) obtenida para rocas volcánicas con otras correlaciones propuestas entre índice RMR y Q.....	53

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Vetilla de calcita a 11.66 m de la boca mina.....	44
Fotografía 2: Stockwork a 29.98 m de la boca mina	45
Fotografía 3: Dique Andesítico a 33.48 m de la boca mina.....	45
Fotografía 4: Intrusiones de skarn en roca hornfels 90 m de la boca mina.....	46



1. TÍTULO

ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE.



2. RESUMEN

La presente investigación se refiere al “Estudio geológico estructural y determinación de la calidad del macizo rocoso de la galería de exploración T1 en el área minera Cambanas (código 246) ubicado en la Parroquia San Carlos de las Minas, Cantón Zamora, Provincia de Zamora Chinchipe”, abarcando un área de 19.59 hectáreas mineras contiguas.

Obtenida la base topográfica superficial, subterránea y la geología superficial se procedió a corroborar dicha información en la cual se determinó su geología mediante la toma de muestras, la misma que se encuentra en el Distrito Minero Nambija en un yacimiento tipo skarn, compuestas de rocas andesitas, rocas metamórficas producto de un metamorfismo de contacto y un dique de composición andesítica. En el levantamiento geológico estructural de la galería se determinó varias fallas principales de arrastre con una dirección NW con buzamientos entre 30° a 75° SW y los contactos litológicos presentan una dirección NE con buzamientos entre 73° a 86° SE. Se realizó una valoración de las propiedades físicas: densidad y peso específico y las propiedades mecánicas: resistencia al rebote del martillo de Schmidt, compresión simple y resistencia a la tracción.

Para la caracterización geomecánica RMR (Bieniawski 1989) se consideraron 4 sectores de acuerdo a la identificación de sus rasgos geológicos y dominios estructurales determinando que la calidad del macizo rocoso es de tipo II (Buena) y tipo III (Regular). La caracterización geomecánica Q de Barton se realizó en los mismos sectores a través de observación directa determinando que la calidad del macizo rocoso es Buena, Regular y Mala. Cuya caracterización determinó que el comportamiento geomecánico en el área de estudio es estable o parcialmente estable.

Para la correlación se utilizó dos sistemas de clasificación geomecánica, RMR y Q de Barton mediante una relación del tipo logarítmica; $RMR = 7.66 * \ln Q + 46.83$ es una ecuación ajustada de carácter local por los resultados utilizados del sector y pueden ser empleadas en futuros trabajos en el área minera, especialmente en el diseño y construcción de futuras labores mineras.

Palabras clave: *Geología estructural; clasificación RMR; clasificación Q; macizo rocoso.*



ABSTRACT

The present investigation refers to the "Geological structural study and determination of the quality of the rock mass of the T1 exploration gallery in the Cambanas mining area (code 246) located in the San Carlos de las Minas Parish, Zamora County, Zamora Chinchipe Province", covering an area of 19.59 contiguous mining hectares.

Once the surface and underground topography and surface geology were obtained, this information was corroborated and the geology was determined by taking samples. These samples were found in the Nambija Mining District in a skarn-type deposit, composed of andesite rocks, metamorphic rocks resulting from contact metamorphism and an andesite composition dyke. In the geological structural survey of the gallery several main drag faults were determined with a NW direction with dips between 30° and 75° SW and the lithological contacts present a NE direction with dips between 73° and 86° SE. An evaluation of the physical properties was made: density and specific weight and the mechanical properties: rebound resistance of the Schmidt hammer, simple compression and tensile strength.

For the geomechanical characterization RMR (Bieniawski 1989) four sectors were considered according to the identification of their geological features and structural domains determining that the quality of the rock mass is type II (Good) and type III (Regular). Barton's geomechanical Q characterization was carried out in the same sectors through direct observation, determining that the quality of the rock mass is Good, Regular and Poor. Whose characterization determined that the geomechanical behavior in the study area is stable or partially stable.

Two geomechanical classification systems were used for the correlation, Barton's RMR and Q by means of a logarithmic type relationship; $RMR = 7.66 * \ln Q + 46.83$ is a locally adjusted equation for the results used in the sector and can be used in future work in the mining area, especially in the design and construction of future mining works.

Keywords: *Structural geology; RMR classification; Q classification; rock mass.*



3. INTRODUCCIÓN

El estudio geológico estructural a detalle, permite determinar las características litológicas de un área de interés y es necesario en cualquier trabajo de ámbito minero debido a que cada tipo de yacimiento suele presentar condiciones propias que se debe conocer para realizar con mayor eficiencia la explotación, como seguir explorando zonas continuas para su aprovechamiento a futuro.

La determinación de la geología estructural en un área minera engloba distintos trabajos de campo que permiten obtener mediante medición directa de las características litológicas, las cuales tienen que ser complementadas con ensayos de laboratorio para identificarlas y cuantificarlas de manera más detallada.

De la calidad del macizo rocoso depende su conformación estructural, que puede ser cuantificado mediante las clasificaciones geomecánicas. Las más utilizadas en la actualidad en obras subterráneas, son la RMR (ROCK MASS RATING), y la de Barton (índice Q). En su utilización, se requiere un minucioso reconocimiento geológico, ya que, al no cuantificarse el factor de seguridad, existen ciertas limitaciones. Por otro lado, en el caso particular de Q, se puede obtener el mismo índice a partir de diferentes parámetros, procedentes de casos en los que se precisaron diferentes sostenimientos. La gran aportación de las clasificaciones geomecánicas ha sido la de parametrizar y establecer un lenguaje común entre geólogos, ingenieros y constructores.

El Área Minera Cambanas se encuentra ubicada en la parroquia San Carlos de las Minas, Cantón Zamora, Provincia de Zamora Chinchipe, en donde se ha realizado el Estudio Geológico Estructural de la Galería de Exploración, con la finalidad de proporcionar información geológica estructural a detalle, así como de la calidad del macizo rocoso, con esta información la empresa minera podrá analizar las estructuras geológicas, las cuales delimitan las zonas mineralizadas en yacimientos de Tipo Skarn como la presencia de fallas e intrusiones, también servirá para mediante criterios técnicos proponer un sistema de sostenimiento de la galería cumpliendo con los estándares de seguridad necesario.



ANTECEDENTES

Las Minas de Nambija han sido explotadas desde la época de la Colonia. En el año 1980 mineros redescubren las rocas con oro a la vista y trabajan silenciosamente por 2 años, en 1983 se da la fiebre del oro y aproximadamente 4000 personas realizan trabajos mineros en forma artesanal. Paralelamente se descubren otros sectores como Guayzimi, El Diamante, La Sultana, Campanillas, Cambana, La Fortuna, con características mineralógicas similares a Nambija, determinándose un distrito minero aurífero de 15 Km de largo por 2 Km de ancho (Prodeminca, 2000).

La actividad minera realizada por casi tres décadas de manera desordenada y caótica, ha provocado que el macizo rocoso se haya debilitado, generando deslizamientos y hundimientos que han dado como resultado pérdidas económicas, ambientales y sociales y que en la actualidad siguen poniendo en peligro a los trabajadores mineros y a la comunidad de Nambija. Un ejemplo claro de estos acontecimientos es el deslizamiento ocurrido en 1993, donde Nambija sufrió una las peores tragedias registradas en la historia. Un deslizamiento del cerro en el sector El Tierrero cubrió por completo la población denominada "Las Brisas" causando la muerte de más 1000 personas (Evaluación de las zonas inestables en el sector de "El Tierrero", (MRNN, 2010).

Las clasificaciones geomecánicas nacen desde el año 1946 por Terzaghi quien propuso la primera clasificación del terreno para la ejecución de túneles, en 1950 ganaron importancia en obras subterráneas y han sido utilizadas en diferentes obras mineras para estabilizar zonas de riesgo.

En el área de estudio no se encuentra registro de haber utilizado las clasificaciones geomecánicas. A pesar cabe recalcar que siempre ha presentado caída de pequeños pedazos de rocas.

Actualmente la mina se encuentra es fase de exploración y explotación con el Proyecto Cambanas en la cual se está delimitando los bloques mineralizados e implementando una planta de Tratamiento y Beneficio de 100 Ton/día.



Objetivo General

Elaborar el estudio geológico estructural y determinar la calidad del macizo rocoso de la galería de exploración T1 en el área minera Cambanas (código 246), ubicado en la Parroquia San Carlos de las Minas, Cantón Zamora, Provincia de Zamora Chinchipe.

Objetivos Específicos

- Realizar el mapeo geológico estructural a detalle de la galería de exploración en el área minera Cambanas sobre la base del levantamiento topográfico.
- Clasificar el macizo rocoso, según el método de Bieniawski (RMR) y Barton (Q).
- Realizar la correlación entre el método de Bieniawski (RMR) y Barton (Q) en la galería de exploración.

Alcance

El alcance del estudio contempla la realización de un mapa geológico estructural a detalle de la galería T1 que permitirá definir la disposición de las estructuras geológicas con la cual se determinará la calidad del macizo rocoso mediante las clasificaciones geomecánicas RMR de Bieniawski y Q de Barton en función de la litología y grado de fracturación. Además, se realizará una correlación entre las dos clasificaciones geomecánicas. Esta correlación permitirá obtener la calidad del macizo rocoso a partir de cualquier clasificación, en este caso la más factible de levantar en campo sería la Q de Barton debido a que utiliza parámetros medibles directamente en campo, es específica para obras subterráneas y no se requiere de ensayos de laboratorio.

El estudio servirá directamente al área minera Cambanas ya que la zona está atravesada por fallas en donde se podrá determinar mediante una correlación si en sus estructuras geológicas se presentan un posible comportamiento geomecánico inestable. Que en función de los resultados de las clasificaciones geomecánicas se incrementaría propuestas de estabilización.



4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Topografía

La topografía es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales (Ferrer, 1992).

4.1.1. Topografía Superficial

La topografía superficial tiene por objeto el estudio y análisis del conjunto de principios y procedimientos que son utilizados para hacer la representación gráfica de la superficie terrestre, con sus formas y particularidades, tanto naturales como artificiales. Asimismo, también se conoce como topografía el conjunto de detalles y características que presenta un terreno en su configuración superficial o su relieve. (Ingeniería Cartográfica Geodésica, s. f.).

4.1.2. Topografía subterránea

En principio los trabajos subterráneos siguen las mismas pautas que los realizados en el exterior, aunque con características especiales debidas a las condiciones mismas del trabajo bajo tierra. La falta de luz natural obliga a utilizar aparatos con iluminación interior, así como a identificar puntos a observar. La topografía subterránea nos permitirá saber los límites de la galería en estudio y así poder guiarnos adecuadamente en la galería (Ingeniería Cartográfica Geodésica, s. f.).

4.2. Geomorfología

La geomorfología es la ciencia que estudia las formas de la superficie terrestre y sus orígenes. Las formas del paisaje para mejor entendimiento tienen que dividirse en clases o grupos que incluyen todas aquellas formas que son similares, tanto en forma externa como en origen. (Clirsen, 2001)

4.2.1. Pendientes.

La pendiente expresa el grado de inclinación de la superficie terrestre con respecto a un plano horizontal. A mayor inclinación mayor valor de pendiente. Los valores de pendiente



se pueden expresar en grados, porcentaje y fracción. Las pendientes se encuentran asociadas con la composición litológica y condiciones como la densidad de vegetación y grado de saturación. (Clirsen, 2001)

Tabla 1: Rango de Pendientes

Etiqueta	Rango en % de pendiente	Descripción
Plano	0 – 2	Relieves completamente planos
Muy suave	2 – 5	Relieves casi planos
Suave	5 -12	Relieves ligeramente ondulados
Media	12 – 25	Relieves mediamente ondulados
Media Fuerte	25 – 40	Relieves mediana a fuertemente colinados
Fuerte	40 – 70	Relieves fuertemente disectados.
Muy Fuerte	70 – 100	Relieves muy fuertemente disectados.
Escarpada	>100	Relieves escarpados, con pendiente de 45 grados.

Fuente: Clirsen, (2001).

4.3. Geología

La geología investiga la historia y la evolución de las actividades de la tierra desde los tiempos más remotos hasta el momento actual, la composición, disposición y origen de las rocas y los minerales que forman la corteza terrestre y los procesos que han dado lugar a su presente estructura (Diez, 2005).

4.3.1. Rocas

Una roca es un agregado de uno o varios minerales que se encuentra de manera natural y en estado sólido en la corteza terrestre y el manto. Una roca es una sustancia sólida formada de manera natural. Las rocas se clasifican en ígneas, sedimentarias y metamórficas dependiendo de cómo se hayan originado. (Tarbuck y Lutgens; 2005).

4.3.1.1. Rocas Ígneas.

Las rocas ígneas se forman por el enfriamiento y solidificación de un magma, el magma es una roca fundida, o parcialmente fundida, bajo la superficie de la Tierra. Son rocas directamente producidas por procesos geológicos endógenos. Dependiendo del lugar donde se produzca la solidificación, las rocas ígneas pueden ser intrusivas o extrusivas. También dependiendo de la clase de magma y de su velocidad de enfriamiento se producen diferentes tipos rocas ígneas tanto intrusivas (granitos, dioritas o gabros) como extrusivas (riolitas, andesitas, dacitas, basaltos).



Andesita: La andesita es una roca de color gris medio, de grano fino y de origen volcánico. Su nombre procede de los Andes de América del Sur, donde numerosos volcanes están formados por este tipo de roca. Además de los volcanes de los Andes, muchas de las estructuras volcánicas que rodean el océano Pacífico son de composición andesítica. La andesita muestra frecuentemente una textura porfídica. La andesita contiene cantidades pequeñas de cuarzo.

4.3.1.2. *Rocas Sedimentarias.*

Las rocas sedimentarias se forman por la petrificación de los sedimentos. Los sedimentos son los materiales que se acumulan sobre la superficie de la Tierra por la acción de los procesos geológicos exógenos como son la erosión, el transporte y la sedimentación. Las rocas detríticas resultan de la acumulación de partículas sólidas, como granos de arena o cantos rodados (lutitas, areniscas, conglomerados). Las rocas sedimentarias químicas se originan a partir de la precipitación de una solución (calizas, dolomías, chert o sal gema).

Caliza: Está compuesta fundamentalmente del mineral calcita (CaCO_3) y se forma o bien por medios inorgánicos o bien como resultado de procesos bioquímicos. Con independencia de su origen, la composición mineral de toda la caliza es similar, aunque existen muchos tipos diferentes. Esto es cierto porque las calizas se producen bajo diversas condiciones. Las formas que tienen un origen bioquímico marino son con mucho las más comunes.

4.3.1.3. *Rocas Metamórficas.*

Las rocas metamórficas son las que proceden de la modificación textural y mineralógica de otras rocas ya existentes. Cuando rocas ígneas y sedimentarias son sometidas a condiciones de presión y/o temperaturas completamente diferentes a las que tenían cuando se formaron se producen variaciones en sus características. Dependiendo del tipo de roca que se modifica y de las nuevas condiciones de presión y/o temperatura a las que se sometan se producirán los distintos tipos de rocas metamórficas.

A las transformaciones de una roca debido a un incremento de la temperatura se le llama metamorfismo de contacto, y está relacionado con el ascenso de magmas y la formación de rocas plutónicas y volcánicas.



Skarn: Término que fue introducido por petrólogos metamórficos suecos para designar rocas metamórficas regionales o de contacto constituidas por silicatos de Ca, Mg y Fe derivados de un protolito de calizas y dolomitas en las cuales se ha introducido metasomáticamente grandes cantidades de Si, Al, Fe y Mg.

De modo que se entiende por skarn rocas que contienen minerales calcosilicatados, tales como, por ejemplo: diópsido, wollastonita, granate andradita y actinolita. Estas comúnmente ocurren en aureolas metamórficas de contacto en torno a plutones que intruyen secuencias calcáreas.

Hornfels (corneanas): Roca metamórfica compuesta principalmente de cuarzo, feldespato y mica formada mediante metamorfismo de contacto de pizarras y rocas sedimentarias afines. Son rocas generalmente de estructura masiva. Típicas de los contactos de los cuerpos ígneos, de textura fina. Son rocas oscuras, de brillo mate y colores opacos.

4.3.2. Mapeo Geológico

Es la representación de las formaciones geológicas con su respectiva litología, contactos, estructuras (pliegues, fallas, entre otros) y aspectos hidrológicos (fuentes y redes de drenajes) existentes en una zona determinada y representadas sobre un mapa topográfico.

El mapeo geológico es el proceso de transferir las observaciones de la geología realizadas en el campo. Un buen mapa geológico se genera casi por completo en el campo y tienen las siguientes características: (a) La información registrada debe ser objetiva, basada en un examen cuidadoso de las rocas y las exposiciones y con una mente abierta y sin ideas preconcebidas. (b) Se deben mostrar tanto los datos observados positivamente como lo interpretado, pero el usuario debe poder distinguir claramente entre la información que fue observada en el lugar (datos) y las inferencias que se hicieron de las observaciones geológicas (interpretación). Por ejemplo, los contactos estratigráficos que se observan en el afloramiento son claramente distinguidos de los que se basan en el mapeo de float (fragmentos de roca dispersos sobre el suelo), a partir de los suelos o por fotointerpretación. (c) Las relaciones geológicas/temporales entre unidades, estructuras, etc. deben ser consistentes en todo el mapa. (d) Los datos se deben mostrar en un nivel de detalle que corresponda a la escala del mapa, el mapa no debe contener excesiva información que lo torne confuso e imposible de leer ni estar escaso de datos.



4.3.2.1. Levantamiento Geológico a Detalle

Existen varios tipos de condiciones naturales que pueden generar problemas de inestabilidad al excavar una galería, como son: la orientación desfavorable de discontinuidades, la orientación desfavorable de los esfuerzos in situ respecto al eje del túnel, el flujo de agua hacia el interior de la excavación a través de fracturas, acuíferos o rocas kársticas, la formación de bloques inestables por combinación de algunas familias de discontinuidades sobre el contorno abierto de la galería, zonas de debilidad como fallas o alteraciones importantes, suelos débiles, etc.

La estructura geológica ejerce una gran influencia en la estabilidad de la galería. En general, se considera que las orientaciones de discontinuidades perpendiculares a la dirección de avance de la galería son situaciones muy desfavorables, en especial cuando buzan contrarias a dicho avance.

Se deberá realizar el reconocimiento geológico en campo que consiste en identificar las diferentes unidades litológicas y los datos estructurales de las principales discontinuidades existentes en el macizo rocoso, así como la existencia de estructuras mayores; dicho reconocimiento, se recomienda efectuarlo en la zona del eje del trazo a partir de los afloramientos expuestos en el terreno natural de la ladera donde se emplazará la galería y en zonas aledañas a la galería.

4.4. Geología Estructural

La geología estructural estudia la arquitectura de la corteza terrestre y cómo adquirió este aspecto en la medida en que fue consecuencia la deformación, es decir que relaciona los procesos mecánicos, deformaciones y movimientos originados en la corteza terrestre. (Tarbuck y Lutgens; 2005).

4.4.1. Estructuras Geológicas.

El comportamiento de las rocas en respuesta al campo tectónico depende de varios factores: tipo de roca, la presión de confinamiento, la tasa de aplicación de las cargas, los fluidos inter granulares y los cambios ambientales.

- **Pliques:** Como resultado de la deformación de las rocas debida a las fuerzas naturales, se forman varios tipos de estructuras. A altas presiones y temperaturas,



a gran profundidad, las rocas se comportan dúctilmente, dando lugar a pliegues anticlinales y sinclinales.

- **Diaclasas:** Cuando se excede la resistencia de las rocas frente a la acción de fuerzas naturales, éstas se fracturan o se dislocan. Las diaclasas que se forman por tracción son rugosas y, por lo menos, recién se han formado, son abiertas. Estas aberturas se pueden rellenar con algún material, Además, las diaclasas pueden tener cualquier grado de continuidad no presentan desplazamiento de sus estructuras. Las diaclasas, conjuntamente con otros planos estructurales tales como, superficies de estratificación o planos de foliación, constituyen discontinuidades estructurales, que separan bloques de diferente tamaño, los cuales forman en conjunto los macizos rocosos.
- **Fallas Geológicas:** Las fallas geológicas se definen como dislocaciones de la corteza terrestre, es decir, fracturas a lo largo de las cuales se producen importantes deslizamientos relativos. La magnitud de estos desplazamientos puede ser de algunos metros, pero en la medida que las fallas son más antiguas, la magnitud acumulada de los desplazamientos puede alcanzar varios centenares de metros y aún kilómetros.
- **Discordancias:** Las discordancias representan interrupciones en el registro estratigráfico (miles a millones de años), debido a cambios en las condiciones paleogeográficas que permiten la interrupción del depósito. Una discordancia debe interpretarse normalmente como una elevación del terreno por encima del nivel del mar, acompañado de la erosión de algunos estratos, de tal manera que las capas situadas arriba y abajo de la superficie de la discordancia revelan alguna inconformidad (Docentes.unal.edu, s.f.).

4.5. Yacimientos Minerales

Los procesos que llevan a la diferenciación de un magma, o a la formación de una roca sedimentaria o metamórfica implican en ocasiones transformaciones profundas químico-mineralógicas. Es durante el curso de esos procesos que algunos elementos o minerales pueden concentrarse selectivamente, muy por encima de sus valores "normales" para un tipo determinado de roca, dando origen a concentraciones "anómalas" que de aquí en adelante denominaremos "yacimientos minerales" (Lunar & Oyarzun, 1991).



4.5.1. Yacimientos tipo Skarn

Es un tipo de yacimiento que se caracteriza por ser un intrusivo más rocas carbonatadas y con mineralogía tipo (granate cálcico, piroxeno, anfíbol y epidota). Se forma a partir de un intrusivo encajonado en rocas carbonatadas (caliza o dolomía) y presenta metasomatismo de contacto. Se forman a temperaturas de entre 800 y 500 °C en la zona Hipabisal (5-7 km de profundidad). Se asocia a la intrusión generando metamorfismo de contacto, después viene el metasomatismo por presencia de fluidos y finalmente tenemos una etapa hidrotermal. (Lunar & Oyarzun, 1991).

4.5.2. Yacimientos Hidrotermales

También conocidos como filonianos según su temperatura de formación suelen estar en función de la mayor o menor profundidad a la roca ígnea que la derivan y están constituidas por ciertos elementos y sustancias en solución (F, Cl, B, CO₂, S, Fe, Cu, Pb, Zn, Au, Ag, Sb, Ba, Ca, etc.; produciendo efectos de metasomatismo y relleno en las rocas de caja. los yacimientos resultantes se llaman hipotermales, cuando se forman a más de 3000C, mesotermales, cuando lo hacen entre 150 y 300°C, y epitermales a menor temperatura (Lunar & Oyarzun, 1991).

4.6. Minería

La minería es una actividad económica que comprende el proceso de extracción, explotación y aprovechamiento de minerales que se hallan en la superficie terrestre con fines comerciales. Es la aplicación de la ciencia, técnicas y actividades que tienen que ver con el descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales, etc... (Annels, 1991).

4.6.1. Mina.

Una mina es la excavación que tiene como propósito la explotación económica de un yacimiento mineral, que puede ser a cielo abierto o subterráneo. Mientras que el Código de Minas la define como un yacimiento, formación o criadero de minerales o de materias fósiles, útil y aprovechable económicamente, ya se encuentre en el suelo o el subsuelo. (Annels, 1991).

4.6.2. Fases de la Minería.

Se pueden identificar siete fases de la actividad minera:



- **Prospección:** es la búsqueda de indicios de nuevas áreas mineralizadas, mediante cateos en que se busca anomalías geológicas en la superficie.
- **Exploración:** consiste en la determinación del tamaño y forma del yacimiento, así como del contenido y calidad del mineral en él existente. La exploración incluye también la evaluación económica del yacimiento. Esta fase comprende las siguientes actividades: mapeo geológico; muestreo geoquímico de sedimentos a lo largo de drenajes; muestreo sistemático de suelo y líneas de geofísica; y, muestreo de afloramientos y sondajes.
- **Explotación:** es el conjunto de operaciones, trabajos y labores mineras destinadas a la preparación y desarrollo del yacimiento y a la extracción y transporte de los minerales. Entre sus principales actividades se encuentran: apertura y/o mejora de vías; instalación de campamentos y equipos de producción; extracción, triturado, transporte, molienda y concentración; construcción y operación de escombreras y depósito de relaves; transporte de concentrados a puerto marítimo; y cierre de la mina.
- **Beneficio:** comprende el tratamiento de los minerales explotados para elevar el contenido útil o ley de los mismos.
- **Fundición:** son los procedimientos técnicos destinados a separar los metales de los correspondientes minerales o concentrados producidos en el beneficio.
- **Comercialización:** consiste en la compraventa de minerales o la negociación de contratos que tengan por objeto la negociación de cualquier producto resultante de la actividad minera. (Annels, 1991).

4.6.3. Sistemas de Explotación Minera.

Las minas pueden ser divididas siguiendo varios criterios. El más amplio tiene en cuenta si las labores se desarrollan por encima o por debajo de la superficie, dividiéndolas, respectivamente, en minas a cielo abierto y en minas subterráneas.

- **Minería de superficie:** es la que se desarrolla sobre la superficie de la tierra, de manera progresiva por capas o terrazas en terrenos previamente delimitados. Este tipo de minería se aplica en sitios donde los minerales están a poca profundidad. (Pardo, 2009).



- **Minería Subterránea:** es la que desarrolla su actividad de explotación en el interior de la tierra a través de túneles, ya sean verticales u horizontales. En las minas, se trabaja desde una chimenea de acceso y se establecen niveles a intervalos regulares, así como también, a partir de varios túneles de acceso con diferente altura, o de rampas de acceso que unen diferentes niveles.

4.6.4. Labores Mineras.

Una mina es una secuencia de distintas excavaciones mineras que el hombre construye para, a través de ellas, penetrar en la corteza terrestre, conducir herramientas, materiales, energía, aire fresco, agua y conducir a la superficie los minerales, eliminar el aire viciado y evacuar el agua que entorpece el trabajo. En la que tenemos las siguientes:

- **Chimenea:** es una excavación subterránea vertical de forma ascendente con salida directa a la superficie, destinada a servir los trabajos subterráneos, que sirven para el ascenso del mineral y las rocas a la superficie, los auxiliares para la entrada y salida de las personas, los materiales, los equipos, etc. y los de ventilación para alimentar aire fresco a la mina y extraer el aire viciado.
- **Pique:** Es una excavación subterránea vertical construida de forma descendente que tiene salida directa a la superficie y está destinada a bajar por ella mineral por gravedad desde donde se carga directamente a los medios de transporte.
- **Galería transversal:** Es una excavación subterránea que no tiene salida directa a la superficie, une el pozo con el yacimiento y está destinada a tránsito del personal, al transporte del material y a la ventilación.
- **Galería de mina:** Es una excavación subterránea que no tiene salida directa a la superficie, se laborea según el rumbo del yacimiento.
- **Crucero:** Es una excavación que no tiene salida directa a la superficie y que se laborea transversalmente al yacimiento. Está destinada a la organización del transporte y a la exploración.
- **Pendiente:** Es una excavación que no tiene salida directa a la superficie y se laborea por el buzamiento del cuerpo de abajo hacia arriba, destinada al descenso de cargas con medios mecánicos.



4.7. Geotecnia

La Geotecnia es la rama de la Ingeniería que se ocupa del estudio de la interacción de las construcciones con el terreno. Se trata por tanto de una disciplina no sólo de la Ingeniería Civil, sino también de otras actividades, como la Arquitectura y la Ingeniería Minera, que guardan relación directa con el terreno. (Duque Escobar Gonzalo; 2003).

4.7.1. Macizo rocoso.

Un macizo rocoso es un conjunto de matriz rocosa y discontinuidades que presenta diferente comportamiento, considerándola como heterogénea y anisotropía. (Duque Escobar Gonzalo; 2003)

4.7.2. Matriz rocosa

Es el material rocoso exento de discontinuidades, o bloques de roca intacta que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. Mecánicamente queda caracterizada por su peso específico, resistencia y deformabilidad (González de Vallejo, 2004).

La competencia de la matriz rocosa puede ser representada por la resistencia a compresión simple, la cual puede ser determinada a partir de las siguientes formas:

- **Ensayo de compresión uniaxial:** Es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial, determinada sobre una probeta cilíndrica sin confinar en el laboratorio, y viene dada por:

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} = \frac{\text{Fuerza compresiva aplicada}}{\text{Área de compresión}} \quad (I)$$

- **Ensayo de carga puntual:** También denominado PLT (point load test) o ensayo Franklin. Se utiliza para determinar la resistencia a compresión simple de fragmentos irregulares de roca o de testigos cilíndricos de sondeos, a partir del índice I_s obtenido en el ensayo. Los resultados son más fiables si se ensayan testigos. El ensayo no está indicado para rocas blandas o con anisotropía muy marcada (esquistos, pizarras, etc.). A partir de la carga de rotura se obtiene un índice, I_s , que puede ser correlacionado con la resistencia a compresión simple del material ensayado.



$$I_s = \frac{P}{D^2} = \frac{\text{Carga de rotura}}{\text{Diametro de la probeta}} \quad (2)$$

- Rebote del martillo Schmidt:** Este ensayo permite estimar de forma aproximada la resistencia a compresión simple mediante una sencilla correlación, siendo aplicable fundamentalmente a matriz rocosa, pero también a discontinuidades. Su uso está muy extendido dada la facilidad y rapidez de utilización.

Los valores de rebote obtenidos se correlacionan mediante un ábaco, el gráfico de Miller (figura. 1) que tiene en cuenta la densidad de la roca y la orientación del martillo respecto al plano de roca ensayado de acuerdo a la tabla 2. mediante el método de ISRM se clasifico la resistencia a la carga puntual.

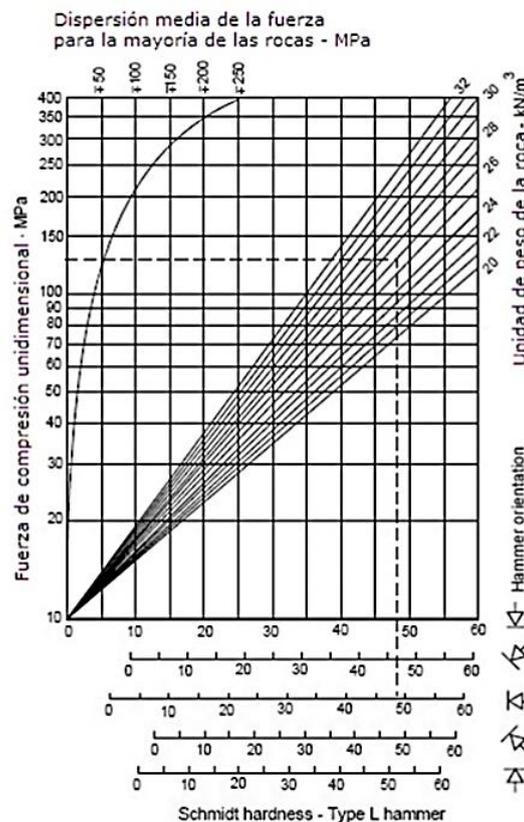


Figura. 1: Correlación para el martillo Schmidt entre resistencia a compresión, densidad de la roca y rebote

Fuente: Miller; 1965

4.7.3. Discontinuidades.

Las discontinuidades condicionan de una forma definitiva las propiedades y el comportamiento resistente, deformacional e hidráulico de los macizos rocosos, La resistencia al corte de las discontinuidades es el aspecto más importante en la

determinación de la resistencia de los macizos rocosos duros fracturados, y para su estimación es necesario definir las características y propiedades de los planos de discontinuidad (González de Vallejo, 2004).

4.7.4. Dominio estructural y estructura del macizo rocoso.

El dominio estructural es la masa de roca delimitada por discontinuidades geológicas, dentro de la cual, la estructura es prácticamente homogénea.

Estructura del macizo rocoso es el conjunto de fallas, pliegues y demás características geológicas que definen una determinada región, en la que existen una serie de dominios estructurales perfectamente definidos y diferenciados entre sí. La estructura del macizo rocoso comprende también los rasgos característicos de la textura y la asociación de uno o más tipos de roca. (Hernán Gavilanes y Byron Andrade; 2004),

Orientación: La orientación de una discontinuidad en el espacio queda específica por su dirección de buzamiento (dirección de la línea de máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al norte) y por su buzamiento (inclinación respecto a la horizontal de dicha línea), en la figura 2 se observa los elementos de orientación en un plano de discontinuidad.

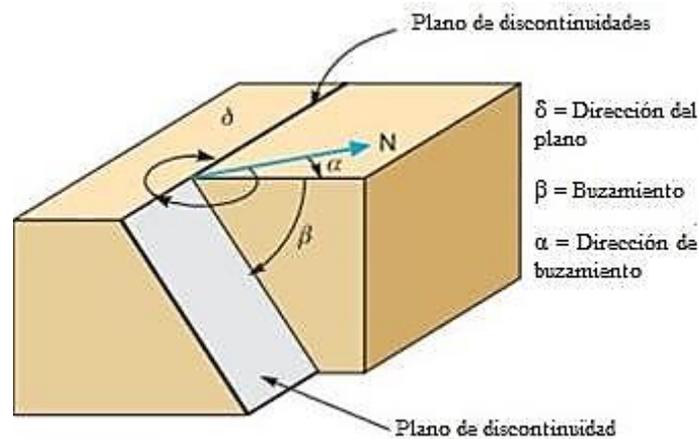


Figura. 2: Medidas de Orientación de Discontinuidades

Fuente: González de Vallejo, 2004

La orientación de unas discontinuidades con respecto a otras determinará la forma de los bloques. Es conveniente medir un número de orientaciones para definir las diversas familias de diaclasas. De acuerdo con la orientación de las discontinuidades se determinará el grado de estabilidad, si la orientación es paralela creara mayor



inestabilidad, a más de esto se debe observar el buzamiento de las discontinuidades con respecto al buzamiento y a la dirección de taludes. (González de Vallejo; 2004)

4.8. Clasificaciones Geomecánicas

Todas las medidas de las características y propiedades de la matriz rocosa, las discontinuidades y los parámetros del macizo rocoso anteriormente mencionadas, serán necesarios para la evaluación geomecánica global del macizo.

4.8.1. Clasificación según Bieniawski (R.M.R.)

Desarrollado por Bieniawski, (1989) constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento de túneles. El parámetro que define la clasificación es el denominado índice RMR (ROCK MASS RATING), que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

- a) Resistencia a compresión simple de la matriz rocosa.
- b) R.Q.D. Grado de fracturación del macizo rocoso.
- c) Espaciado de las discontinuidades.
- d) Condiciones de las discontinuidades
- e) Presencia del agua.
- f) Orientación de las discontinuidades.

$$RMR = (a) + (b) + (c) + (d) + (e) - (f) \quad (3)$$

4.8.1.1. Los parámetros en la clasificación RMR.

- a) **Resistencia a compresión simple:** En función a los ensayos de laboratorio.

Tabla 2. Parámetro: Resistencia a compresión simple.

Descripción	Resistencia a Compresión Simple (MPa)	Ensayo de Carga Puntual (MPa)	Valoración
Extremadamente dura	> 250	> 10	15
Muy dura	100 - 250	4 - 10	12
Dura	50 - 100	2 - 4	7
Moderadamente dura	25 - 50	1 - 2	4
Blanda	5 - 25		2
Muy blanda	1 - 5		1
	<1	<1	0

Fuente: Bieniawski, 1989

- b) **Índice de Calidad de la Roca (RQD):** en función del número de discontinuidades en un metro cubico, descrita en la siguiente tabla.



Tabla 3. Parámetro: Índice de Calidad de la Roca (RQD).

Índice de Calidad RQD (%)	Calidad	Valoración
0 - 25	Muy mala	3
25 - 50	Mala	8
50 - 75	Regular	13
75 - 90	Buena	17
90 - 100	Excelente	20

Fuente: Bieniawski, 1989

- c) **Espaciado de las discontinuidades:** La separación o el espaciamiento de las discontinuidades está clasificada según la tabla que a continuación se observa:

Tabla 4. Parámetro: Espaciado de las discontinuidades.

Descripción	Espacio de las juntas	Tipo de macizo rocoso	Valoración
Muy separadas	> 2 m	Sólido	20
Separadas	0,6 – 2 m	Masivo	15
Moderadamente juntas	200 – 600 mm	En bloques	10
Juntas	60 – 200 mm	Fracturado	8
Muy juntas	< 60 mm	Manchado	5

Fuente: Bieniawski, 1989

- d) **Condiciones de las discontinuidades:** Están clasificadas según las tablas que a continuación se observa:

La abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes de una discontinuidad abierta. La abertura de las discontinuidades esta descrita en la tabla 5.

Tabla 5. Parámetro: Abertura de las discontinuidades.

Grado	Descripción	Separación de las caras (mm)	Valoración
1	Abierta	> 5	0
2	Moderadamente abierta	1 – 5	1
3	Cerrada	0,1 – 1	4
4	Muy cerrada	< 0, 1	5
5	Ninguna	0	6

Fuente: Bieniawski, 1989

La persistencia describe la extensión de las discontinuidades. (Gavilanes H & Andrade B, 2004). Las longitudes se describen en la tabla 6.

Tabla 6. Parámetro: Persistencia de las discontinuidades.

Grado	Descripción	Persistencia (m)	Valoración
1	Muy baja	< 1	6
2	Baja	1 – 3	4
3	Media	3 – 10	2
4	Alta	10 – 20	1
5	Muy alta	> 20	0

Fuente: Bieniawski, 1989



La rugosidad de una discontinuidad es el factor determinante de la resistencia al cizallamiento. Su importancia disminuye al aumentar la abertura, al espesor de relleno o cualquier desplazamiento sufrido con anterioridad, la descripción de las rugosidades puede ser limitadas a términos descriptivos basándose en dos escalas de observación: pequeña escala en centímetros; escala intermedia en metros. (tabla 7).

Tabla 7. Parámetro: Rugosidad de las discontinuidades.

Grado	Descripción	Valoración
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	Plano (espejo de falla)	0

Fuente: Bieniawski, 1989

El relleno según Hernán Gavilanes y Byron Andrade (2004), este término describe el material que se encuentra separando las paredes adyacentes de una discontinuidad, por ejemplo: calcita, cuarzo, clorita, yeso, arcilla, limo, brecha de falla entre otros. Generalmente, pero no siempre el relleno es más débil que la pared de las discontinuidades y puede tener una consistencia granular, sólida o fluida (tabla 8)

Tabla 8. Parámetro: Relleno de las discontinuidades.

Grado	Descripción (mm)	Valoración
1	Blando > 5	0
2	Blando < 5	2
3	Duro > 5	2
4	Duro < 5	4
5	Ninguno	6

Fuente: Bieniawski, 1989

La alteración es el factor determinante de la resistencia al cizallamiento del macizo rocoso. Es más estable si no está alterada por agentes alternos (tabla 9).

Tabla 9. Parámetro: Alteración de las discontinuidades.

Grado	Descripción	Valoración
1	Descompuesta	0
2	Muy alterada	1
3	Moderadamente alterada	3
4	Ligeramente alterada	5
5	No alterada	6

Fuente: Bieniawski, 1989

- e) **Presencia de agua:** Para calcular la valoración según la presencia del agua se toma como referencia la tabla que a continuación se especifica:



Tabla 10. Parámetro: Presencia de agua.

Caudal 10 m de túnel	Relación presión agua-tensión	Descripción	Valoración
Nulo	0	Seco	15
< 10 litros/min	< 0,1	Ligeramente húmedo	10
10 – 25 litros/min	0,1 – 0,2	Húmedo	7
25 – 125 litros/min	0,2 – 0,5	Goteando	4
> 125 litros/min	> 0,5	Fluyendo	0

Fuente: Bieniawski, 1989

- f) **Orientación de las discontinuidades:** se debe clasificar la roca de acuerdo al rumbo y buzamiento con respecto a la obra civil que se va a ejecutar, esta clasificación se especifica a continuación:

Tabla 11. Parámetro: Orientación de las discontinuidades con respecto a la obra.

Rumbo perpendicular al eje de la obra				Rumbo paralelo al eje de la obra		Buzamiento 0-20° independiente del rumbo
Dirección según buzamiento		Dirección contra buzamiento		Buzam.	Buzam.	
Buzam. 45°- 90°	Buzam. 20°- 45°	Buzam. 45°- 90°	Buzam. 20°- 45°	Buzam. 45°- 90°	Buzam. 20°- 45°	Desfavorable
Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular	
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10

Fuente: Bieniawski, 1989

Para obtener el Índice RMR de Bieniawski se suma las variables o parámetros calculados, eso da como resultado un valor índice (RMR).

Tabla 12. Calidad de macizo rocoso con relación al RMR.

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión(kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
I	Muy buena	100– 81	> 4	> 45
II	Buena	80 - 61	3 - 4	35 - 45
III	Media	60 - 41	2 - 3	25 - 35
IV	Mala	40 - 21	1 - 2	15 - 25
V	Muy mala	< 20	< 1	< 15

Fuente: Bieniawski, 1989

4.8.2. Clasificación de Barton, Lien y Lunde. (Índice Q)

El Tunnelling Quality Index, o sistema Q, fue desarrollado por Barton y sus colaboradores en 1974 y en años posteriores, al igual que el RMR también utiliza 6 parámetros para estimar el comportamiento del macizo rocoso:

- Rock Quality Design (RQD).
- Número de familia de juntas o discontinuidades (Jn).
- Rugosidad de las juntas (Jr).
- Grado de alteración de las juntas (Ja).



- e) Presencia de agua (Jw).
- f) Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor (SRF).

4.8.2.1. Los parámetros en la clasificación de Q de Barton.

- a) **Rock Quality Design (RQD).** Se mide en porcentaje y los valores inferiores al 25% nos indican un macizo muy fracturado y de una calidad muy mala mientras que, en el otro extremo, los valores de RQD superiores al 90% nos indican un macizo rocoso nada o muy poco fracturado y por tanto de calidad excelente (tabla 13).

Tabla 13. Calidad de RQD en la Q de Barton.

Descripción de la calidad del macizo rocoso	R.Q.D (%)	Observaciones
Muy mala	0-25	Para R.Q.D <10 se puede tomar R.Q.D =10 en la ecuación de Q.
Mala	25-50	
Regular	50-75	
Buena	75-90	
Excelente	90-100	

Fuente: Barton, et. 1974

- b) **Número de familia de juntas o discontinuidades (Jn).** Es el índice de diaclasado. De forma similar el RQD, nos indica el grado de fracturación del macizo rocoso. Presenta unos valores comprendidos entre 0,5 para rocas masivas sin diaclarar y un valor de 20 para rocas trituradas pasando por una, dos, tres, cuatro o más familias de discontinuidades (tabla 14).

Tabla 14. Valoración del índice de diaclasado (Jn)

Descripción	Jn
Roca masiva	0.5-1
Una familia de diaclasas	2
Una familia de diaclasas y algunas diaclasas ocasionales	3
Dos familias de diaclasas	4
Dos familias de diaclasas y algunas diaclasas ocasionales	6
Tres familias de diaclasas	9
Tres familias de diaclasas y algunas diaclasas ocasionales	12
Cuatro o más familia de diaclasas, roca muy fracturada	15
Roca triturada terrosa	20
En boquillas, se utiliza 2 jun y en túneles 3jun	

Fuente: Barton, et. 1974

- c) **Rugosidad de las diaclasas (Jr).** Es el índice de rugosidad de las discontinuidades o juntas. Contiene 9 clasificaciones desde A hasta J diferenciándose dos grupos: por un lado, las diaclasas que están en contacto o



cuyas caras están en contacto ante un desplazamiento inferior a 10 cm y aquellas juntas que no estarán en contacto ante desplazamientos cortantes (tabla 15).

Tabla 15. Valoración del índice de rugosidad (Jr).

Contacto entre las 2 caras de las diaclasas con poco desplazamiento lateral de menos de 10cm	Jr
Juntas discontinuas	4
Juntas rugosas o irregular ondulada	3
Suave ondulada	2
Espejo de falla, ondulada	1.5
Rugosa o irregular, plana	1.5
Suave plana	1
Espejo de falla, plano	0.5
No existe contacto entre las 2 caras de las diaclasas cuando ambas se desplazan lateralmente	Jr
Zona de contenido de minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de las diaclasas	1
Arenas, gravas o zona de fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras de las diaclasas	1

Nota: si el espaciado de la familia de las diaclasas es mayor de 3m hay que aumentar el Jn en una unidad.
Para diaclasas con espejo de falla provisto de lineaciones, si están orientadas favorablemente, se puede usar Jr = 0.5

Fuente: Barton, et. 1974

- d) Agua en las diaclasas (Jw).** Factor de reducción por la presencia de agua. Se trata de un coeficiente que minora el índice Q en función de la entrada de agua a la excavación (tabla 16).

Tabla 16. Factor de reducción de presencia de agua (Jw).

Descripción	Jw	Presión del agua Kg/cm ²
Excavaciones secas o de influencia poco importante	1	<1
Fluencia o presión medias, ocasional lavado de los rellenos de las diaclasas	0.66	1-2.5
Fluencia grande o presenta alta, considerable lavado de los rellenos de las diaclasas	0.33*	2.5-10
Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas, decayendo con el tiempo	0.1- 0.2*	>10
Fluencia o presión de aguas excepcionalmente altas y continuas, sin disminución.	0.05- 0.1*	>10

Los valores presentados con el signo* son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar Jw.

Fuente: Barton, et. 1974

- e) Meteorización de las diaclasas (Ja).** Es el índice de alteración de las discontinuidades, mide las alteraciones de las juntas. Se distinguen tres grupos dependiendo de si están o no en contacto los planos de discontinuidad (tabla 17).



Tabla 17. Valor índice de alteración de las discontinuidades

Descripción	Ja	o°
Contacto entre las 2 caras de las diaclasas		
Junta sellada dura, sin reblandecimiento impermeable como por ejemplo cuarzo en paredes sanas	0.75	25-30
Cara de la junta únicamente manchadas	1	25-30
Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales blandos partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla	2	25-30
Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fricción arcillosa no reblandecible.	3	20-25
Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción como caolinita, clorita talco yeso, grafito y pequeñas cantidades de arcillas expansivas. Los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 o 2mm.	4	8-16
Contacto entre las 2 caras de las diaclasas con < de 10cm desplazamiento lateral		
Partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla	4	25-30
Fuertemente sobre consolidados rellenos de minerales arcillosos no blandos, los recubrimientos son continuos de menos de 5mm de espesor	6	16-24
Sobre consolidación media a baja, blandos, rellenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos de < de 5mm de espesor.	8	12-16
Rellenos de arcilla expansiva, de espesor continuo de 5mm. El valor de Ja dependerá del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva	8-12	6-12
No existe contacto entre las 2 caras de la diaclasa cuando esta cizallada.		
Zonas o bandas de roca desintegrada o manchada y arcilla	6-8-12	6-24
Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fricción de arcilla no blandas.	5	6-24
Granos arcillosos gruesos	13 20	6-24

Fuente: Barton, et. 1974

- f) **Tensiones en las excavaciones S.R.F.** Es un factor que evalúa el estado tensional del macizo rocoso Se distinguen 4 grupos para evaluar el coeficiente SRF (tabla 18).

Tabla 18. Valoraciones SFR.

1.- zona débil que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques	S.R.F
A. Varias zonas débiles contenido arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta al rededor	10
B. Solo una zona débil contenido arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50m).	5
C. Solo una zona débil contenido arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50m).	2.5
D. Varias zonas de fractura en roca competente libre de arcilla, roca suelta alrededor (cualquier profundidad).	7.5
E. Solo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (profundidad de excavación < 50m).	5
F. Solo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (profundidad de excavación < 50m).	2.5
G. Diaclasas abiertas sueltas, muy fracturadas. Cualquier profundidad.	5
2.- rocas competentes con problemas tensionales en las rocas	σc / σ1 σt / σ1 S.R.F
H. Tensiones superficie. pequeñas	>200 >13 2.5



I. Tensiones medias.	200-10 13-0.33	1.0
J. Tensiones altas estructura muy compacta, favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales	10-5 0.66-0.33	0.5-2.0
K. Explosión de roca suave (roca masiva)	5-2.5 0.33-0.16	5-10
L. Explosión de roca fuerte (roca masiva)	<2.5 <0.16	10-30
3.- rocas fluyentes, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostática.		S.R.F
M. Presión de flujo suave		5-10
N. Presión de flujo intensa		10-20
4.- roca expansiva, actividad expansiva química dependiendo de la presencia del agua		S.R.F
O. Presión expansiva suave		5-10
P. Presión expansiva intensa		10-15

Observaciones: reducir los valores de SRF en unos 25 a 50% si las zonas de rotura solo influyen, pero no interceptan a la excavación.

En los casos que la profundidad de las claves del túnel sea inferior a la altura del mismo se sugiere aumentar el SRF de 2.5 a 5.

Para campos de tensiones muy anisótropos cuando $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$, reducir el σ_c y σ_t a $0.8\sigma_c$ y $0.8\sigma_t$

Fuente: Barton, et. 1974

Sugerencias para el uso de las tablas.

Cuando no se disponen de sondeos, el RQD se estima a partir de los afloramientos, mediante el índice volumétrico de juntas J_v .

En el parámetro J_n , puede estar afectado por la foliación, esquistosidad y laminaciones. Si las diaclasas paralelas están suficientemente desarrolladas, se contabilizan como diaclasas ocasionales.

Se tomarán los valores de los parámetros J_r y J_a de la familia de las diaclasas o discontinuidades rellenas de arcilla más débil de la zona, pero hay que elegir en primer lugar las diaclasas de orientación desfavorable, aunque no den el valor mínimo del cociente J_r/J_a

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SFR} \quad (4)$$

La valoración de los parámetros antes mencionados da como resultado una calidad del macizo rocoso que puede ir de excepcionalmente mala a excepcionalmente buena (tabla 19)



Tabla 19. Clasificación del macizo rocoso según Q de Barton

Tipo de roca	Valor de Q
Excepcionalmente mala	$10^{-3} - 10^{-2}$
Extremadamente mala	$10^{-2} - 10^{-1}$
Muy mala	$10^{-1} - 1$
Mala	1-4
Regular	4-10
Buena	10-40
Muy buena	40-100
Extremadamente buena	100-400
Excepcionalmente buena	400-1000

Fuente: Barton, et. 1974

4.9. Correlaciones Geomecánicas entre RMR y Q (Bieniawski 1976)

El sistema RMR, desarrollado por South African Council of Scientific and Industrial Research, y el sistema Q, desarrollado por Norwegian Geotechnical Institute, se han consolidado como los métodos de clasificación del macizo rocoso más empleados en todo el mundo. Dado que ambos sistemas de clasificación dividen el macizo rocoso en distintas clases de similares características que pueden ser fácilmente evaluables mediante observaciones visuales o simples, se puede esperar que exista una correlación entre ambas. Desde la primera correlación presentada por Bieniawski en 1976, numerosos autores han presentado diferentes correlaciones basadas en análisis de regresión de datos de RMR y Q obtenidos de proyectos de túneles y minas en distintas partes del mundo.

Las clasificaciones más utilizadas en la actualidad en obras subterráneas, son la RMR (Índice FMR) y la de Barton (índice Q). En su utilización, se requiere un minucioso reconocimiento geológico, ya que, al no cuantificarse el factor de seguridad, existen ciertas limitaciones. Ambas clasificaciones “se complementan y correlacionan entre sí” (Barton y Bieniawski, 2007).

$$RMR = 9 * \ln Q + 44 \quad (5)$$

$$RMR = 9 * \ln Q + 44 \pm 18 \quad (6)$$

A partir de esta fórmula se han ido sucediendo diferentes correlaciones entre las dos clasificaciones, indicándose en la tabla 20 algunas de las más relevantes.



Tabla 20. Principales correlaciones establecidas entre el sistema RMR y Q.

Autor, año	Proveniencia de los datos	Correlación	R/R ²
Rutledge and Preston, 1978	9 túneles en Nueva Zelanda	$RMR = 5.9 * \ln Q + 43$	$R = 0,81$ $R^2 = 0,66$
Cameron-Clarke and Budavari, 1981	Túneles en Sudáfrica	$RMR = 5 * \ln Q + 60.8$	Mucha dispersión
Moreno Tallón, 1982	4 túneles en España	$RMR = 5.4 * \ln Q + 55.2$	$R = 0,55$ $R^2 = 0,30$
Celada Tamames, 1983	España	$RMR = 43.89 * \ln Q - 9.19$	
Abad <i>et al.</i> , 1983	Minas de carbón	$RMR = 10.5 * \ln Q + 41.8$	$R = 0,66$ $R^2 = 0,44$
Kaiser <i>et al.</i> , 1986	Túnel de Wolverine West	$RMR = 6.3 * \ln Q + 41.6$	
Sunwo and Hwang, 2001	Distintas litologías en Corea del Sur	$RMR = 5.97 * \ln Q + 49.5$	$R = 0,89$ $R^2 = 0,79$
Castro-Fresno <i>et al.</i> , 2010	Túneles en suelos de baja calidad	$RMR = 6.63 * \ln Q + 35.53$	$R = 0,70$ $R^2 = 0,49$
Alkorta-Lertxundi and Bernardo-Sanchez, 2010	Túneles de la VSM (Vizcaya, España)	$RMR = 5.9 * \ln Q + 43$	$R = 0,89$ $R^2 = 0,79$
Alkorta-Lertxundi <i>et al.</i> , 2014	Proyecto de túnel en Vizcaya, España	$RMR = 6.7 * \ln Q + 45.4$	$R = 0,94$ $R^2 = 0,884$
Sayeed and Khanna, 2015	India	$RMR = 4.52 * \ln Q + 43.6$	$R = 0,86$ $R^2 = 0,736$

Fuente: Fernández J D, 2017

Algunos autores han demostrado que las correlaciones propuestas para unidades litológicas similares presentan coeficientes de correlación más altos que las que abarcan distintos tipos de roca. Cuando han pretendido agrupar los datos de distintas litologías, la correlación obtenida no ha sido tan exacta. Por lo tanto, parece lógico que se deba proponer una correlación para cada tipo de roca.

La correlación entre los dos sistemas de clasificación se realiza mediante una regresión lineal. Una prueba de la aplicabilidad de la clasificación RMR para evaluar los macizos rocosos de muy mala calidad se obtiene de la observación de los numerosos casos históricos, donde se muestra una correlación entre el RMR₈₉ y el Q₉₄ publicada en un año tan temprano como 1976. En la (figura 3) se observa una notable dispersión de resultados. Por lo tanto, deben emplearse ambas clasificaciones para comprobar que es aplicable la correlación

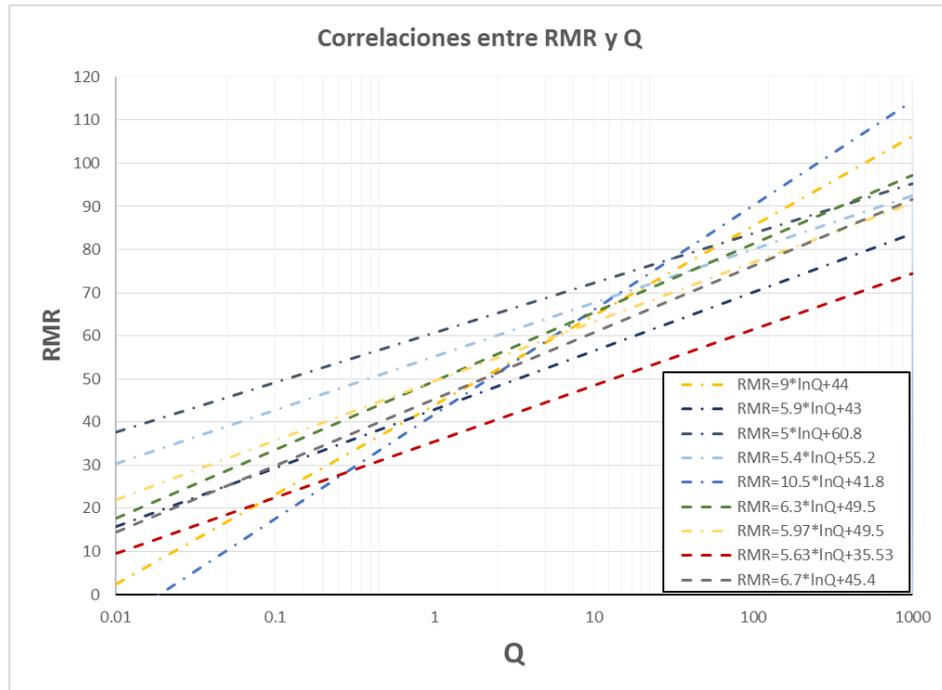


Figura. 3: Correlación entre RMR y Q

Fuente: Fernández J. D; 2017. **Editado:** Autor, 2020

Ranasooriya & Nikraz (2009) alertan sobre la gran dispersión de los datos utilizados por los distintos autores que han propuesto correlaciones, indicando que relacionar los dos sistemas mediante una única fórmula y la conversión entre los valores obtenidos entre ellos puede conducir a significativos errores. Además, añaden que en la mayoría de las fórmulas propuestas por los autores de la tabla anterior no se especifica qué versión del sistema se está utilizando. Así, para la ecuación se utilizó la versión de RMR anterior a 1976, pero para correlaciones propuestas posteriormente se han debido utilizar otras versiones, que no siempre son indicadas por los autores. Por tanto, es totalmente necesario especificar qué versión del sistema RMR y de Q se ha utilizado a la hora de proponer una correlación entre ambos. Con la siguiente ecuación ajustada.

$$RMR = \left(\frac{S_{RMR}}{S_{\ln Q}} \right) * \ln Q + \overline{RMR} \left[1 - \left(\frac{V_{RMR}}{V_{\ln Q}} \right) \right] \quad (7)$$

Donde:

\overline{RMR} es el promedio de los valores de RMR

S_{RMR} y $S_{\ln Q}$ son las desviaciones estándar de RMR y $\ln Q$, respectivamente

V_{RMR} y $V_{\ln Q}$ es el coeficiente de variación de RMR y $\ln Q$, respectivamente



5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales y equipos

Para la realización de la presente investigación es necesario disponer de los siguientes materiales de campo, laboratorio, oficina y equipo de seguridad personal.

Tabla 21. Materiales y equipos utilizados

Materiales y Equipos			
Campo	Laboratorio	Oficina	Seguridad
Carta geológica IGM Zamora Esc. 1:100000	Trozadora Bosch	Computadora	Casco
GPS Garmin Map62	Microscopio Nikon	Impresora	Gafas
Martillo de geólogo	Equipo de Compresión uniaxial de testigo de rocas	Plotter	Chaleco reflectivo
Lupa de aumento 20x	Calibrador	Flash memory	Botas punta de acero
Brújula Brunton	Muestras de roca 5x5x5 cm		Linterna
Cinta métrica			
Libreta de campo			

Fuente: Autor, 2020

5.2. Metodología

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados se propuso en primera instancia la compilación bibliográfica de mapas geológicos regionales y topográficos locales, y trabajos previos del área minera Cambanas; así mismo mediante visitas técnicas se recabo y se generó información, apoyados de trabajos técnicos, y operaciones experimentales aplicadas en el campo a fin de obtener una idea general para el levantamiento de la información necesaria.

Para la realización del mapa geológico regional se utilizó información digital base generada por el (IGM, 2018) a escala 1:100000, que, corroborada con la carta geológica de Zamora, hoja 77, que permitió determinar la geología del sector. También se utilizó la geología regional del Distrito Minero Nambija (Prodeminca, 2000) a escala 1:20000 la cual detalla las formaciones litológicas del área minera.

La topografía superficial y subterránea se obtuvo a partir de la información digital base brindada por el área minera Cambanas a escala 1:5000 en el sistema de coordenadas PSAD 56, la cual fue corroborada tomando puntos de control con el GPS Garmin Map62.



La geología superficial se obtuvo a partir de la información digital base brindada por el área minera Cambanas a escala 1:5000 en el sistema de coordenadas PSAD 56, la cual fue corroborada tomando muestras de roca para ser analizadas en el laboratorio con el fin de conocer su litología. Se realizó la descripción de fichas macroscópicas de muestra de rocas.

Para elaborar el mapa de pendientes se hizo uso de herramientas SIG (Arc Gis 10.3), tomando como base las curvas de nivel y el polígono del área de estudio. Para la obtención del mapa de pendientes, primeramente, se parte de un modelo de elevación TIN, para ello se utilizó la herramienta Arctoolbox- herramientas de 3D análisis- conversión desde TIN a RASTER (modelo digital de elevación, DEM), posteriormente mediante la herramienta Spatial Analyst tools/Surface/Slope se genera la pendiente. Este mapa es usado en la reclasificación, haciendo uso de la herramienta Spatial Analyst/Reclass /Reclassify, en este caso se empleó la clasificación en grados (%) de acuerdo a la tabla 1. Clasificación del Clirssen 2001. Una vez obtenido el mapa reclasificado de pendiente se convierte a formato vector, en donde se calculan los parámetros de área y porcentaje. (Ver Anexo 5.3. Mapa de Pendientes del Área Minera)

5.2.1. Metodología para el primer objetivo.

Teniendo el mapa topográfico subterráneo de la galería T1 a escala 1.5000 se procedió a levantar la geología a detalle de la galería T1 en el campo con el reconocimiento de las propiedades físicas de las rocas; color, textura, estructura, con el apoyo del martillo geológico, lupa 20x, ácido clorhídrico al 10%; las muestras de roca fueron analizadas con más detalle en el laboratorio de Petrografía y Mineralogía de la Carrera de Geología Ambiental, con la ayuda del técnico del laboratorio y la utilización del microscopio; la Ficha geológica para análisis de muestras (Ver Anexo 1).

Para el levantamiento geológico estructural subterráneo a detalle de la galería T1 en base al mapa topográfico a escala 1.5000, con la ayuda de la brújula Brunton, cinta métrica, libreta de apuntes se realizó las mediciones de todas las estructuras geológicas encontradas mediante el uso de la regla de la mano derecha; como son la dirección, buzamiento y dirección de buzamiento, todos estos datos estructurales, fueron registrados en la libreta de campo y en el mapa topográfico de la galería llevado al campo. Las



familias de diaclasas se identificaron por tramos al observar la alteración que presentaban en el techo y hastiales de la galería. (Ver Anexo 2 Levantamiento geológico estructural).

Una vez que se obtuvo la información geológica-estructural en Auto Cad 2016 y Arc Gis 10.3 se procedió a ingresar y procesar toda la información, los rasgos estructurales con su respectiva simbología, dirección, buzamiento. Obteniendo el mapa de geología estructural local de la galería T1 a escala 1:400 Se realizó un perfil geológico dirección NW-SE el cual atraviese las estructuras geológicas más importantes mapeadas en el sector. (Ver Anexo 5.6).

Para análisis de la orientación de diaclasa se midieron todas las estructuras que se encontraron dentro de la galería, estos datos fueron procesados en el software Stereonet 10.0, obteniendo la representación estereográfica de máxima concentración de polos diagrama de densidades de las discontinuidades y diagrama de rosetas de las discontinuidades.

Ensayos de las propiedades físicas

En las propiedades físicas (densidad, peso específico) se realizó para todas las muestras aplicando la Norma ASTM C127.

Para calcular la densidad se realizó el siguiente procedimiento:

- Pesar cada muestra en una balanza analítica
- Calcular el área de cada muestra

$$A = l * a = \text{largo} * \text{ancho} \quad (8)$$

- Calcular el volumen de cada muestra

$$V = A * h = \text{area} * \text{altura} \quad (9)$$

- Calcular la densidad (gr/cm³)

$$\delta = \frac{m}{V} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \quad (10)$$

Para calcular el peso específico se realizó mediante el método con el siguiente procedimiento: sumergido (Ver Anexos Fotográficos)

- Pesar cada muestra en seco (P)
- Pesar cada muestra sumergida en agua (Pw)



- Pesar cada muestra (húmeda) (Pws)
- Calcular el peso específico

$$\rho = \frac{P}{P-P_w} \quad (11)$$

5.2.2. Metodología para el segundo objetivo.

Para la realización del presente objetivo se partió con la toma de muestras representativas en la galería (muestras no alteradas para las propiedades físico mecánicas las mismas que se utilizaron para los ensayos de compresión simple), se tomó en cuatro secciones diferentes según el grado de alteración y cambio de litología del macizo. Luego se procedió a realizar una malla de 1m x 1m en el techo y hastiales de la galería en cada sección a lo largo de la misma, para la caracterización geomecánica de Bieniawski y Barton.

Ensayo del martillo de Schmidt

Se estimó en campo realizando sencillos ensayos utilizando el martillo de Schmidt aplicando la Norma ASTM 5873-05 se midió la resistencia al rebote de una superficie rocosa se toma un número elevado de medidas y realizar un análisis estadístico para encontrar el grado de resistencia de la roca (Lozano, 2012). Se registraron 20 valores de impactos simples de rebote separados por al menos un diámetro de la aguja, y se promedió los 10 más altos valores. Estos ensayos se tomaron en 10 sectores determinados a lo largo de la galería (Ver Anexo 3.1).

Esta medida del rebote se correlaciona con la resistencia mediante el gráfico de Miller (figura. 1) que tiene en cuenta la densidad de la roca y la orientación del martillo respecto al plano de roca ensayado de acuerdo a la tabla 2. Mediante el método de ISRM se clasifico la resistencia a la carga puntual.

5.2.2.1. Obtención del RMR.

En el método de Bieniawski (RMR) se determinó los siguientes parámetros:

- a) Resistencia compresión simple de la roca. Para los ensayos de compresión simple aplicando la Norma ASTM D2938 que se requieran para la clasificación geomecánica del macizo rocoso se tomó muestras de roca intacta la cual se cortó con una trozadora en cubos de 5cm x 5cm, para llevar los cubos al equipo de compresión uniaxial de testigo de rocas. En el laboratorio TR INGENIERÍA (Ver



Anexo 3.2).

Para calcular la resistencia a la tracción se planteó que el coeficiente de resistencia corresponde al 0.01 de la resistencia de la roca sometida a compresión simple por lo tanto se considera la siguiente expresión para el cálculo de la fortaleza de la roca.

$$f = \frac{R_c}{100} \quad (12)$$

Dónde:

f: Fortaleza de la roca

R_c: Resistencia a compresión simple, kg/cm²

- b) Índice de Calidad de la Roca (RQD) Se calculó en función del número de discontinuidades en un metro cúbico, las cuales se determinaron al momento de realizar el levantamiento litológico-estructural, se obtiene la siguiente formula:

$$RQD = 115 - (3.3)Jv \quad (13)$$

Jv: es índice volumétrico de juntas o número de juntas por metro cúbico.

- c) Espaciado entre discontinuidades se midió la distancia entre dos planos de discontinuidades de una misma familia, medidos en la dirección perpendicular a los planos de discontinuidades, la medida del espaciado se realiza con una cinta métrica, la cinta debe colocarse perpendicular a las superficies discontinuas; valorado en función de la tabla 4.
- d) Condición de las discontinuidades. Para ello se utilizó la brújula para medir su orientación, la cinta métrica para medir la longitud y separación entre las juntas, para el relleno, rugosidad y meteorización se hizo la descripción al observar en el campo con el uso de las tablas 5, 6, 7, 8, y 9 propuestas por Bieniawski en 1989.
- e) Condición de infiltración del agua. se observó las filtraciones de agua en el macizo rocoso y valorado en función de la tabla 10.
- f) Orientación de las discontinuidades: Con el uso de la brújula se tomó la dirección de las discontinuidades y la dirección de la galería, en la cual se determinó las



condiciones que presentan; valorado en función de la tabla 11.

Finalmente, el RMR fue determinado mediante la ecuación (3).

5.2.2.2. Obtención del Q de Barton.

En el método de Barton (Q) se determinó los siguientes parámetros:

- a) RDQ: Se obtuvo contando el número de las familias de juntas (J_v) aplicando la ecuación 13, propuesta en la obtención del RMR y valorado en función de la tabla 13.
- b) J_n : se contabilizó el número de conjuntos de estructuras o familias presentes en el macizo rocoso y valorado en función de la tabla 14.
- c) J_r : observación de la rugosidad de las juntas y valorado en función de la tabla 15.
- d) J_a : observación de la meteorización y alteración de las juntas; valorado en función de la tabla 16.
- e) J_w : observación de la presencia de agua en la sección y valorado en función de la tabla 17.
- f) SFR: observación de la tensión de la roca en la cual está sujeta a la presión además de la presencia del agua y valorado en función de la tabla 18.

Finalmente, el Q de Barton fue determinado mediante la ecuación (4).

5.2.3. Metodología para el tercer objetivo.

Para la obtención de la correlación entre el índice RMR de Bieniawski y Q de Barton se utilizó los datos obtenidos en las zonas de dominio estructural de la galería de exploración donde se obtuvo simultáneamente los valores de RMR y Q en cada una de esas secciones.

Las versiones de los sistemas de clasificación empleadas en las ecuaciones (5) y (6) para la correlación geomecánica

Para la correlación entre los valores de los sistemas de clasificación RMR_{89} y Q_{94} se obtuvo mediante una relación logarítmica de la ecuación con un modelo propuesto a continuación (figura. 4).

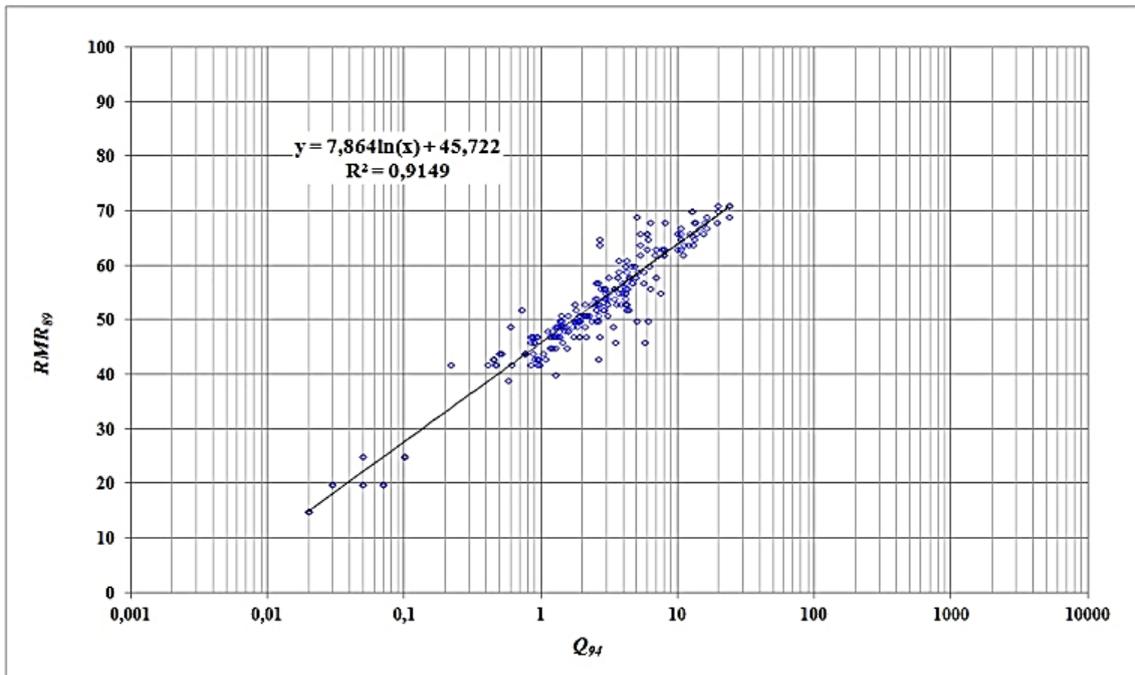


Figura 4: Modelo Propuesto de correlación geomecánica

Fuente: Fernández J. D. (2017)

Ranasooriya & Nikraz (2009) alertan sobre la gran dispersión de los datos utilizados por los distintos autores que han propuesto correlaciones, indicando que relacionar los dos sistemas mediante una única fórmula y la conversión entre los valores obtenidos entre ellos puede conducir a significativos errores. Además, añaden que en la mayoría de las fórmulas propuestas por los autores de la tabla anterior no se especifica qué versión del sistema se está utilizando. Así, para la ecuación se utilizó la versión de RMR anterior a 1976, pero para correlaciones propuestas posteriormente se han debido utilizar otras versiones, que no siempre son indicadas por los autores. Por tanto, es totalmente necesario especificar qué versión del sistema RMR₈₉ y de Q₉₄ se ha utilizado a la hora de proponer una correlación entre ambos.

En la que después de obtener los valores de correlación por Pearson mediante la línea de tendencia se obtendrá la correlación única ajustada entre RMR₈₉ y Q₉₄, mediante la ecuación (7).



6. RESULTADOS

6.1. Ubicación Geográfica y Acceso

El área minera Cambanas se localiza en el sector Campanillas de la parroquia San Carlos de las Minas del cantón Zamora perteneciente a la provincia de Zamora Chinchipe, formando parte del Distrito Minero de Nambija en la Cordillera del Condor.

Para acceder al área minera se debe avanzar desde la ciudad de Zamora, por la vía de primer orden hasta el Barrio Namirez en la que se recorre 21 km en un tiempo aproximado de 25 min. Desde el Barrio Namirez pasando por un puente carrozable sobre el río Zamora al Barrio Nambija Bajo, se sigue por un camino lastrado de segundo orden hasta la población de San Carlos de las Minas. Desde esta población se sigue por un camino público lastrado de tercer orden hasta el Sector denominado Campanillas, el recorrido desde Namirez hacia Cambanas es de 20 km en un tiempo aproximado de 60 minutos. (Ver Anexo 5.1. Mapa de Ubicación y Acceso).

Tabla 22: Datos Generales de la Concesión Minera.

Concesión Minera	Cambanas		
Código	246		
Fase minera	Fase de exploración y explotación		
Recurso a explotar	Minerales Metálicos		
Volumen de Explotación	100 toneladas métricas día		
Superficie total (ha mineras)	3.14 Ha.		
Ubicación Geográfica	Provincia Zamora Chinchipe Cantón Zamora Parroquia San Carlos de las Minas		
Coordenadas UTM de ubicación del proyecto (Datum PSAD 56)	X	Y	
Coordenadas Título Minero	745605	9552825	
	745740	9552825	
	745740	9552650	
	745580	9552650	
	745580	9552800	
	748605	9552800	
Datos del Titular Minero	Nombre o razón social	PROYECTO MINERO CAMBANAS	
	Dirección	Calle Bolívar entre 10 de Agosto y Vicente Rocafuerte, Loja	
	Teléfono	0984258142	
	Representante Legal	Sr. Hugo Cueva	

Fuente: Autor, 2020



6.2. Clima y Vegetación

El área minera tiene un rango de temperatura que varía entre 16 a 18 °C, que corresponden a un clima templado con variaciones menores a lo largo del año para el sector. Las precipitaciones alcanzan valores entre los 2500 mm a 3500 mm anuales, siendo los meses de febrero y julio los más lluviosos y el más seco noviembre. (MAE, 2013)

En la zona la humedad es muy alta llegando hasta un 85 % con rangos de nubosidad desde 5/8 a 7/8 de cielo cubierto. (Egüez, 2002) la zona es mayormente azotada por vientos que fluyen en dirección SW-NE

Para la climatología de la concesión minera se consideró a la Estación Meteorológica Yanzatza, la distancia entre la Estación Meteorológica y la concesión minera es de 25 kilómetros aproximadamente.

La concesión minera Cambanas se encuentra en el Bosque Siempreverde Montano Bajo de las Cordilleras del Condor-Cutucú (MAE, 2013) y en el piso zoogeográfico subtropical oriental (Albuja 2002) que se ubica en las laderas externas de la cordillera Real u Oriental, entre los 1000 y 2000 m.s.n.m.

6.3. Hidrología

El área minera Cambanas se encuentra ubicada en el flanco oeste de la cordillera de Nanguipa, la misma que constituye un ramal formado entre las cordilleras Real y El Condor; desde el punto de vista hidrográfico, el sector forma la cuenca Noreste del río Nambija, los aportes más importantes corresponden a la quebrada Cambanas, quebrada la Fortuna, quebrada Campanillas entre otros afluentes perennes y estacionarios. Su disposición espacial es dendrítica, la mayoría de las quebradas presentan direcciones perpendiculares a las del drenaje principal, es decir N-S, coincidiendo con la dirección de las estructuras (fallas y fracturas), sin embargo, debido a la actividad antrópica, algunas de las quebradas son desviadas temporalmente para actividades mineras en los aluviales.

6.4. Topografía del Área Minera Cambanas

La topografía superficial del área es muy irregular en la zona de estudio, se encuentra enclavada en una zona montañosa con relieve irregular y pendientes abruptas, formando cascadas y valles profundos en “V”. La altimetría regional varía entre los 1600 y 2300 m.s.n.m.; y, dentro del polígono de estudio está entre 1584 hasta 1764 m.s.n.m. Por la



parte sur del área de exploración se encuentra una vía de segundo orden que permite el acceso al campamento y otra vía de tercer orden que conduce hasta la boca mina. (Ver Anexo 5.2. Topografía del Área Minera Cambanas).

La topografía subterránea de la concesión minera Cambanas, se encuentra la labor minera de una galería de exploración denominada Galería T1, en donde la boca mina de acceso se encuentra localizada en las coordenadas PSAD56 Zona 17 Sur (745717,952; 9554734,252; alt 1661.6)

La galería de exploración inicia con una dirección Norte, en su mayoría siguiendo la dirección de las fallas, en la cual su boca mina no tiene un soporte, cuenta con una altura aproximada de 1.8m y un ancho de 1.3m, estas dimensiones son relativamente constantes a lo largo de los 192.39 m de la galería, donde 117.93 m son de la galería principal lo demás corresponde a labores mineras auxiliares (Ver Anexo 5.2. Topografía del Área Minera Cambanas).

6.4.1. Pendientes del Área Minera Cambanas.

De manera general, Cambanas se encuentra ubicada en el flanco oeste de la cordillera de Nanguipa, la misma que constituye un ramal formado entre las cordilleras Real y El Condor Geomorfológicamente la zona de estudio se encuentra enclavada en una zona montañosa con relieve irregular y pendientes abruptas, formando cascadas y valles profundos en “V”. La altimetría regional varía entre los 1600 y 2300 m.s.n.m.; y, dentro del polígono de estudio está entre 1584 hasta 1764 m.s.n.m.

Tabla 23: Rango de pendientes del área minera.

Rango (%)	Descripción	Área (Ha)	Porcentaje (%)
0 - 2	Plana	0.10	3.20
2 - 5	Muy Suave	0.03	0.83
5 - 12	Suave	0.18	5.68
12 - 25	Media	0.49	15.56
25 - 40	Media Fuerte	0.78	24.85
40 - 70	Fuerte	1.52	48.54
70 - 100	Muy Fuerte	0.04	1.34

Fuente: Autor, 2020

Del mapa de pendientes tabla 23 podemos deducir que el área está representada por tres tipos principales de pendientes que son: De 0 a 2% corresponde a superficie plana en su



mayoría se ha formado por trabajos antrópicos y por expansión de las escombreras. Del 5 al 12% se ajusta a un relieve suave y representa zonas alteradas durante el laboreo minero y algunas aún se encuentran en estado natural intacto, predominan en el centro del área. Del 25 al 40%, un relieve medio fuerte es la pendiente que se observa al Sur del área del polígono, en la parte Este del polígono prevalece un cambio de pendiente fuerte (40 al 70%) es la más abundante y se ubican principalmente en la parte más alta del polígono. (Ver Anexo 5.3. Mapa de Pendientes del Área Minera Cambanas).

En ciertos lugares y en forma puntual aparecen otros valores de pendientes en el área debido a que la zona se encuentra muy alterada por los trabajos antiguos y recientes de los mineros que han cambiado la topografía de la zona.

6.5. Geología Regional

De acuerdo a la carta Geológica Regional de Zamora realizada por el INIGEMM a escala 1: 100000 y el Mapa Geológico del Distrito Minero de Nambija realizada por PRODEMINTA a escala 1:20000; ubicada en la Cordillera del Condor involucra al Complejo Batolítico de Zamora de edad Jurásica rocas volcano-sedimentarias y volcánicas, parcialmente skarnificadas y a la Unidad Piuntza datada con fósiles de edad Triásica.

Complejo Intrusivo De Zamora Es un batolito tipo-I esencialmente no deformado ni metamorfizado. El batolito de Zamora es un complejo intrusivo alargado de aproximadamente 200 km de largo por 50 km de ancho, dividido en tres bloques por las fallas La Canela y Nangaritza de dirección Norte - Sur. Este complejo intrusivo está constituido por una serie de litologías que incluyen granodioritas hornbléndicas - biotíticas y dioritas hornbléndicas, granodioritas hornbléndicas con megacristales de feldespatos potásico, cuarzomonzodioritas con megacristales de perita rosa, intrusivos subvolcánicos granulados: microdioritas y pórfidos de hornblenda \pm feldespatos de composición cuarzodiorítica a monzodiorítica; stocks de monzogranitos y cuarzomonzonitas con biotita y muscovita, a la vez que los granitos verdaderos son raros. La edad ha sido determinada entre 170 Ma., y 190 Ma. Jurásico Medio-Inferior (Litherland et al., 1994)



La Unidad Piuntza Es catalogada como la primera unidad litológica aflorante de edad Triásico, presentándose como techos colgantes dentro del batolito de Zamora. Litológicamente consiste de secuencias volcánico - sedimentarias de origen continental y marino (calizas, una variedad de lutitas calcáreas, areniscas, tobas de grano fino, flujos de lava, brechas de composición andesítica a dacítica) (Litherland y otros, 1994). Parcialmente relacionado al contacto con el batolito de Zamora ha generado cuerpos metasomáticos de skarn aurífero, de Oeste a Este como: Piuntza, Nambija y María Elena, que tienen una potencia de 300 m en las minas de Nambija y Campanillas (Litherland y otros, 1994). Fosiles encontrados en una secuencia de limolitas calcáreas skarnificadas en el río Timbara y en la mina de Guaysimi señalan una edad del Triásico medio a tardío (Woods y otros, 1992 en Litherland y otros, 1994). La Unidad Piuntza es considerada como parte de una cuenca restringida al Sureste del Ecuador, ya que no se la encuentra entre las Formaciones Macuma y Santiago al Norte en el levantamiento del Cutucú (Litherland y otros, 1994).

Pórfidos Andesíticos. Son cuerpos de composición intermedia, en pequeños afloramientos, no se descarta un mayor tamaño a profundidad, afloran en la Q. Cambanas y al SO de Cerro Colorado (Ver Anexo 5.4. Geología Regional).

6.5.1. Geología Local de la Galería T1.

Localmente la zona de exploración del área minera Cambanas la galería T1 está constituida en su mayoría por rocas skarn, hornfels, andesitas que comprenden a la Unidad Piuntza. En la que se describe la siguiente litología (Ver Anexo 5.6)

Skarn: Se encuentra en los tramos 0 - 24,07 m; 42.98 – 85.38 m y 103.50 – 117.93 m. Es la roca de mayor procedencia en la zona de estudio siendo una secuencia de rocas interestratificadas, compuesta principalmente por granates, epidotas, calcita, pirolusita, con textura de grano grueso a fino, de un grado bajo de meteorización, con una coloración gris verdosa dicha coloración varía de acuerdo a su roca protólito (lutitas calcáreas, areniscas, calizas); con vetillas de cuarzo y feldespato. El Intrusivo de Zamora ha generado cuerpos metasomáticos de skarn aurífero desarrollado en rocas calcáreas. Estas rocas son de edad del triásico medio al tardío.

Andesita: Se encuentra en el tramo 24.07 – 29.98 m. Roca compuesta por hornblenda y piroxenos son de color grises, su textura es afanítica, presentan alteración en sus fracturas



por la intrusión de carbonatos y la oxidación por la alteración de la limonita, tampoco presentan una mineralización.

Stockwork: Se encuentra en el tramo 29.98 – 32.88 m. Es una roca de color gris de textura afanítica, con una estructura masiva; está compuesta por calcita, hornblenda, oro diseminado, cuarzo y granates. Es una roca producto de la alteración hidrotermal del ascenso de fluidos calientes ricos en mineralización por las discontinuidades de las rocas andesíticas las que son su roca encajante, dichas discontinuidades han sido remplazados por vetillas de carbonatos sin ninguna orientación preferencial.

Pórfido Andesítico: Se encuentra en el tramo 32.88 – 33.08 m. El pórfido andesítico el cual intruye las rocas hornfels y las rocas skarn. produciendo procesos de metamorfismo y metasomatismo con alteración argílica avanzada compuesto principalmente por plagioclasas, cuarzo y piroxenos, es un dique intrusivo de 0.20 m de potencia un poco alterado por la presencia de calcita.

Hornfels: Se encuentra en el tramo 33.08 – 42.98 m. Denominadas también rocas corneanas, no presenta ninguna foliación, es de coloración de marrón a gris oscuro y en algunos casos negros, de manera intercala, de dureza alta. En lo que mineralógicamente presenta escasas de pirita y granates, sericita, cuarzo amorfo y calcita. Su protolitos corresponden a lutitas, areniscas. Esta roca se presenta de carácter lenticular. Subyacen a las rocas volcánicas.

Skarn Silicificado: Se encuentra en el tramo 85.38 – 103.50 m. Es una roca tipo skarn de color gris claro de textura afanítica, con presencia cuarzo, calcita, ortosa, pirita, pirolusita y hematitas; presenta una fuerte silicificación masiva es decir que la roca protolito pudo haber estado muy silicificada.

6.6. Geología Estructural Regional

El cinturón metalogénico de Nambija, está delimitado por estructuras paralelas en dirección N-S que ponen en contacto las rocas volcánicas de la U. Piuntza y las del Complejo Intrusivo de Zamora. Fallas transcurrentes con movimiento dextral en dirección NO -SE y buzamientos fuertes se observan en la Q. de Nambija y al E de Cerro Colorado. En este mismo sector existe una falla inversa con leve buzamiento al SE.



El batolito de Zamora está limitado al Este por la falla El Cóndor de tendencia NNE-SSW en contacto tectónico con la Formación Misahuallí (Prodeminca, 2000).

Las estructuras principales en el Distrito de Zamora son:

- Estructuras regionales con dirección andina (N-S y NNE - SSW) las cuales delimitan terrenos litotectónicos y además constituyen el principal control del magmatismo y la metalogénesis en la región.
- Fallas secundarias con dirección NE - SW a ENE - WSW que se relacionan con la mineralización.
- Fallas secundarias con lineamientos WNW los cuales son complementarios al sistema de fallas NE a ENE (PRODEMINCA, 2000).
- La ocurrencia del graben en el Cinturón de Nambija, limitado por fallas con dirección N-S, ha preservado a rocas de edad pre a sin-batolítica como techos colgantes que han sido parcialmente Skarnificadas (Prodeminca, 2000). (Ver Anexo 5.4. Geología Regional).

6.6.1. Geología Estructural de la Galería T1.

Para la elaboración de la geología subterránea se tomaron datos estructurales de las diferentes estructuras observadas a detalle en la pared más representativa (Ver Anexo 2. Levantamiento Geológico Estructural).

Según el levantamiento geológico estructural la mineralización el área minera esta controla por un sistema de fallas de arrastre (rumbo) paralelas al sistema andino NW-SE observadas los cuales parecen afectar los lineamientos que le suceden en importancia, la cual predomina una falla NW-SE de arrastre. Los lineamientos NE-SW son los más frecuentes, los lineamientos E-W son los de contactos observados. El fracturamiento y diaclasamiento es muy común en las zonas falladas, en algunos lugares las diaclasas son mineralizadas donde se observa vetillas de carbonatos, pirita.

Las fallas de arrastre dentro de las labores mineras son poco distinguibles, con un relleno arcilloso compuesto por caolín y limonita es lo más común, la falla principal de primer orden tiene una dirección N60W que cruza toda la Galería T1, atravesadas por fallas normales de segundo orden con dirección NE-SW. (Ver Anexo 5.6. Geología Estructural Local).



Interpretación

El área minera Cambanas (código 246) desarrolla las actividades de exploración mediante la labor de una galería, en donde la galería se encuentra atravesando casi perpendicularmente a los cuerpos mineralizados con potencias de varios metros. (Ver Anexo 5.6).

A partir de la boca mina hasta los 24.07 m se encuentra constituida por la roca skarn medianamente meteorizada la cual no tiene un sostenimiento, en esta sección existe una incrustación de vetillas de calcita con un azimut de 240° buzando 82° NW con una potencia de 2 cm. (Fotografía 1)



Fotografía 1: Vetilla de calcita a 11.66 m de la boca mina

Fuente: Autor, 2020.

Seguidamente se encuentra la andesita con baja meteorización hasta los 29.98 m, el contacto con un azimut de 50° buzando 73° SE, de 5.91 m de ancho a lo largo de la galería

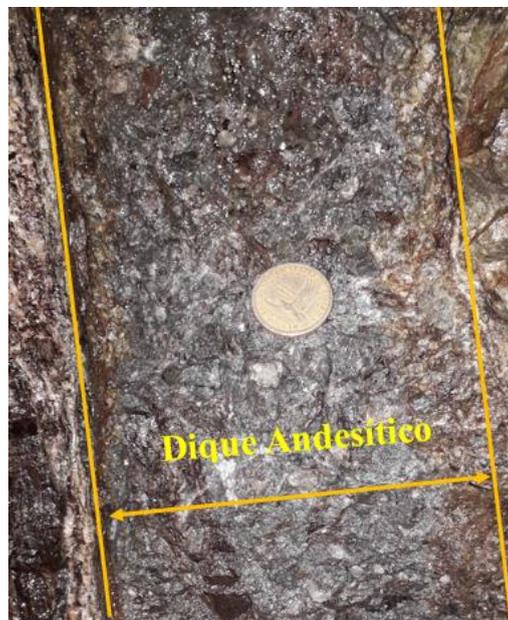
A 29.98 m se encuentra un stockwork de composición andesítica producto de la alteración hidrotermal y presencia de sulfuros (pirita) de 2.94 m de ancho a lo largo de la galería, los cuales han sido remplazados por vetillas de carbonatos sin ninguna orientación preferencial, compuesta por milonita, calcita, óxidos de hierro, esfalerita, galena, cuarzo, calcita, pirita. (Fotografía 2)



Fotografía 2: Stockwork a 29.98 m de la boca mina

Fuente: Autor, 2020

A continuación del stockwork tenemos la intrusión del dique de composición andesítica con una alteración argílica avanzada teniendo una potencia de 20 cm, así mismo en sus contactos se observa alteración argílica y limonita. (Fotografía 3)



Fotografía 3: Dique Andesítico a 33.48 m de la boca mina.

Fuente: Autor, 2020



Finalmente, desde los 90 m hasta el final de la galería encontramos enclaves de mezcla de skarn y hornfels, en donde se observa el cambio de textura, y coloración de la roca, en la figura se muestra una mezcla entre el hornfels de tonalidad más clara, el skarn de tonalidad más oscura presente a manera de xenolitos compuesta por esfalerita, galena, milonita, óxidos de hierro y pequeñas cantidades de pirita y calcopirita. (Fotografía 4)



Fotografía 4: Intrusiones de skarn en roca hornfels 90 m de la boca mina

Fuente: Autor, 2020

Una vez obtenido todos los datos estructurales (Ver Anexo 2) que se mapearon dentro de la galería, estos datos se procesaron en el Software Stereonet 10.0, obteniendo las siguientes representaciones estereográfica.

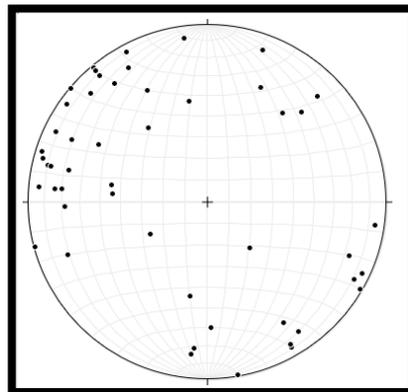


Figura. 5: Representación estereográfica del diagrama de concentración de polos de diaclasas

Fuente: Autor, 2020.

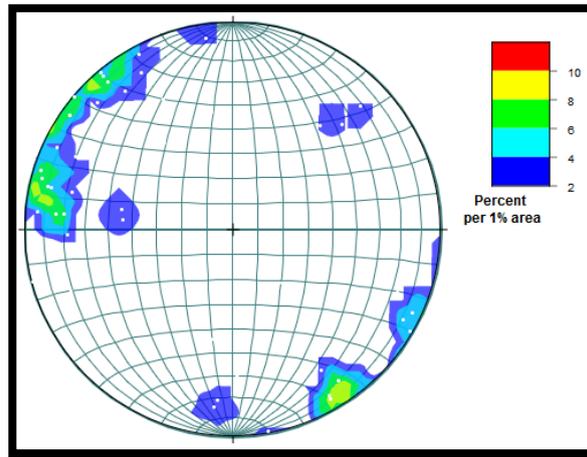


Figura. 6: Representación estereográfica del diagrama de densidades de diaclasas

Fuente: Autor, 2020.

Con los datos procesados mediante el software Stereonet 10.0 se determina la máxima concentración de polos, es decir la dirección preferencial del buzamiento de las diaclasas se dirigen hacia el NE-SW siendo la familia principal y una segunda familia con menor grado de concentración dirigiéndose al SE, dicho análisis puede ser observado en las figuras. 5 y 6.

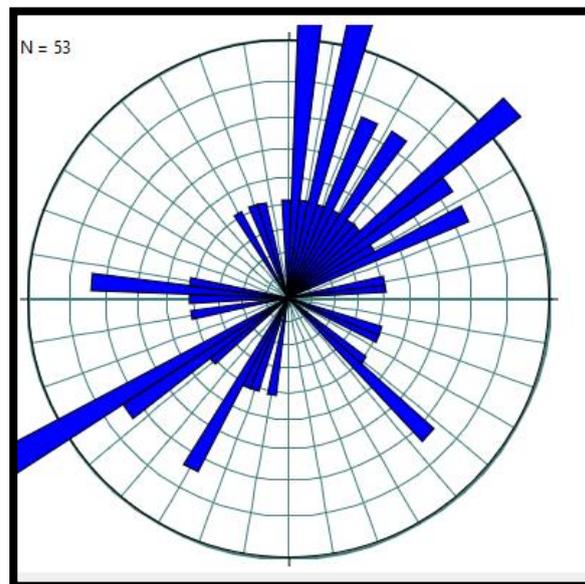


Figura. 7: Representación estereográfica del diagrama de rosetas de diaclasas

Fuente: Autor, 2020.



En el análisis del diagrama de rosetas (figura. 7), se determina que el rumbo predominante de las diaclasas generadas por la familia principal es de NE – SW, direcciones semejantes a las estructuras mineralizadas encontradas en la galería de exploración y la segunda familia de diaclasas de menor concentración con una dirección de rumbo SE – NW.

6.7. Caracterización del Macizo Rocosó

6.7.1. Análisis de las propiedades Físico – Mecánicas de las rocas.

6.7.1.1. Densidad y Peso Específico.

Para el análisis de las propiedades del macizo, se tomó 4 muestras de roca donde se realizó la caracterización del macizo rocoso obteniendo como resultado:

Tabla 24: Resultados de las propiedades físicas de las muestras obtenidas.

Código	Tipo de Roca	Densidad (gr/cm ³)	Peso Específico (N/m ³)
Muestra CS1	Skarn	2.73	26.81
Muestra CS2	Andesita	2.78	27.30
Muestra CS3	Skarn	3.60	35.24
Muestra CS4	Skarn Silicificado	3.45	33.81

Fuente: Autor, 2020

La densidad de las 4 muestras analizadas está entre 2.73 y 3.60 gr/cm³, siendo la muestra de roca tipo Skarn la de mayor densidad. El peso específico varía entre 26.81 y 35.24 N/m³ y al igual que la densidad, la muestra de Skarn posee mayor peso específico.

6.7.1.2. Resistencia al rebote del martillo de Schmidt.

Se realizó ensayos de resistencia al rebote con el martillo de Schmidt en 10 sectores determinados de la galería obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 25: Resultados del rebote con el martillo de Schmidt.

Resistencia de Ensayos al Rebote (martillo de Schmidt)			
Código	Tipo de Roca	Peso Específico	Ensayo del rebote (MPa)
MS1	Skarn	26.79	28
MS2	Skarn	26.79	23
MS3	Skarn	26.79	18
MS4	Andesita	27.30	225
MS5	Hornfels	27.30	100
MS6	Skarn	35.23	42
MS7	Skarn	35.23	140
MS8	Skarn Silicificado	33.80	150
MS9	Skarn	35.23	210
MS10	Skarn	35.23	155

Fuente: Autor, 2020



Todos los ensayos del rebote mediante el uso del martillo de Schmidt presentan una resistencia (> 10 MPa tabla 2), determinado que toda la galería está compuesta por roca extremadamente dura. Donde se puede observar una resistencia baja en MS1 y MS2, cuyos ensayos fueron realizados cerca a la boca mina. (Ver Anexo 3.1).

6.7.1.3. Resistencia a compresión simple.

Se realizó ensayos de compresión simple a las 4 muestras las cuales fueron tomadas en las secciones determinadas de la galería obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 26: Resultados de compresión simple de las muestras obtenidas.

Resistencia a Compresión Simple					
Muestra	Masa (gr)	Carga (N)	Densidad (gr/cm³)	Esfuerzo (kg/cm²)	Esfuerzo (MPa)
CS1	379.1	83400	3.158	3339.40	327.71
CS2	375.3	344500	3.126	13794.06	1353.69
CS3	470.6	330000	4.083	13622.13	1336.81
CS4	448.1	187500	3.659	7360.44	722.32

Fuente: Autor, 2020

La muestra CS1 es una roca de tipo skarn tomada a 12.05 m de la boca mina, presenta una estructura masiva con una textura fanerítica, con vetillas de carbonatos. La rotura en el ensayo de compresión simple es a través de las vetillas, su resistencia es de 327.71 MPa.

La muestra CS2 es una roca Andesita tomada a 27 m de la boca mina, presenta una estructura masiva con una textura afanítica. La rotura en el ensayo de compresión simple es a través de la matriz rocosa, su resistencia es de 1353.69 MPa.

La muestra CS3 es una roca de tipo skarn tomada a 68.50 m de la boca mina, presenta una estructura masiva con una textura afanítica a porfídica. La rotura en el ensayo de compresión simple es a través de la matriz rocosa, su resistencia es de 1336.81 MPa.

La muestra CS4 es una roca de tipo skarn silicificado tomada a 89.51 m de la boca mina, presenta una estructura masiva con una textura afanítica. La rotura en el ensayo de compresión simple es a través de la matriz rocosa, su resistencia es de 722.32 MPa. (Ver Anexo 3.2).



6.7.1.4. Resistencia a la tracción.

Se realizó los cálculos de resistencia a la tracción a las 4 muestras las cuales fueron tomadas en las secciones determinadas de la galería obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 27: Resultados de la Fortaleza de las muestras obtenidas.

Muestra	Tipo de Roca	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia a la Tracción (f)
CS1	Skarn	3339.40	33.39
CS2	Andesita	13794.06	137.94
CS3	Skarn	13622.13	136.22
CS4	Skarn Silicificado	7360.44	73.61

Fuente: Autor, 2020

La resistencia a la tracción de las 4 muestras analizadas está entre 33.39 y 137.94 kg/cm², siendo la muestra CS1 de roca tipo Skarn es la de menor resistencia a la tracción debió a que fue tomada a 12.05 m de la boca mina, lo cual se encontraba más meteorizada. La muestra CS2 de roca tipo Andesita es la de mayor resistencia a la tracción debido a que dicho sector no está alterado.

6.8. Clasificación Geomecánica RMR del macizo

Con los resultados de la Clasificación Geomecánica (RMR) en la galería de estudio (Ver Anexo 4.1) se ha identificado los sectores de mayor inestabilidad las que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 28: Resultados de Valoración del Macizo según RMR.

Valoración	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4
R.M.R.	57.67	65	64	56
Calidad	Regular	Buena	Buena	Regular
Clase	III	II	II	III
Tiempo medio de sostén	Semana para un claro de 5 m	6 meses para un claro de 8 m.	6 meses para un claro de 8 m.	Semana para un claro de 5 m
Cohesión de la roca	0.2 – 0.3 MPa	0.3 – 0.4 MPa	0.3 – 0.4 MPa	0.2 – 0.3 MPa
Ángulo de fricción de la roca	25° - 35°	40° - 45°	40° - 45°	25° - 35°

Fuente: Autor, 2020

Con los resultados de la Clasificación Geomecánica (RMR) en la galería de estudio, se ha identificado los sectores de mayor inestabilidad que los sectores uno y cuatro localizados a 12.05 m y 89.51 m desde la boca mina, determinando al macizo rocoso con



un RMR de 56.84 categoría regular clase III con una cohesión entre 0.2 – 0.3 MPa y un ángulo de fricción entre 25° - 35°, identificado

En el segundo sector de observación se determinó un RMR de 65 y en el tercer sector de observación se determinó un RMR de 64, clasificando al macizo rocoso de dichas zonas en una categoría buena clase II que comprenderá desde los 27 m hasta los 68.50 m, siendo los sectores de mayor importancia por estar entre las vetas de mayor potencia, el macizo rocoso tendrá una cohesión entre los 0.3 – 0.4 MPa y un ángulo de fricción interna entre 35° - 40° que permitirá realizar las labores mineras sin ninguna dificultad; de acuerdo al tiempo de utilidad de la galería se tendrá que aplicar obras de sostenimiento, en la tabla 28 se describen los criterios de excavación y sostenimiento sugeridos. Cabe recalcar que los primeros 20m de la galería nos encontramos con skarn altamente meteorizado por tanto se la considera como una zona inestable sugiriendo la aplicación inmediata de medidas de sostenimiento (Ver Anexo 5.7).

6.9. Clasificación Geomecánica Q de Barton del macizo

Con los resultados de la Clasificación Geomecánica (RMR) en la galería de estudio (Ver Anexo 4.2) se ha identificado los sectores de mayor inestabilidad las que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 29: Resultados de Valoración del Macizo según Q de Barton.

Valoración	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4
Q de Barton	3.84	11.68	9.29	5.51
Calidad	Mala	Buena	Regular	Regular
Tiempo medio de sostén	No requiere sostenimiento	No requiere sostenimiento	No requiere sostenimiento	No requiere sostenimiento

Nota: Estabilidad de las galerías estudiadas tomando las recomendaciones empíricas de túneles, determinada empleando el ábaco para estimar los distintos sostenimientos posibles a partir de la relación D equivalente e índice Q (Grimstad y Barton, 1993).

Fuente: Autor, 2020

Con los resultados de la Clasificación Geomecánica (Q de Barton) en la galería de estudio, se ha identificado que el sector 1 presenta la mayor inestabilidad que se encuentran localizado a 12.05 m desde la boca mina, determinando al macizo rocoso con un Q de 3.84 categoría mala. En los primeros 20 m de la galería se determinó un skarn meteorizado por tanto se la considera como una zona inestable sugiriendo la aplicación inmediata de medidas de sostenimiento.



En el segundo sector de observación se determinó un Q de 11.68, clasificando al macizo rocoso de dicho sector en una categoría buena, que permitirá realizar las labores mineras sin ninguna dificultad, sector que nos encontramos con roca andesita y un dique andesítico; de acuerdo al tiempo de utilidad de la galería se tendrá que aplicar obras de sostenimiento.

En el tercer sector se determinó un Q de 9.29 y en el cuarto sector se determinó un Q de 5.51 de calidad regular que comprenderá desde los 68.50m hasta el final de la galería, sector donde se presenta una roca muy compacta sin presencia de humedad, pero con presencia de fallas paralelas al avance de la galería con poco cizallamiento y fracturamiento.

6.10. Correlación entre el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton

Para la correlación entre el índice RMR de Bieniawski y Q de Barton se han utilizado los datos obtenidos en los cuatro sectores en el techo y los hastiales realizados en el Área Minera Cambanas en la galería T1, de 120 m de longitud. Los datos obtenidos en estos levantamientos están registrados (Ver Anexo 4).

En la figura 8 se muestra que tiene un coeficiente de correlación de Pearson $R^2 = 0.93$, valor bastante elevado, que indica que el 93 % de la variación de los valores procesados.

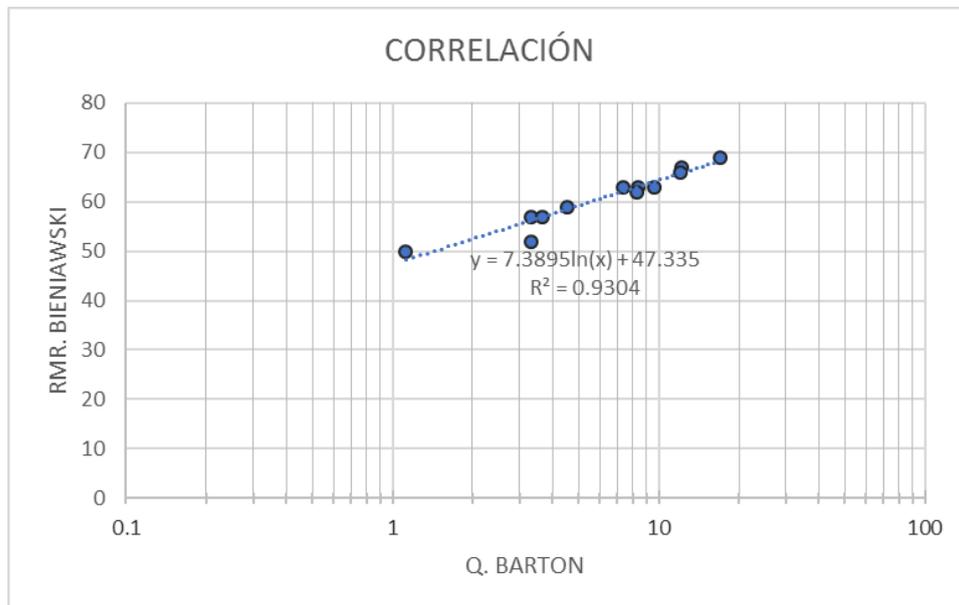


Figura. 8: Datos de RMR y Q obtenidos en la Galería T1 para el comportamiento geomecánico y correlación entre ambos.

Fuente: Autor, 2020



De manera similar a las ecuaciones propuestas, la mejor correlación entre los valores de los sistemas de clasificación RMR y Q se obtuvo la siguiente ecuación mediante una relación logarítmica.

$$RMR = 7,38 * \ln Q + 47,33 \quad (14)$$

Con el alto grado de correlación entre ambas variables ($R^2 = 0.93$). Aun así, se ha preferido establecer una única ecuación que relacione los dos sistemas de manera única para este comportamiento geomecánico, verificada la normalidad de los datos, se utiliza el enfoque probabilístico propuesto por Kasier et al; 1986. mediante la ecuación (7) se obtuvo la ecuación (15).

$$RMR = \left(\frac{5.836}{0,762}\right) * \ln Q + 60.667 \left[1 - \left(\frac{0.096}{0,422}\right)\right]$$

$$RMR = 7,66 * \ln Q + 60.667[1 - 0,228]$$

$$RMR = 7,66 * \ln Q + 60.667(0,772)$$

$$RMR = 7,66 * \ln Q + 46,834 \quad (15)$$

En la figura. 9 se representa la ecuación (15), propuesta para litologías de rocas volcánicas de la Unidad Piuntza (Edad Triásica), con las propuestas por otros autores de la tabla 20.

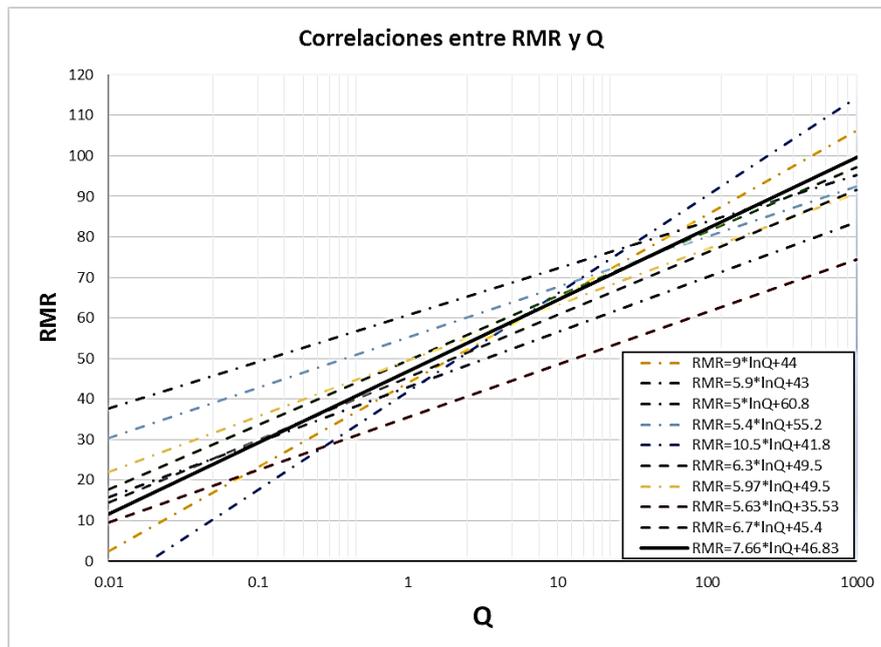


Figura. 9: Comparación de la ecuación ($RMR=7.66*\ln Q+46.834$) obtenida para rocas volcánicas con otras correlaciones propuestas entre índice RMR y Q.

Fuente: Autor, 2020



7. DISCUSIÓN

Para la ejecución del presente proyecto de investigación, se lo ha desarrollado dentro de un marco teórico práctico, que contempla tres puntos generales: el levantamiento geológico estructural a detalle de las labores mineras; la caracterización del macizo rocoso de la galería “T1” para determinar la estabilidad de las labores mineras subterráneas; y la correlación entre el método de Bieniawski (RMR) y Barton (Q) para obtener una ecuación.

La información topográfica que ha sido corroborada en el desarrollo de este proyecto, mediante la georreferenciación en sectores estratégicos, como son: la infraestructura civil, las instalaciones mineras y la boca mina existente en la concesión. Se ha determinado una superficie total de 3.14 Ha, el relieve varía desde la cota 1584 m.s.n.m. a la cota 1764 m.s.n.m. Se ha georreferenciado también el levantamiento interior mina, representándolo en el mapa topográfico.

En la geología regional se conoce la Carta Geológica de Zamora y el Mapa Geológico del Distrito Minero Nambija, ubicando al área de estudio en la Unidad Piuntza, corroborando esta información con el levantamiento geológico realizado en la presente tesis, para ellos se describieron fichas geológicas para análisis de muestras de mano, de esta manera se logró determinar que la zona de estudio está constituida por rocas volcanoclasticas triásicas: skarn (calcáreas, granates y epidotas) skarn silicificado, hornfels (rocas corneanas), stokwork con alteraciones hidrotermales y andesita basáltica; como la intrusión de un pórfido andesítico debido al Complejo Intrusivo de Zamora de edad Jurásica

En la geología estructural regional se conoce la Carta Geológica de Zamora y el Mapa Geológico del Distrito Minero Nambija, ubicando al área de estudio en el cinturón metalogénico de Nambija, está delimitado por estructuras paralelas en dirección N-S que ponen en contacto las rocas volcánicas de la U. Piuntza y las del Complejo Intrusivo de Zamora. Fallas de arrastre (transcurrente) con movimiento dextral en dirección NW - SE y buzamientos fuertes en la Unidad Piuntza, corroborando esta información con el levantamiento geológico estructural realizado en la presente tesis que la galería T1 se encuentra conformada por un sistema de fallas principales con dirección NE-SW y buzamientos casi verticales entre 60° y 89°, de la cuales delimitan los bloques



mineralizados por un proceso hidrotermal, con un conjunto de fracturas, atravesada por fallas y contactos formado así vetillas mineralizadas. Se encontraron dos fallas de arrastre $N60^{\circ}W/30^{\circ}SW$, $N44^{\circ}W/74^{\circ}SW$.

El primer sector se encuentra conformado por skarn, que dio como resultado un macizo de clase III; el segundo sector lo constituye una roca andesita de clase II; el tercer sector lo conforma roca skarn de clase II; y, finalmente se tomó en cuenta la parte final de la galería que está constituida por roca skarn silicificada que dio como resultado un macizo de clase III, el mismo que requiere de un sostenimiento a largo plazo, fortificación que se la puede realizar empleando madera, como lo vienen aplicando en las zonas inestable de la galería.

De acuerdo con los datos de RMR y Q, en el sector uno tenemos un RMR de calidad regular y un Q de calidad mala; esto es debido a que el uso de los dos métodos se debe considerar que sus parámetros son diferentes, y por tanto rigurosamente no comparables, sin embargo, según Barton (2006), es posible utilizar las correlaciones para determinar los tiempos de autoporte y el módulo de deformación del macizo rocoso, entre otros parámetros de interés.

En la figura 9 se representa la ecuación (15), propuesta para litologías de rocas volcánicas de la Unidad Piuntza (Edad Triásica), con las propuestas por otros autores de la tabla 20. Se observa que se sitúa en la parte central de la dispersión que se trazan en las distintas propuestas. Se debe recordar que no todas las relaciones representadas utilizan la misma versión de los sistemas RMR y/o Q. Por otra parte, aunque la ecuación propuesta no establezca una correlación tan precisa en los extremos de los sistemas RMR y Q, esto no resulta importante, porque, como se observa en la figura 8, la mayoría de los valores de RMR de Bieniawski se concentran entre 50 y 70, valores habituales en esta litología analizada, mientras que en sistema Q de Barton la práctica mayoría de los valores se sitúa entre el rango 3 y 10.

Los resultados obtenidos en la caracterización del macizo rocoso mediante Bieniawski y Barton demuestran que se puede ejecutar las operaciones mineras de una manera segura, ya que las propiedades físicas de las rocas y la resistencia del macizo es de categoría media, por lo que presenta un buen sistema de sostenimiento.



8. CONCLUSIONES

El Área Minera “Cambanas” está constituida por 3.14 Ha, que se encuentra entre las cotas 1584 y 1764 m.s.n.m. en una zona montañosa con relieve irregular y pendientes abruptas; con temperaturas de 16 a 18 °C que comprende un clima templado del Bosque Siempreverde Montano Bajo de una vegetación exuberante.

Geológicamente el área minera Cambanas está constituida en su mayor parte por rocas tipo skarn producto de un metamorfismo de contacto, en las que predominan los granates, calcita, epidotas, sulfuros, de alteración hidrotermal pertenecientes al Distrito Minero Nambija, de textura porfirítica por la presencia de los fenocristales de granates y epidotas, en una matriz fanerítica.

La galería T1 está constituida geológicamente por las siguientes litologías: de los tramo 0 – 24.07 m; 42.98 – 85.38 m y 103.50 – 117.93 m se encuentran rocas skarn, del tramo 24.07 – 29.98 m se encuentra la roca andesita, del tramo 29.98 – 32.88 m se encuentra la roca stockwork, del tramo 32.88 – 33.08 m se encuentra el dique pórfido andesítico, del tramo 33.08 – 42.98 m se encuentra la roca hornfels y del tramo 85.38 – 103.50 m se encuentra la roca skarn silicificado.

La densidad de las muestras de roca analizadas está entre 2.73 y 3.45 gr/cm³, siendo la muestra de roca tipo Skarn la de mayor densidad. El peso específico varía entre 26.81 y 35.24 N/m³ y al igual que la densidad, la muestra de Skarn posee mayor peso específico.



En los sectores uno y cuatro la valoración del R.M.R. se obtuvo como resultado un macizo de clase III de calidad regular. En los sectores: dos y tres, la valoración del R.M.R. se obtuvieron como resultado un macizo de clase II de calidad buena.

Mediante la valoración RMR de los sectores uno y cuatro se estima que se debe realizar un sostenimiento con medidas de seguridad, para un claro de 3 m, la roca posee una cohesión de 0.2 – 0.3 MPa y un ángulo de fricción de 35° - 40°. En los sectores: dos y tres, la valoración del R.M.R. se estima un sostenimiento temporal, para un claro de 4 m, la roca posee una cohesión de 0.3 – 0.4 MPa y un ángulo de fricción de 40° - 45°.

En el sector uno la valoración del Q se obtuvo como resultado un macizo de calidad mala, estimándose que se requiere sostenimiento en la boca mina. En el sector dos, la valoración del Q se obtuvo como resultado un macizo de calidad buena por estar en una roca muy competente. En los sectores tres y cuatro, la valoración del Q dio como resultado un macizo de calidad regular producto del fallamiento y cizallamiento, sin presencia de agua.

La ecuación de correlación RMR-Q del tipo logarítmica; $RMR = 7.66 * \ln Q + 46.83$ es una ecuación de carácter local por los resultados utilizados del sector y pueden ser empleadas en futuros trabajos en el área minera, especialmente en el diseño y construcción de futuras labores mineras.



9. RECOMENDACIONES

Actualizar permanentemente la topografía tanto superficial y subterránea, de acuerdo a los avances de las labores de exploración y explotación, que se realizan en el área minera “Cambanas” para tener una información más confiable y detallada.

Realizar estudios geológicos estructurales en el resto de las labores mineras en el área minera “Cambanas”, la información obtenida permitirá identificar las zonas inestables de las labores mineras y coordinar de una manera segura los trabajos de exploración y explotación minera.

Una adecuada aplicación de ambas clasificaciones geomecánicas durante la construcción de una galería es fundamental para cuantificar las condiciones existentes en el macizo rocoso y seleccionar el tipo de sostenimiento más adecuado.

Realizar los controles geomecánicos periódicos utilizando la correlación propuesta con la finalidad de conocer el comportamiento de macizo rocoso, en el sector 1 se debería realizar una adecuación técnica de la galería y tomar las respectivas medidas de control, para evitar incidentes o accidentes laborales en el desarrollo de las labores mineras.

Es de resaltar que la ecuación obtenida es de carácter local y pueden ser empleada en futuros trabajos sobre la zona, especialmente en el diseño y construcción de nuevas labores mineras.



10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Libros**

- Annels, A.E. (1991). Mineral deposit evaluation: A practical approach. Chapman & Hall. 436 pg.
- Albuja, L. 2002. Mamíferos del Ecuador. Pp. 271-327, en: Diversidad y Conservación de los Mamíferos Neotropicales (G. Ceballos y J. A. Simonetti, eds). CONABIO-UNAM, México, D.F.
- Barton, N Lien, R. y Lunden, J. (1974), *Engineering Classification of Rock Masses for the Desing of Tunnel Support. Rock Mechanics*, Springer Verlag, vol, 6 pp 189 – 236.
- Barton, N. (1995). The influence of joint properties in modelling jointed rock masses. Keynote Lecture, 8th ISRM Congress, Tokyo, 3: 1023-1032, Balkema, Rotterdam. (In Barton 2006)
- Barton N. (2006). Rock mass characterization and modelling aspects of mining and civil engineering. Proc. VI Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. Cartagena 2006.
- Belousov, V. (1979). *Geología Estructural*. Moscú. MIR
- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. John Wiley & Sons. USA.
- Camargo Puerta J. (2004). *Manual de Geología Estructural. Guía para la interpretación y elaboración de Mapas Geológicos*. Bogotá: Universidad Surcolombiana.
- Diez, O. P. (2005). *Geología Aplicada a la Ingeniería Civil*
- Egüez, A. (2002). Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo, Área: Sultana Unificada. 2002. Quito.
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Minas (2017) *Diseño de explotaciones e infraestructuras mineras subterráneas*. Universidad Politécnica de Madrid, España.



- Facultad de Ciencias Naturales y Museo (2015) *Manual de levantamiento geológico*. Universidad Nacional de la Plata. Argentina.
- Fernández, J D (2017) *Correlación entre el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton en formaciones sedimentarias de grano fino*. Bilbao, España
- Ferrer T R. (1992) Topografía aplicada a la ingeniería. ETSICCP Universidad de Cantabria, Santander, 1992.
- Gavilanes H. & Andrade B. (2004). *Introducción a la Ingeniería de Túneles*. Quito, Ecuador
- González de Vallejo, L. I. (2004). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson Educación.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. (2007). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación. Madrid.
- IGME (1987). Manual de Ingeniería de Taludes. Capítulo 5: Caracterización Geotécnica de materiales, pp 117- 152.
- ISMR (1981) Basic geotechnical description of rock masses. Int. J. Rock Mech. & Min. Sci.& Geomech. Abstr. Vol. 18. Pergamon Press.
- Kaiser, P. K., MacKay, C., Gale, A. D. (1986). Evaluation of rock classification at B. C. Rail Tumbler Ridge Tunnels. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 19(4): 205-234, doi: <http://dx.doi.org/10.1007/BF01039996>.
- Lozano, A. (2012) Martillo de Schmidt (Esclerómetro) GEOINSTRUMENTS, S.A.C
- Lunar, R., & Oyarzun, R. (1991). *Yacimientos Minerales: Técnicas de estudio, tipos evolución metalogénica, exploración*. Centros de Estudios Ramón Areces.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural*. Quito.
- Ministerio de Recursos Naturales No Renovables. (2010). *Evaluación de las zonas inestables en el sector de El Tierrero*. Quito.



Oliva, A. Ruiz A (2015) *Inestabilidad del terreno en zonas urbanas de Zaruma y Portovelo. Factores condicionantes y desencadenantes*. El Oro, Ecuador.

Pardo, J. R. (2009). *Vienen por el Oro, vienen por todo*. Buenos Aires: CICCUS

Prodeminca. (2000). *Depósitos Porfídicos y Epi-mesotermiales relacionados con Intrusiones de la Cordillera del Cóndor. Evaluación de distritos mineros del Ecuador*. Unidad de Coordinación del Proyecto Prodeminca Proyecto MEM BIRF 36-55 EC, p.223.

Ranasooriya, J., Nikraz, H. (2009). Reliability of the linear correlation of Rock Mass Rating (RMR) and Tunnelling Quality Index (Q). *Australian Geomechanics*, 44(2): 47-54.

Romana, M. (1985). New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. *Int. Symp. On the role of rock mechanics ISRM*. Zacatecas, 49-53.

Smirnov, V. I. (1982). *Geología de yacimientos minerales*. Moscú: MIR

Tarback, E. J. y Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra Una introducción a la geología física*. Madrid, España: Pearson Educación.

- **Páginas Web**

Docentes.unal.edu. (s.f.). Recuperado de <http://www.docentes.unal.edu.co/jmmonteroo/docs/10%20ESTRUCTURAS.pdf>

Ingeniería Cartográfica Geodésica. (s.f.). Recuperado de <http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria>.



11. ANEXOS



ANEXO 1: FICHAS GEOLÓGICAS PARA ANÁLISIS DE MUESTRAS



<p style="text-align: center;">Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial</p>			
FICHA PARA ANALISIS MACROSCOPICO			
Elaborado por:	Harman Uchuari Quezada	Ficha No	01
Tipo de la muestra:	GALERIA T1	Código de la muestra	AM-01
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica: Zamora Ch/ Zamora/San Carlos		<u>Características de los componentes</u>	
Sitio: Barrio Campanillas/ Área Minera Cambanas		Color	Gris verdoso
		Textura	Porfíridica
		Estructura	Masiva
		Tamaño del grano	Medio a grueso
		% Fenocristales	25%
		% matriz	75%
		<u>Contenido de Minerales</u>	
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección PSAD 56)		Minerales Secundarios	Pirita, limolita, hematita, pirilusita
X	745717	Mineralización	Baja
Y	9552744	Alteración mineralógica	Argílica
Z	1661	Grado de meteorización	Baja
Observaciones		Nombre de la roca	<i>Skarn</i>



<p style="text-align: center;">Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial</p>			
			
FICHA PARA ANALISIS MACROSCOPICO			
Elaborado por:	Harman Uchuari Quezada	Ficha No	02
Tipo de la muestra:	GALERIA T1	Código de la muestra	AM-02
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica: Zamora Ch/ Zamora/San Carlos		<u>Características de los componentes</u>	
Sitio: Barrio Campanillas/ Área Minera Cambanas		Color	Gris
		Textura	Afanítica
		Estructura	Masiva
		Tamaño del grano	Fino
		% Fenocristales	10 %
		% matriz	90%
		<u>Contenido de Minerales</u>	
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección PSAD 56)		Minerales Secundarios	Hornblenda, Anfíbol, Piroxeno
X	745709	Mineralización	
Y	9552756	Alteración mineralógica	
Z	1661	Grado de meteorización	Bajo
Observaciones	Alterado en las fracturas se observa material calcáreo y oxidación	Nombre de la roca	<i>Andesita</i>



<p style="text-align: center;">Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial</p>			
			
FICHA PARA ANALISIS MACROSCOPICO			
Elaborado por:	Harman Uchuari Quezada	Ficha No	03
Tipo de la muestra:	GALERIA T1	Código de la muestra	AM-03
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica: Zamora Ch/ Zamora/San Carlos		Características de los componentes	
Sitio: Barrio Campanillas/ Área Minera Cambanas		Color	Gris
		Textura	Afanítica
		Estructura	Masiva
		Tamaño del grano	Fino
		% Fenocristales	15 %
		% matriz	85%
		Contenido de Minerales	
		Minerales Principales	Calcita, hornblenda, oro diseminado
		Minerales Secundarios	Limolita, cuarzo, granates
		Mineralización	Media
		Alteración mineralógica	Potásica, Hidrotermal
		Grado de meteorización	Bajo
Observaciones	Protolito la andesita	Nombre de la roca	<i>Stockwork</i>



<p style="text-align: center;"> Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial </p> <p style="text-align: center;">FICHA PARA ANALISIS MACROSCOPICO</p>			
Elaborado por:	Harman Uchuari Quezada	Ficha No	04
Tipo de la muestra:	GALERIA T1	Código de la muestra	AM-04
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica: Zamora Ch/ Zamora/San Carlos		Características de los componentes	
Sitio: Barrio Campanillas/ Área Minera Cambanas		Color	Gris verdoso
		Textura	Porfírica
		Estructura	Masiva
		Tamaño del grano	Medio a grueso
		% Fenocristales	25%
		% matriz	75%
		Contenido de Minerales	
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección PSAD 56)		Minerales Secundarios	Pirita, limolita, hematita, pirilusita, Hornblenda, calcita
X	745707	Mineralización	Baja
Y	9552760	Alteración mineralógica	Argílica
Z	1661	Grado de meteorización	Baja
Observaciones		Nombre de la roca	<i>Pórfido Andesítico</i>



<p style="text-align: center;">Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial</p>			
			
FICHA PARA ANALISIS MACROSCOPICO			
Elaborado por:	Harman Uchuari Quezada	Ficha No	05
Tipo de la muestra:	GALERIA T1	Código de la muestra	MA-05
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica: Zamora Ch/ Zamora/San Carlos		<u>Características de los componentes</u>	
Sitio: Barrio Campanillas/ Área Minera Cambanas		Color	gris oscuro
		Textura	afanítica
		Estructura	Estratificada
		Tamaño del grano	fino
		% Fenocristales	5%
		% matriz	95%
		<u>Contenido de Minerales</u>	
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección PSAD 56)		Minerales Secundarios	Pirita, carbonatos
X	745705	Mineralización	Muy baja
Y	9552765	Alteración mineralógica	Argílica
Z	1661	Grado de meteorización	Bajo
Observaciones		Nombre de la roca	<i>Hornfels</i>



<p style="text-align: center;">Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial</p>			
<p>FICHA PARA ANALISIS MACROSCOPICO</p>			
Elaborado por:	Harman Uchuari Quezada	Ficha No	06
Tipo de la muestra:	GALERIA T1	Código de la muestra	MA-06
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica: Zamora Ch/ Zamora/San Carlos		<u>Características de los componentes</u>	
Sitio: Barrio Campanillas/ Área Minera Cambanas		Color	Verde claro
		Textura	Afanítica a porfiritica
		Estructura	Masiva
		Tamaño del grano	Fino a medio
		% Fenocristales	10%
		% matriz	90%
		<u>Contenido de Minerales</u>	
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección PSAD 56)		Minerales Secundarios	Pirita, cuarzo, limolita, magnetita
X	745694	Mineralización	Sulfuros
Y	9552784	Alteración mineralógica	Propilítica
Z	1661	Grado de meteorización	Bajo
Observaciones		Nombre de la roca	<i>Skarn</i>



<p style="text-align: center;">Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial</p>			
			
FICHA PARA ANALISIS MACROSCOPICO			
Elaborado por:	Harman Uchuari Quezada	Ficha No	07
Tipo de la muestra:	GALERIA T1	Código de la muestra	AM-07
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica: Zamora Ch/ Zamora/San Carlos		Características de los componentes	
Sitio: Barrio Campanillas/ Área Minera Cambanas		Color	Gris claro
		Textura	Afanítica
		Estructura	Masiva
		Tamaño del grano	Fino
		% Fenocristales	10 %
		% matriz	90%
		Contenido de Minerales	
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección PSAD 56)		Minerales Secundarios	Pirita, pirolusita, granates, hematita
X	745696	Mineralización	Sulfuros
Y	9552813	Alteración mineralógica	Potásica
Z	1662	Grado de meteorización	Bajo
Observaciones		Nombre de la roca	<i>Skarn Silicificado</i>



ANEXO 2: LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL



Datos Estructurales de la Galería T1 en el Área Minera Cambanas (Código 246)

Código	Distancia (m)	Dirección (Azimut)	Buzamiento	Estructura
01	7.06	156°	62° SW	Falla
02	7.87	330°	30° SW	Falla Arrastre
03	9.26	60°	76° SE	Falla
04	11.66	235°	78° NW	Vetilla Calcita
05	14.09	316°	74° SW	Falla Arrastre
06	19.7	05°	44° SE	Falla
07	24.07	050°	88° SE	Contacto
08	29.98	052°	73° SE	Contacto
09	32.88	050°	86° SE	Contacto
10	33.08	050°	86°SE	Contacto
11	35.78	005°	70° SE	Falla
12	35.78	148°	52° SW	Diaclasas
13	39.08	005°	70° SE	Falla
14	42.98	025°	85° SE	Contacto
15	42.98	062°	85° SE	Falla
16	46.72	005°	85° SE	Vetilla Mineralizada
17	48.72	005°	74° SE	Falla
18	51.72	013°	80° SE	Falla
19	55.32	188°	84° NW	Vetilla
20	56.72	210°	88° NW	Vetilla Calcita
21	57.72	280°	45° NE	Vetilla Calcita
22	58.22	275°	72° SW	Falla
23	58.72	201°	74° NW	veta
24	60.54	052°	44° SE	Vetilla Carbonatos
25	61.19	035°	85° SE	Vetilla Carbonatos
26	61.84	025°	72° NW	Falla
27	65.04	339°	72° NE	Falla
28	66.24	035°	85° SE	Diaclasas
29	66.8	040°	89° SE	Vetilla Carbonatos
30	67.7	025°	82° NW	Vetilla Carbonatos
31	67.9	025°	82° NW	Falla
32	69.06	025°	84° NW	Falla
33	69.71	015°	84° NW	Falla
34	70.31	082°	82° NW	Falla
35	74.68	240°	84° SE	Falla
36	76.41	010°	45° SE	Diaclasas
37	77.88	345°	89° NE	Vetilla Arcilla, Óxidos
38	78.88	240°	84° SE	Falla
39	81.38	028°	58° SE	Falla
40	84.88	013°	78° SE	Falla
41	85.38	115°	60° SW	Contacto
42	88.88	013°	78° SE	Falla
43	92.64	276°	75° NE	Falla
44	94.98	358°	68° NE	Falla
45	103.5	013°	80° SE	Contacto
46	103.5	043°	78° SE	Falla
47	109.1	080°	78° SE	Vetilla Carbonatos, Óxidos
48	109.6	260°	89° SE	Falla
49	112.49	228°	89° NW	Vetilla Carbonatos, Óxidos
50	115.2	208°	82° NW	Vetilla Carbonatos
51	117.93	050°	82° SE	Falla Inferida

Continua →



CRUCERO 1				
52	3.2	240°	82° NW	Vetilla Calcita
53	6	240°	84° NW	Vetilla Calcita
CRUCERO 2				
54	0.8	110°	80° NW	Diaclasa
55	1.2	268°	60° NW	Falla
56	4.8	235°	78° NW	Vetilla Carbonatos
CRUCERO 3				
57	7.6	230°	86° SE	Intrusivo
58	8	130°	55° SW	Falla Arrastre
59	12	005°	78° SE	Vetilla
CRUCERO 4				
60	3.6	17°	86° SE	Vetilla Calcita
51	3.6	62°	60° SE	Falla
CRUCERO 5				
62	0	17°	86° SE	Vetilla Mineralizada
63	6	238°	69° SE	Vetilla Mineralizada
CRUCERO 6				
64	1.1	272°	72°SW	Falla
65	1.1	330°	30°SW	Falla Arrastre
CRUCERO 7				
66	0.4	182°	80°NW	Vetilla Arcilla, Óxidos
67	1.5	195°	88°NW	Falla

Fuente: Autor, 2019.



ANEXO 3: RESULTADOS DE RESISTENCIA MECANICA DE LAS ROCAS



Anexo 3.1: Resistencia al rebote del martillo de Schmidt

Resistencia al rebote del martillo de Schmidt															
Código	Tipo de Roca	Datos de Campo											Promedio	peso Especifico	Ensayo al rebote del martillo (MPa)
		12	12	10	18	12	22	38	42	22	24	30			
MS1	Skarn	12	12	10	18	12	22	38	42	22	24	30	22.00	26.79	28
MS2	Skarn	12	14	26	26	20	26	20	12	22	22	18	19.82	26.79	23
MS3	Skarn	12	16	14	10	12	18	12	14	18	22	18	15.09	26.79	18
MS4	Andesita	50	40	60	40	98	98	80	80	48	32	22	58.91	27.30	225
MS5	Andesita	110	48	32	22	32	34	40	48	60	30	36	44.73	27.30	100
MS6	Skarn	30	38	18	34	30	22	22	34	22	18	18	26.00	35.23	42
MS7	Skarn	100	40	30	38	30	40	30	24	22	60	48	42.00	35.23	140
MS8	Skarn Silicificado	22	56	22	52	20	42	50	48	54	52	60	43.45	33.80	150
MS9	Skarn	40	38	50	36	80	42	38	52	48	60	72	50.55	35.23	210
MS10	Skarn	32	30	50	38	80	32	32	38	32	40	64	42.55	35.23	155

Fuente: Autor, 2020

Anexo 3.2: Resistencia a Compresión Simple

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS							
Muestra	Descripción	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Carga (N)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (MPa)
CS1	Skarn	5.00	4.90	4.90	83400	3339.40	327.71
							
Muestra	Descripción	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Carga (N)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (MPa)
CS2	Andesita	5.00	4.90	4.90	344500	13794.06	1353.69
							
Muestra	Descripción	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Carga (N)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (MPa)
CS3	Skarn	4.9	4.85	4.85	330000	13622.13	1336.81
							
Muestra	Descripción	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Carga (N)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (MPa)
CS4	Skarn Silicificado	5.10	4.90	5.90	187500	73600.44	722.32
							

Fuente: Autor, 2019



ANEXO 4: FICHAS COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO



Anexo 4.1: Fichas Clasificación Geomecánica RMR

Cálculo del RMR en hastial derecho a 12.05 m de la boca mina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL					
Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE					
Responsable:	Harman Uchuari Quezada	Tutor:	Ing. Ángel Tamayo		
Sección N°:	1, Hastial Derecha	Galería de exploración:	T1		
Ubicación:	A 12.05 m de la Boca Mina	Fecha:	18/11/2019		
CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA RMR (BIENIAWSKI)					
PARÁMETROS		DATO	VALORACIÓN	PUNTAJE	
1	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE	327.71	> 250	15	
2	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	50	50% - 75%	13	
3	ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES	250 mm	200 - 600 mm	10	
4	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES	Longitud	< 1 m	< 1 m	6
		Separación	3 mm	1 - 5 mm	1
		Rugosidad	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa	3
		Relleno	Blando, 3 mm	Blando < 5mm	2
		Meteorización	Alteración moderada	Alteración moderada	3
5	AGUA SUBTERRÁNEA	Goteo	Goteo	4	
A	AJUSTE LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	Perpendicular al eje	48	Muy Favorable	0
		Paralelo al eje	No valorado	No valorado	No valorado
B	TIPO DE ROCA	Descripción: Regular	Clase: III	RMR	57
C	TIEMPO MEDIO DE SOSTÉN		1 semana, claro de 5m		
D	CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO	Excavación	Avance y destroza de 1.5 a 3 m y el sostenimiento máximo a 10 m del frente		
		Sostenimiento	Pernos (Ø 20mm, adhesión total)	Espaciados de 1 a 1,5 m con malla si es necesario en el techo	
			Hormigón lanzado	De 50 a 100 mm de espesor en el techo y 30 mm de espesor en los hastiales	
			Marcos de acero	No es necesario	
<p>Nota: La sección D (CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO), Funciona como guías aplicables a túneles excavando la roca con el sistema de perforación y voladura a profundidades menores de 900 metros con un ancho de aproximadamente 10m. Se puede aplicar otras medidas de contención por lo que estos criterios representan el sostenimiento permanente</p>					

Fuente: Autor, 2020



Cálculo del RMR en hastial izquierdo a 12.05 m de la boca mina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL			
Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE					
Responsable:	Harman Uchuari Quezada	Tutor:	Ing. Ángel Tamayo		
Sección N°:	1, Hastial Izquierda	Galería de exploración:	T1		
Ubicación:	A 12.05 m de la Boca Mina	Fecha:	18/11/2019		
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)					
PARÁMETROS		DATO	VALORACIÓN	PUNTAJE	
1	RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAxIAL	327.71	> 250	15	
2	RQD (%) = 115 - 3.3 Jv	55	50% - 75%	13	
3	ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES	500 mm	200 - 600 mm	10	
4	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES	Longitud	< 1 m	< 1 m	6
		Separación	2 mm	1 - 5 mm	1
		Rugosidad	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa	3
		Relleno	Blando 3 mm	Blando < 5mm	2
	Meteorización	Alteración moderada	Alteración moderada	3	
5	AGUA SUBTERRÁNEA	Goteo	Goteo	4	
A	AJUSTE LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	Perpendicular al eje	48	Muy Favorable	0
		Paralelo al eje	No Valorado	No Valorado	No Valorado
B	TIPO DE ROCA	Descripción: Regular	Clase: III	RMR	57
C	TIEMPO MEDIO DE SOSTÉN			1 semana, claro de 5m	
D	CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO	Excavación	Avance y destroza de 1.5 a 3 m y el sostenimiento máximo a 10 m del frente		
		Sostenimiento	Pernos (Ø 20mm, adhesión total)	Espaciados de 1 a 1,5 m con malla si es necesario en el techo	
			Hormigón lanzado	De 50 a 100 mm de espesor en el techo y 30 mm de espesor en los hastiales	
		Marcos de acero	No es Necesario		
Nota: La sección D (CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO), Funciona como guías aplicables a túneles excavando la roca con el sistema de perforación y voladura a profundidades menores de 900 metros con un ancho de aproximadamente 10m. Se puede aplicar otras medidas de contención por lo que estos criterios representan el sostenimiento permanente					

Fuente: Autor, 2020



Cálculo del RMR en el techo a 12.05 m de la boca mina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL			
Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE					
Responsable:	Harman Uchuari Quezada	Tutor:	Ing. Ángel Tamayo		
Sección N°:	1, Techo	Galería de exploración:	T1		
Ubicación:	A 12.05 m de la Boca Mina	Fecha:	18/11/2019		
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)					
PARÁMETROS	DATO	VALORACIÓN	PUNTAJE		
1	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE	327.71	> 250	15	
2	RQD (%) = $115 - 3.3 J_v$	68	75% - 90%	17	
3	ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES	380 mm	200 - 600 mm	10	
4	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES	Longitud	1 m	1 - 3 m	4
		Separación	Nada	Nada	6
		Rugosidad	Muy Rugosa	Muy Rugosa	6
		Relleno	Ninguno	Ninguno	6
		Meteorización	Alteración moderada	Alteración moderada	3
5	AGUA SUBTERRÁNEA	Goteo	Goteo	4	
A	AJUSTE LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	Perpendicular al eje	No Valorado	No Valorado	No Valorado
		Paralelo al eje	85	Muy Desfavorable	12
B	TIPO DE ROCA	Descripción: Regular	Clase: III	RMR	59
C	TIEMPO MEDIO DE SOSTÉN		1 semana, claro de 5m		
D	CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO	Excavación	Avance y destroza de 1,5 a 3 m y el sostenimiento máximo a 10 m del frente		
		Sostenimiento	Pernos (Ø 20mm, adhesión total)	Espaciados de 1 a 1,5 m con malla si es necesario en el techo	
			Hormigón lanzado	De 50 a 100 mm de espesor en el techo y 30 mm de espesor en los hastiales	
		Marcos de acero	No es necesario		
Nota: La sección D (CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO), Funciona como guías aplicables a túneles excavando la roca con el sistema de perforación y voladura a profundidades menores de 900 metros con un ancho de aproximadamente 10m. Se puede aplicar otras medidas de contención por lo que estos criterios representan el sostenimiento permanente					

Fuente: Autor, 2020



Clasificación del macizo en el primer sector de observación

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL						
<p>Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE</p>								
1	Tipo de roca	Sección	Descripción	Clase	RMR	Promedio		
		Pared izquierda	Regular	III	57	57.67		
		Pared derecha	Regular	III	57			
		Techo	Regular	III	59			
2	Tiempo Medio de sostén			1 semana, claro de 5m				
3	Criterios de Excavación y sostenimiento	Excavación	Avance y destroza de 1.5 a 3 m y el sostenimiento máximo a 10 m del frente					
		Sostenimiento	Pernos (Ø 20mm, adhesión total)	Espaciados de 1 a 1.5 m con malla si es necesario en el techo				
			Hormigón lanzado	50-100mm en el techo. 30mm en las paredes				
			Marcos de acero	No es necesario				
								
<p>Nota: La sección D (CRITERIOS DE EXCAVACION Y SOSTENIMIENTO), Funciona como guías aplicables a túnele excavando la roca con el sistema de perforación y voladura a profundidades menores de 900 metros con un ancho de aproximadamente 10m. Se puede aplicar otras medidas de contención por lo que estos criterios representan el sostenimiento permanente</p>								

Fuente: Autor, 2020



Cálculo del RMR en el hastial derecho a 27 m de la boca mina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL			
Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE					
Responsable:	Harman Uchuari Quezada	Tutor:	Ing. Ángel Tamayo		
Sección N°:	2, Hastial Derecha	Galería de exploración:	T1		
Ubicación:	A 27 m de la Boca Mina	Fecha:	18/11/2019		
CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA RMR (BIENIAWSKI)					
PARÁMETROS		DATO	VALORACIÓN	PUNTAJE	
1	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE	1353.69	> 250	15	
2	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	48	25 - 50%	8	
3	ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES	130 mm	60 - 200 mm	8	
4	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES	Longitud	< 1 m	< 1 m	6
		Separación	2 mm	1 - 5 mm	1
		Rugosidad	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa	5
		Relleno	Blando 2 mm	Blando < 5mm	2
5	AGUA SUBTERRÁNEA	Meteorización	Ligeramente Alterada	Ligeramente Alterada	5
			Seco	Seco	15
A	AJUSTE LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	Perpendicular al eje	42	Favorable	-2
		Paralelo al eje	No Valorado	No Valorado	No Valorado
B	TIPO DE ROCA	Descripción: Buena	Clase: II	RMR	63
C	TIEMPO MEDIO DE SOSTÉN			6 meses, claro de 8 m	
D	CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO	Excavación	Sección completa de 1 a 1,5 m. sostenimiento a 20 m del frente de avance		
		Sostenimiento	Pernos (Ø 20mm, adhesión total)	Espaciados a 2,5 m con mallado si es necesario en el techo	
			Hormigón lanzado	50 mm de espesor si es necesario en el techo	
		Marcos de acero	No es necesario		
Nota: La sección D (CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO), Funciona como guías aplicables a túneles excavando la roca con el sistema de perforación y voladura a profundidades menores de 900 metros con un ancho de aproximadamente 10m. Se puede aplicar otras medidas de contención por lo que estos criterios representan el sostenimiento permanente					

Fuente: Autor, 2020



Cálculo del RMR en el hastial izquierdo a 27 m de la boca mina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL			
Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE					
Responsable:	Harman Uchuari Quezada	Tutor:	Ing. Ángel Tamayo		
Sección N°:	2, Hastial Izquierda	Galería de exploración:	T1		
Ubicación:	A 27 m de la Boca Mina	Fecha:	18/11/2019		
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)					
PARÁMETROS		DATO	VALORACIÓN	PUNTAJE	
1	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE	1353.69	> 250	15	
2	RQD (%) = 115 - 3.3 Jv	32	25 - 50%	8	
3	ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES	320	200 - 600 mm	10	
4	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES	Longitud	> 1m	1 - 3 m	4
		Separación	0.9 mm	0.1 - 1 mm	3
		Rugosidad	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa	5
		Relleno	Duro, 0.9 mm	Duro < 5mm	4
	Meteorización	Ligeramente Alterada	Ligeramente Alterada	5	
5	AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	Seco	15	
A	AJUSTE LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	Perpendicular al eje	72	Muy Favorable	0
		Paralelo al eje	No Valorado	No Valorado	No Valorado
B	TIPO DE ROCA	Descripción: Buena	Clase: II	RMR	69
C	TIEMPO MEDIO DE SOSTÉN			6 meses, claro de 8 m	
D	CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO	Excavación	Sección completa de 1 a 1.5 m. sostenimiento a 20 m del frente de avance		
		Sostenimiento	Pernos (Ø 20mm, adhesión total)	Espaciados a 2,5 m con mallado si es necesario en el techo	
			Hormigón lanzado	50 mm de espesor si es necesario en el techo	
		Marcos de acero	No es necesario		
Nota: La sección D (CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO), Funciona como guías aplicables a túneles excavando la roca con el sistema de perforación y voladura a profundidades menores de 900 metros con un ancho de aproximadamente 10m. Se puede aplicar otras medidas de contención por lo que estos criterios representan el sostenimiento permanente					

Fuente: Autor, 2020



Cálculo del RMR en el techo a 27 m de la boca mina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL			
Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE					
Responsable:	Harman Uchuari Quezada	Tutor:	Ing. Ángel Tamayo		
Sección N°:	2, Techo	Galería de exploración:	T1		
Ubicación:	A 27 m de la Boca Mina	Fecha:	18/11/2019		
CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA RMR (BIENIAWSKI)					
PARÁMETROS		DATO	VALORACIÓN	PUNTAJE	
1	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE	1353.69	> 250	15	
2	RQD (%) = 115 - 3.3 Jv	28	25 - 50%	8	
3	ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES	120	60 - 200 mm	8	
4	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES	Longitud	> 1m	1 - 3 m	4
		Separación	2 mm	1 - 5 mm	1
		Rugosidad	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa	5
		Relleno	Blando, 2 mm	Blando < 5mm	2
5	AGUA SUBTERRÁNEA	Meteorización	Ligeramente Alterada	Ligeramente Alterada	5
			Seco	Seco	15
A	AJUSTE LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	Perpendicular al eje	72	Muy Favorable	0
		Paralelo al eje	No valorado	No valorado	No valorado
B	TIPO DE ROCA	Descripción: Buena	Clase: II	RMR	63
C	TIEMPO MEDIO DE SOSTÉN			6 meses, claro de 8 m	
D	CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO	Excavación	Sección completa de 1 a 1.5 m. sostenimiento a 20 m del frente de avance		
		Sostenimiento	Pernos (Ø 20mm, adhesión total)	Espaciados a 2,5 m con mallado si es necesario en el techo	
			Hormigón lanzado	50 mm de espesor si es necesario en el techo	
		Marcos de acero	No es necesario		
Nota: La sección D (CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO), Funciona como guías aplicables a túneles excavando la roca con el sistema de perforación y voladura a profundidades menores de 900 metros con un ancho de aproximadamente 10m. Se puede aplicar otras medidas de contención por lo que estos criterios representan el sostenimiento permanente					

Fuente: Autor, 2020



Clasificación del macizo en el segundo sector de observación.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL							
Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO RÓCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE							
1	Tipo de roca	Sección	Descripción	Clase	RMR	Promedio	
		Pared izquierda	Buena	II	63		
		Pared derecha	Buena	II	69		
		Techo	Buena	II	63		
						65.00	
2	Tiempo Medio de sostén			6 meses, claro de 8m			
3	Criterios de Excavación y sostenimiento	Excavación	Sección completa de 1 a 1.5m. sostenimiento a 20m del frente de avance				
		Sostenimiento	Pernos (Ø 20mm, adhesión total)	Espaciados a 2.5 m con mallado si es necesario en el techo			
			Hormigón lanzado	50 mm de espesor si es necesario en el techo			
			Marcos de acero	No es necesario			
							
<p>Nota: La sección D (CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO), Funciona como guías aplicables a túnele excavando la roca con el sistema de perforación y voladura a profundidades menores de 900 metros con un ancho de aproximadamente 10m. Se puede aplicar otras medidas de contención por lo que estos criterios representan el sostenimiento permanente</p>							

Fuente: Autor, 2020



Cálculo del RMR en el hastial derecho a 68.50 m de la boca mina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL				
Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE						
Responsable:	Harman Uchuari Quezada	Tutor:	Ing. Ángel Tamayo			
Sección N°:	3, Hastial Derecha	Galería de exploración:	T1			
Ubicación:	A 68.50 m de la Boca Mina	Fecha:	18/11/2019			
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)						
PARÁMETROS	DATO	VALORACIÓN	PUNTAJE			
1	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE	1336.81	> 250	15		
2	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	49	25 - 50%	8		
3	ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES	330	200 - 600 mm	10		
4	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES	Longitud	0.8 m	< 1 m	6	
		Separación	0.01 mm	< 0.01 mm	5	
		Rugosidad	Muy Rugosa	Muy Rugosa	6	
		Relleno	Blando 2 mm	Blando < 5mm	2	
		Meteorización	Ligeramente Alterada	Ligeramente Alterada	5	
5	AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	Seco	15		
A	AJUSTE LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	Perpendicular al eje	68	Regular	-5	
		Paralelo al eje	No Valorado	No Valorado	No Valorado	
B	TIPO DE ROCA	Descripción:	Clase:	RMR	67	
C	TIEMPO MEDIO DE SOSTÉN			6 meses, claro de 8 m		
D	CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO	Excavación	Sección completa de 1 a 1.5m. sostenimiento a 20m del frente de avance			
		Sostenimiento	Pernos (Ø 20mm, adhesión total)	Espaciados a 2.5 m con mallado si es necesario en el techo		
			Hormigón lanzado	50 mm de espesor si es necesario en el techo		
			Marcos de acero	No es necesario		
Nota: La sección D (CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO), Funciona como guías aplicables a túnele excavando la roca con el sistema de perforación y voladura a profundidades menores de 900 metros con un ancho de aproximadamente 10m. Se puede aplicar otras medidas de contención por lo que estos criterios representan el sostenimiento permanente						

Fuente: Autor, 2020



Cálculo del RMR en el hastial izquierdo a 68.50 m de la boca mina.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL					
Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE					
Responsable:	Harman Uchuari Quezada		Tutor:	Ing. Ángel Tamayo	
Sección N°:	3, Hastial Izquierdo		Galería de exploración:	T1	
Ubicación:	A 68.50 m de la Boca Mina		Fecha:	18/11/2019	
CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA RMR (BIENIAWSKI)					
PARÁMETROS		DATO	VALORACIÓN	PUNTAJE	
1	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE		1336.81	> 250	15
2	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv		33	25 - 50%	8
3	ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES		90 mm	60 - 200 mm	8
4	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES	Longitud	> 1 m	1 - 3 m	4
		Separación	4 mm	1 - 5 mm	1
		Rugosidad	Muy Rugosa	Muy Rugosa	6
		Relleno	Duro 2 mm	Duro < 5mm	4
		Meteorización	Muy Alterada	Muy Alterada	1
5	AGUA SUBTERRÁNEA		Seco	Seco	15
A	AJUSTE LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	Perpendicular al eje	85	Muy Favorable	0
		Paralelo al eje	No Valorado	No Valorado	No Valorado
B	TIPO DE ROCA	Descripción: Buena	Clase: II	RMR	62
C	TIEMPO MEDIO DE SOSTÉN			6 meses, claro de 8 m	
D	CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO	Excavación	Sección completa de 1 a 1.5m. sostenimiento a 20m del frente de avance		
		Sostenimiento	Pernos (Ø 20mm, adhesión total)	Espaciados a 2.5 m con mallado si es necesario en el techo	
			Hormigón lanzado	50 mm de espesor si es necesario en el techo	
			Marcos de acero	No es necesario	
<p>Nota: La sección D (CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO), Funciona como guías aplicables a túnele excavando la roca con el sistema de perforación y voladura a profundidades menores de 900 metros con un ancho de aproximadamente 10m. Se puede aplicar otras medidas de contención por lo que estos criterios representan el sostenimiento permanente</p>					

Fuente: Autor, 2020



Cálculo del RMR en el techo a 68.50 m de la boca mina.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL					
Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE					
Responsable:	Harman Uchuari Quezada	Tutor:	Ing. Ángel Tamayo		
Sección N°:	3, Techo	Galería de exploración:	T1		
Ubicación:	A 68,50 m de la Boca Mina	Fecha:	18/11/2019		
CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA RMR (BIENIAWSKI)					
PARÁMETROS		DATO	VALORACIÓN	PUNTAJE	
1	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE	1336.81	> 250	15	
2	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	49	25 - 50%	8	
3	ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES	330 mm	200 - 600 mm	10	
4	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES	Longitud	> 1 m	1 - 3 m	4
		Separación	4 mm	1 - 5 mm	1
		Rugosidad	Muy Rugosa	Muy Rugosa	6
		Relleno	Duro 2 mm	Duro < 5mm	4
		Meteorización	Ligeramente Alterada	Ligeramente Alterada	5
5	AGUA SUBTERRÁNEA	Ligeramente Húmedo	Ligeramente Húmedo	10	
A	AJUSTE LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	Perpendicular al eje	85	Muy Favorable	0
		Paralelo al eje	No Valorado	No Valorado	No Valorado
B	TIPO DE ROCA	Descripción: Buena	Clase: II	RMR	63
C	TIEMPO MEDIO DE SOSTÉN		6 meses, claro de 8 m		
D	CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO	Excavación	Sección completa de 1 a 1.5m. sostenimiento a 20m del frente de avance		
		Sostenimiento	Pernos (Ø 20mm, adhesión total)	Espaciados a 2.5 m con mallado si es necesario en el techo	
			Hormigón lanzado	50 mm de espesor si es necesario en el techo	
			Marcos de acero	No es necesario	

Nota: La sección D (CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO), Funciona como guías aplicables a túnele excavando la roca con el sistema de perforación y voladura a profundidades menores de 900 metros con un ancho de aproximadamente 10m. Se puede aplicar otras medidas de contención por lo que estos criterios representan el sostenimiento permanente

Fuente: Autor, 2020



Clasificación del macizo en el tercer sector de observación

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL 							
Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE							
1	Tipo de roca	Sección	Descripción	Clase	RMR	Promedio	
		Pared izquierda	Buena	II	67		
		Pared derecha	Buena	II	62		
		Techo	Buena	II	63		
2						Tiempo Medio de sostén	6 meses, claro de 8m
3	Criterios de Excavación y sostenimiento	Excavación	Sección completa de 1 a 1.5 m sostenimiento a 20m del frente de avance				
		Sostenimiento	Pernos (Ø 20mm, adhesión total)	Espaciados a 2.5 m con mallado si es necesario en el techo			
			Hormigón lanzado	50 mm de espesor si es necesario en el techo			
			Marcos de acero	No es necesario			
							
Nota: La sección D (CRITERIOS DE EXCAVACION Y SOSTENIMIENTO), Funciona como guías aplicables a túnele excavando la roca con el sistema de perforación y voladura a profundidades menores de 900 metros con un ancho de aproximadamente 10m. Se puede aplicar otras medidas de contención por lo que estos criterios representan el sostenimiento permanente							

Fuente: Autor, 2020



Cálculo del RMR en el hastial derecho a 89.51 m de la boca mina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL					
Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE					
Responsable:	Harman Uchuari Quezada	Tutor:	Ing. Ángel Tamayo		
Sección N°:	4, Hastial Derecha	Galería de exploración:	T1		
Ubicación:	A 89.51 m de la Boca Mina	Fecha:	18/11/2019		
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)					
PARÁMETROS		DATO	VALORACIÓN	PUNTAJE	
1	RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAxIAL	722.32	> 250	15	
2	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	12	< 25 %	3	
3	ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES	45 mm	< 60 mm	5	
4	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES	Longitud	0.8 m	< 1 m	6
		Separación	Cerrada	< 0.01 mm	5
		Rugosidad	Muy Rugosa	Muy Rugosa	6
		Relleno	No presenta	Ninguno	6
		Meteorización	Ligeramente Alterada	Ligeramente Alterada	5
5	AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	Seco	15	
A	AJUSTE LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	Perpendicular al eje	78	Muy Favorable	0
		Paralelo al eje	No Valorado	No Valorado	No Valorado
B	TIPO DE ROCA	Descripción: Buena	Clase: II	RMR	66
C	TIEMPO MEDIO DE SOSTÉN		6 meses, claro de 8 m		
D	CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO	Excavación	Sección completa de 1 a 1.5 m. sostenimiento a 20 m del frente de avance		
		Sostenimiento	Pernos (Ø 20mm, adhesión total)	Espaciados a 2.5 m con mallado si es necesario en el techo	
			Hormigón lanzado	50 mm de espesor si es necesario en el techo	
			Marcos de acero	No es Necesario	

Nota: La sección D (CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO), Funciona como guías aplicables a túnele excavando la roca con el sistema de perforación y voladura a profundidades menores de 900 metros con un ancho de aproximadamente 10m. Se puede aplicar otras medidas de contención por lo que estos criterios representan el sostenimiento permanente

Fuente: Autor, 2020



Cálculo del RMR en el hastial izquierdo a 89.51 m de la boca mina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL					
Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE					
Responsable:	Harman Uchuari Quezada	Tutor:	Ing. Ángel Tamayo		
Sección N°:	4, Hastial Izquierdo	Galería de exploración:	T1		
Ubicación:	A 89.51 m de la Boca Mina	Fecha:	18/11/2019		
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)					
	PARÁMETROS	DATO	VALORACIÓN	PUNTAJE	
1	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE	722.32	> 250	15	
2	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	15	< 25 %	3	
3	ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES	15 mm	< 60 mm	5	
4	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES	Longitud	> 1 m	1 - 3 m	4
		Separación	Cerrada	Cerrada	6
		Rugosidad	Ligeramente Rugosa	Ligeramente Rugosa	3
		Relleno	No presenta	Ninguno	6
		Meteorización	Ligeramente Alterada	Ligeramente Alterada	5
5	AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	Seco	15	
A	AJUSTE LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	Perpendicular al eje	No Valorado	No Valorado	No Valorado
		Paralelo al eje	80	Muy Desfavorable	-12
B	TIPO DE ROCA	Descripción: Regular	Clase: III	RMR	50
C	TIEMPO MEDIO DE SOSTÉN		1 semana, claro de 5 m		
D	CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO	Excavación	Avance y destroza de 1.5 a 3 m y el sostenimiento máximo a 10 m del frente		
		Sostenimiento	Pernos (Ø 20mm, adhesión total)	Espaciados de 1 a 1.5 m con malla si es necesario en el techo	
			Hormigón lanzado	De 50 a 100 mm de espesor en el techo y 30 mm de espesor en los hastiales	
			Marcos de acero	No es necesario	
Nota: La sección D (CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO), Funciona como guías aplicables a túnele excavando la roca con el sistema de perforación y voladura a profundidades menores de 900 metros con un ancho de aproximadamente 10m. Se puede aplicar otras medidas de contención por lo que estos criterios representan el sostenimiento permanente					

Fuente: Autor, 2020



Cálculo del RMR en el techo a 89.51 m de la boca mina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL					
Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE					
Responsable:	Harman Uchuari Quezada	Tutor:	Ing. Ángel Tamayo		
Sector N°:	4, Techo	Galería de exploración:	T1		
Ubicación:	A 89,51 m de la Boca Mina	Fecha:	18/11/2019		
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)					
PARÁMETROS		DATO	VALORACIÓN	PUNTAJE	
1	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE	722.32	> 250	15	
2	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	22	< 25 %	3	
3	ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES	20 mm	< 60 mm	5	
4	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES	Longitud	> 1 m	1 - 3 m	4
		Separación	Cerrada	Cerrada	6
		Rugosidad	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa	5
		Relleno	No presenta	Ninguno	6
		Meteorización	Ligeramente Alterada	Ligeramente Alterada	5
5	AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	Seco	15	
A	AJUSTE LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	Perpendicular al eje	No Valorado	No Valorado	No Valorado
		Paralelo al eje	80	Muy Desfavorable	-12
B	TIPO DE ROCA	Descripción: Regular	Clase: III	RMR	52
C	TIEMPO MEDIO DE SOSTÉN		1 semana, claro de 5 m		
D	CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO	Excavación	Avance y destroza de 1.5 a 3 m y el sostenimiento máximo a 10 m del frente		
		Sostenimiento	Pernos (Ø 20mm, adhesión total)	Espaciados de 1 a 1.5 m con malla si es necesario en el techo	
			Hormigón lanzado	De 50 a 100 mm de espesor en el techo y 30 mm de espesor en los hastiales	
			Marcos de acero	No es necesario	
Nota: La sección D (CRITERIOS DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO), Funciona como guías aplicables a túnele excavando la roca con el sistema de perforación y voladura a profundidades menores de 900 metros con un ancho de aproximadamente 10m. Se puede aplicar otras medidas de contención por lo que estos criterios representan el sostenimiento permanente					

Fuente: Autor, 2020



Clasificación del macizo en el cuarto sector de observación

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL 							
Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE							
1	Tipo de roca	Sección	Descripción	Clase	RMR	Promedio	
		Pared izquierda	Buena	II	66		
		Pared derecha	Regular	III	50		
		Techo	Regular	III	52		
2	Tiempo Medio de sostén			1 semana, claro de 5 m			
3	Criterios de Excavación y sostenimiento	Excavación	Avance y destroza de 1.5 a 3 m y el sostenimiento máximo a 10 m del frente				
		Sostenimiento	Pernos (Ø 20mm, adhesión total)	Espaciados de 1 a 1.5 m con malla si es necesario en el techo			
			Hormigón lanzado	De 50 a 100 mm de espesor en el techo y 30 mm de espesor en los hastiales			
			Marcos de acero	No es necesario			
							
Nota: La sección D (CRITERIOS DE EXCAVACION Y SOSTENIMIENTO), Funciona como guías aplicables a túnele excavando la roca con el sistema de perforación y voladura a profundidades menores de 900 metros con un ancho de aproximadamente 10m. Se puede aplicar otras medidas de contención por lo que estos criterios representan el sostenimiento permanente							

Fuente: Autor, 2020



Anexo 4.2: Fichas Clasificación Geomecánica Q De Barton

Cálculo del Q de Barton en hastial derecho a 12.05 m de la boca mina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL



Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE

Responsable: Harman Uchuari Quezada **Tutor:** Ing. Ángel Tamayo
Sector N°: 1, Hastial Derecha **Galería de exploración:** T1
Ubicación: A 12.05 m de la Boca Mina **Fecha:** 19/11/2019

CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA Q (BARTON)			
PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN		VALOR
1	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Regular	50
2	Jn: Número de Familia de Diaclasas	Una familia de diaclasas y algunas ocasionales	3
3	Jr: Rugosidad de las Discontinuidades	Juntas planas	2
4	Ja: Alteración de las Diaclasas	Estructuras con cajas ligeramente alteradas	2
5	Jw: Presencia de Agua	Infiltraciones menores	1
6	Srf: Factor Reductor del Esfuerzo	Roca competente	5
B	Tipo De Roca	Calidad Mala	Q: 3.33
C	Sostenimiento	No requiere sostenimiento	

Fuente: Autor, 2020

Cálculo del Q de Barton en hastial izquierdo a 12,05 m de la boca mina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL



Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE

Responsable: Harman Uchuari Quezada **Tutor:** Ing. Ángel Tamayo
Sector N°: 1, Hastial Izquierda **Galería de exploración:** T1
Ubicación: A 12.05 m de la Boca Mina **Fecha:** 19/11/2019

CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA Q (BARTON)			
PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN		VALOR
1	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Regular	55
2	Jn: Número de Familia de Diaclasas	Una familia de diaclasas y algunas ocasionales	3
3	Jr: Rugosidad de las Discontinuidades	Juntas planas y lisas	1
4	Ja: Alteración de las diaclasas	Estructuras bien trabadas	1
5	Jw: Presencia de agua	Infiltraciones menores	1
6	SRF: Factor reductor del esfuerzo	Roca competente	5
B	Tipo de roca	Calidad Mala	Q: 3.67
C	Sostenimiento	No requiere sostenimiento	

Fuente: Autor, 2020



Cálculo del Q de Barton en el techo a 12.05 m de la boca mina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL



Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE

Responsable: Harman Uchuari Quezada **Tutor:** Ing. Ángel Tamayo
Sector N°: 1, Techo **Galería de Exploración:** T1
Ubicación: A 12.05 m de la Boca Mina **Fecha:** 19/11/2019

CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA Q (BARTON)

	PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	RQD (%) = $115 - 3.3 J_v$	Regular	68
2	Jn: Número de familia de diaclasas	Una familia de diaclasas y algunas ocasionales	3
3	Jr: Rugosidad de las discontinuidades	Juntas planas y lisas	1
4	Ja: Alteración de las diaclasas	Cara de la junta únicamente manchadas	1
5	Jw: Presencia de agua	Infiltraciones menores	1
6	SRF: Factor reductor del esfuerzo	Roca competente	5
B	Tipo de roca	Calidad Regular	Q: 4.53
C	Sostenimiento	No requiere sostenimiento	

Fuente: Autor, 2020

Cálculo del Q de Barton en hastial derecho a 27 m de la boca mina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL



Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE

Responsable: Harman Uchuari Quezada **Tutor:** Ing. Ángel Tamayo
Sector N°: 2, Hastial Derecha **Galería de exploración:** T1
Ubicación: A 27 m de la Boca Mina **Fecha:** 19/11/2019

CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA Q (BARTON)

	PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	RQD (%) = $115 - 3.3 J_v$	Mala	48
2	Jn: Número de familia de diaclasas	Dos familias de diaclasas	4
3	Jr: Rugosidad de las discontinuidades	Juntas discontinuas	4
4	Ja: Alteración de las diaclasas	Caras de las juntas manchadas	1
5	Jw: Presencia de agua	Excavaciones secas	1
6	SRF: Factor reductor del esfuerzo	Zona fracturada en roca competente	5
B	Tipo de roca	Calidad Regular	Q: 9.60
C	Sostenimiento	No requiere sostenimiento	

Fuente: Autor, 2020



Cálculo del Q de Barton en hastial izquierdo a 27 m de la boca mina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL



Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE

Responsable: Harman Uchuari Quezada **Tutor:** Ing. Ángel Tamayo
Sector N°: 2, Hastial Izquierda **Galería de exploración:** T1
Ubicación: A 27 m de la Boca Mina **Fecha:** 19/11/2019

CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA Q (BARTON)

	PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Mala	32
2	Jn: Número de familia de diaclasas	Una familia de diaclasas y otras ocasionales	3
3	Jr: Rugosidad de las discontinuidades	Juntas rugosas	3
4	Ja: Alteración de las diaclasas	Juntas selladas	0.75
5	Jw: Presencia de agua	Excavaciones secas	1
6	SRF: Factor reductor del esfuerzo	Zona fracturada en roca competente	2.5
B	Tipo de roca	Calidad Buena	Q: 17.07
C	Sostenimiento	No requiere sostenimiento	

Fuente: Autor, 2020

Cálculo del Q de Barton en el techo a 27 m de la boca mina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL



Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE

Responsable: Harman Uchuari Quezada **Tutor:** Ing. Ángel Tamayo
Sector N°: 2, Techo **Galería de exploración:** T1
Ubicación: A 27 m de la Boca Mina **Fecha:** 19/11/2019

CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA Q (BARTON)

	PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Mala	28
2	Jn: Número de familia de diaclasas	Una familia de diaclasas	2
3	Jr: Rugosidad de las discontinuidades	Juntas rugosas	3
4	Ja: Alteración de las diaclasas	Juntas únicamente manchadas	1
5	Jw: Presencia de agua	Excavaciones secas	1
6	SRF: Factor reductor del esfuerzo	Zona fracturada en roca competente	5
B	Tipo de roca	Calidad Regular	Q: 8.40
C	Sostenimiento	No requiere sostenimiento	

Fuente: Autor, 2020



Cálculo del Q de Barton en hastial derecho a 68.50 m de la boca mina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL



Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE

Responsable: Harman Uchuari Quezada **Tutor:** Ing. Ángel Tamayo
Sector N°: 3, Hastial Derecho **Galería de exploración:** T1
Ubicación: A 68.50 m de la Boca Mina **Fecha:** 19/11/2019

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q (BARTON)

	PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Mala	49
2	Jn: Número de familia de diaclasas	Dos familias de diaclasas y unas ocasionales	6
3	Jr: Rugosidad de las discontinuidades	Juntas rugosas e irregulares	3
4	Ja: Alteración de las diaclasas	Caras de las juntas alteradas ligeramente	2
5	Jw: Presencia de agua	Excavaciones secas	1
6	SRF: Factor reductor del esfuerzo	Tensiones medias	1
B	Tipo de roca	Calidad Buena	Q: 12.25
C	Sostenimiento	No requiere sostenimiento	

Fuente: Autor, 2020

Cálculo del Q de Barton en hastial izquierdo a 68.50 m de la boca mina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL



Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE

Responsable: Harman Uchuari Quezada **Tutor:** Ing. Ángel Tamayo
Sector N°: 3, Hastial Izquierda **Galería de exploración:** T1
Ubicación: A 68.50 m de la Boca Mina **Fecha:** 19/11/2019

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q (BARTON)

	PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Mala	33
2	Jn: Número de familia de diaclasas	Una familia de diaclasas y unas ocasionales	3
3	Jr: Rugosidad de las discontinuidades	Juntas rugosas e irregulares	3
4	Ja: Alteración de las diaclasas	Caras de las juntas alteradas ligeramente	2
5	Jw: Presencia de agua	Excavaciones secas	1
6	Srf: Factor reductor del esfuerzo	Tensiones altas, estructura con relleno duro	2
B	Tipo de roca	Calidad Regular	Q: 8.25
C	Sostenimiento	No requiere sostenimiento	

Fuente: Autor, 2020



Cálculo del Q de Barton en el techo a 68.50 m de la boca mina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL



Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE

Responsable: Harman Uchuari Quezada **Tutor:** Ing. Ángel Tamayo
Sector N°: 3, Techo **Galería de exploración:** T1
Ubicación: A 68.50 m de la Boca Mina **Fecha:** 19/11/2019

CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA Q (BARTON)

	PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Mala	49
2	Jn: Número de familia de diaclasas	Dos familias de diaclasas	4
3	Jr: Rugosidad de las discontinuidades	Juntas rugosas e irregulares	3
4	Ja: Alteración de las diaclasas	Caras de las juntas manchadas	1
5	Jw: Presencia de agua	Excavaciones secas	1
6	SRF: Factor reductor del esfuerzo	Zona fracturada en roca competente	5
B	Tipo de roca	Calidad Regular	Q: 7.35
C	Sostenimiento	No requiere sostenimiento	

Fuente: Autor, 2020

Cálculo del Q de Barton en hastial derecho a 89.51 m de la boca mina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL



Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE

Responsable: Harman Uchuari Quezada **Tutor:** Ing. Ángel Tamayo
Sector N°: 4, Hastial Derecha **Galería de exploración:** T1
Ubicación: A 89.51 m de la Boca Mina **Fecha:** 20/11/2019

CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA Q (BARTON)

	PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Mala	12
2	Jn: Número de familia de diaclasas	Una familia de diaclasas	2
3	Jr: Rugosidad de las discontinuidades	Juntas discontinuas	4
4	Ja: Alteración de las diaclasas	Caras de las juntas únicamente manchadas	1
5	Jw: Presencia de agua	Excavaciones secas	1
6	SRF: Factor reductor del esfuerzo	Tensiones altas, estructuras muy compactas	2
B	Tipo de roca	Calidad Buena	Q: 12.00
C	Sostenimiento	No requiere sostenimiento	

Fuente: Autor, 2020



Cálculo del Q de Barton en hastial izquierdo a 89.51 m de la boca mina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL



Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE

Responsable: Harman Uchuari Quezada **Tutor:** Ing. Ángel Tamayo
Sector N°: 4, Hastial Izquierdo **Galería de exploración:** T1
Ubicación: A 89.51 m de la Boca Mina **Fecha:** 19/11/2019

CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA Q (BARTON)

	PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Mala	15
2	Jn: Número de familia de diaclasas	Una familia de diaclasas	2
3	Jr: Rugosidad de las discontinuidades	Juntas planas rugosas e irregulares	1.5
4	Ja: Alteración de las diaclasas	Caras de las juntas alteradas ligeramente	2
5	Jw: Presencia de agua	Excavaciones secas	1
6	SRF: Factor reductor del esfuerzo	Tensiones altas, en rocas competentes	5
B	Tipo de roca	Calidad Mala	Q: 1.13
C	Sostenimiento	No requiere sostenimiento	

Fuente: Autor, 2020

Cálculo del Q de Barton en el techo a 89.51 m de la boca mina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL



Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE EXPLORACIÓN T1 EN EL ÁREA MINERA CAMBANAS (CÓDIGO 246) UBICADO EN LA PARROQUIA SAN CARLOS DE LAS MINAS, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE

Responsable: Harman Uchuari Quezada **Tutor:** Ing. Ángel Tamayo
Sector N°: 4, Techo **Galería de exploración:** T1
Ubicación: A 89.51 m de la Boca Mina **Fecha:** 20/11/2019

CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA Q (BARTON)

	PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Mala	22
2	Jn: Número de familia de diaclasas	Dos familias de diaclasas	4
3	Jr: Rugosidad de las discontinuidades	Juntas rugosas e irregulares	3
4	Ja: Alteración de las diaclasas	Caras de las juntas únicamente manchadas	1
5	Jw: Presencia de agua	Excavaciones secas	1
6	SRF: Factor reductor del esfuerzo	Tensiones altas, en rocas competentes	5
B	Tipo de roca	Calidad Mala	Q: 3.30
C	Sostenimiento	No requiere sostenimiento	

Fuente: Autor, 2020



ANEXO 5: MAPAS DEL ÁREA DE ESTUDIO



Anexo 5.1: Mapa de Ubicación y Acceso



Anexo 5.2: Topografía del Área Minera Cambanas (Código 246)



Anexo 5.3: Mapa de Pendientes del Área Minera Cambanas
(Código 246)



Anexo 5.4: Geología Regional



Anexo 5.5: Mapa de Muestreo y Ensayos del Área Minera Cambanas (Código 246)



Anexo 5.6: Geología Estructural Local de la Galería T1 del Área Minera Cambanas (Código 246)



Anexo 5.7: Calidad del Macizo Rcoso en la Galería T1 del
Área Minera Cambanas (Código 246)



ANEXO 6: REGISTRO FOTOGRÁFICO



Entrada al área Minera "Cambanas"



Entrada al área Minera "Cambanas"



Área Minera Cambanas



Boca Mina Galería T1



Toma de muestras



Observación de la muestra



Zona diaclasada



Zona diaclasada



Medición de las Discontinuidades



Uso del Martillo de Schmidt



Sectores para determinar el comportamiento geomecánico



Cubos de rocas para el ensayo de compresión simple



Peso de las muestras



Ensayo para el peso específico



Equipo de compresión simple de rocas



Prueba de compresión simple