UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGÍA, INDUSTRIAS Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES.

CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ" (CÓDIGO 60000490) UBICADA EN LA PARROQUIA LARAMA, CANTÓN MACARÁ, PROVINCIA DE LOJA.

Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial.

AUTOR:

ROBERTO CARLOS CHUQUIHUANCA SOLÓRZANO.

TUTOR:

ING. HERNÁN LUIS CASTILLO GARCÍA, Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR

2021

CERTIFICACIÓN

Ing. Hernan Luis Castillo García Mg.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado y corregido el presente trabajo de titulación (Tesis de Grado), en su proceso de investigación cuyo tema versa: **"ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMA" (CÓDIGO 60000490) UBICADA EN LA PARROQUIA LARAMA, CANTÓN MACARÁ, PROVINCIA DE LOJA."**, Previo a la obtención del título de: **INGENIERO EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL**, realizado por el Sr. **ROBERTO CARLOS CHUQUIHUANCA SOLÓRZANO**, el mismo que se ha cumplido con el 100 por ciento del desarrollo del mismo y cumple con la reglamentación para su evaluación y posterior sustentación.

Loja, 08 de septiembre de 2021

HERNAN LUIS CASTILLO GARCIA

Ing. Hernán Luis Castillo García, Mg.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, **Roberto Carlos Chuquihuanca Solórzano**, declaro ser el autor del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a 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

C.I.: 1104085723

Fecha: 08 de noviembre de 2021

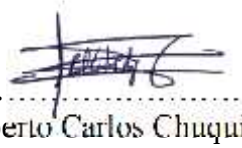
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, **ROBERTO CARLOS CHUQUIHUANCA SOLÓRZANO** declaro ser autor de la tesis titulada: "**ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490), UBICADO EN LA PARROQUIA LARAMA, CANTÓN MACARÁ, PROVINCIA DE LOJA.",** 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 8 días del mes de noviembre del dos mil veintiuno, en la ciudad de Loja firma el autor.



Firma: ……
Autor: Roberto Carlos Chuquihuanca Solórzano
Cédula: 1104085723
Dirección: Ciudadela Sauces Norte. Calles Salvador Dalí y Greco Esquina.
Correo Electrónico: rcchuquihuancas@unl.edu.ec
Celular: 0996441875
Celular referencia (Padre): 0967797439

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Hernán Luis Castillo García, Mg.Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Jimmy Stalin Paladines. Mg.Sc.
Ing. Ángel Efrén Tamayo Jaramillo. Mg.Sc.
Ing. Carlos Danilo Ortega Vallejo. Mg.Sc.

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a Dios, a mi abuelita Irene, a mis Padres Carlos y Liz, a mis hermanos José Luis y Francisco, a mi mujer Paulina y a mi hermosa hija Lucianna, quienes con su amor, paciencia, esfuerzo y sacrificio me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más y de enseñarme a no darme por vencido nunca.

Roberto Carlos Chuquihuanca Solórzano

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por bendecirme dándome la fuerza física, mental y espiritual para culminar con esta gran etapa de mi vida

A mi abuelita por estar siempre conmigo durante este proceso tan largo, apoyarme y creer en mí siempre, nunca podré pagarte por todo lo que has hecho, tú eres y serás siempre mi segunda madre.

A mis padres y mis hermanos por haberme forjado y ser la persona que soy hoy en día; muchos de las cosas que he logrado se las debo a ellos, porque a pesar de las dificultades que se nos ha presentado en la vida siempre han sabido enseñarme a salir adelante y a no rendirme nunca.

A mi mujer y a mi hija por su gran afecto, cariño y apoyo incondicional que son los detonantes de mi felicidad, de mi esfuerzo, de mis ganas de seguir adelante y alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

A la Universidad Nacional de Loja, al Área 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.

Al Ingeniero Hernán Castillo por guiarme en el presente trabajo de investigación e impartirme su conocimiento y experiencia que fueran de gran ayuda para su culminación, así como a todos mis profesores que me compartieron sus conocimientos y enseñanzas que fueran de gran ayuda en toda mi carrera.

Finalmente agradezco a todas las personas que de una u otra manera colaboraron conmigo hasta la culminación de mi trabajo.

Roberto Carlos Chuquihuanca Solórzano

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

2.1 ABSTRACT 4

3. INTRODUCCIÓN 6

3.1 Objetivos 7

3.1.1 Objetivo General 7

3.1.2 Objetivos Específicos 7

4. REVISIÓN DE LITERATURA 8

4.1 Topografía 8

4.1.1 Topografía Superficial. 8

4.1.2 Topografía Subterránea. 8

4.2 Geología 9

4.2.1 Geología Estructural. 9

4.2.2 Estructuras Geológicas. 10

4.3 Yacimientos minerales 14

4.3.1 Explotación de yacimientos minerales. 14

4.4 Macizo Rocoso 15

4.4.1 Caracterización del Macizo Rocoso. 15

4.4.2 Clasificaciones Geomecánicas. 16

4.4.3 Clasificación de Bieniawski (R.M.R.). 17

4.4.4 Clasificación de Q de Barton 21

4.4.5 Sostenimiento por métodos empíricos 26

5. MATERIALES Y METODOLOGÍA 30

5.1 Materiales 30

5.2. Metodología 30

5.2.1 Metodología para el primer objetivo. 31

5.2.2 Metodología para el segundo objetivo. 32

5.2.3 Metodología para el tercer objetivo. ... 32
6. RESULTADOS ... 35
6.1 Ubicación Geográfica y Acceso ... 35
6.2 Topografía del Área Minera Cangonamá ... 35
6.2.1 Topografía Superficial ... 35
6.2.2 Topografía Subterránea ... 36
6.3 Geología Local ... 37
6.4 Geología Subterránea ... 37
6.5 Geología Estructural Subterránea ... 38
6.6 Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso RMR ... 45
6.6.1 Resistencia a la compresión simple ... 46
6.6.2 Sistema de Valoración del Macizo Rocoso RMR ... 46
6.6.3 Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso de Bieniawski (R.M.R.) ... 61
6.7 Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso del Q de Barton ... 62
6.7.1 Sistema de Valoración del Macizo Rocoso Q de Barton ... 62
6.7.2 Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso del Q de Barton ... 71
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS ... 73
8. CONCLUSIONES ... 75
9. RECOMENDACIONES ... 77
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ... 78
11. ANEXOS ... 81
Anexo 1: Registro Fotográfico ... 82
Anexo 2: Fichas descripción de afloramientos ... 85
Anexo 3: Fichas descripción macroscópica de rocas ... 90
Anexo 4: Mapa Topográfico Superficial (CD N°2) ... 93
Anexo 5: Mapa Topográfico Subterráneo (CD N°2) ... 94
Anexo 6: Mapa Geológico Superficial (CD N°2) ... 95
Anexo 7: Mapa Geológico-Estructural de la Galería Principal (CD N°2) ... 96
Anexo 8: Mapa de la Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso de Bieniawski (R.M.R.) (CD N°2) ... 97
Anexo 9: Mapa de la Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso del Q de Barton. (CD N°2) ... 98
Anexo 10: Cortes Geológicos (CD N°2) ... 99
Anexo 11: Ensayos de Compresión Simple ... 100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resistencia a compresión simple. 18
Tabla 2. Índice de Calidad de la Roca (RQD). 18
Tabla 3. Espaciado de las discontinuidades. 18
Tabla 4. Persistencia de las discontinuidades. 19
Tabla 5. Abertura de las discontinuidades. 19
Tabla 6. Rugosidad de las discontinuidades. 19
Tabla 7. Relleno de las discontinuidades. 20
Tabla 8. Alteración de las discontinuidades. 20
Tabla 9. Presencia de agua. 20
Tabla 10. Orientación de las discontinuidades con respecto a la obra. 21
Tabla 11. Calidad de macizo rocoso con relación al RMR. 21
Tabla 12. Calidad de RQD en la Q de Barton. 22
Tabla 13. Valoración del índice de diaclasado (Jn). 22
Tabla 14. Valoración del índice de rugosidad (Jr). 23
Tabla 15. Valor índice de alteración de las discontinuidades. (Ja) 23
Tabla 16. Factor de reducción de presencia de agua (Jw) 24
Tabla 17. Valoraciones SFR 24
Tabla 18. Clasificación del macizo rocoso según Q de Barton. 26
Tabla 19. Recomendaciones para el sostenimiento de túneles. 28
Tabla 20. Valores de índice ESR de la clasificación Q de Barton 28
Tabla 21. Coordenadas boca mina 36
Tabla 22. Datos estructurales de la galería de explotación 42
Tabla 23. Resistencia a la compresión simple en los tramos determinados. 46
Tabla 24. RMR en hastial derecho a 18.7m de la galería tramo N°1 46
Tabla 25. RMR en hastial izquierdo a 18.7m de la galería tramo N°1 47
Tabla 26. RMR en el techo a 18.7m de la galería tramo N°1 48
Tabla 27. Clasificación del macizo del primer tramo de observación 49
Tabla 28. RMR en hastial derecho a 48.5m de la galería tramo N°2 49
Tabla 29. RMR en hastial izquierdo a 48.5m de la galería tramo N°2 50
Tabla 30. RMR en el techo a 48.5m de la galería tramo N°2 51
Tabla 31. Clasificación del macizo del segundo tramo de observación 52
Tabla 32. RMR en hastial derecho a 85.6m de la galería tramo N°3 53
Tabla 33. RMR en hastial izquierdo a 85.6m de la galería tramo N°3 54
Tabla 34. RMR en el techo a 85.6m de la galería tramo N°3 55
Tabla 35. Clasificación del macizo del tercer tramo de observación 56
Tabla 36. RMR en hastial derecho a 132.8m de la galería tramo N°4 57
Tabla 37. RMR en hastial izquierdo a 132.8m de la galería tramo N°4 58
Tabla 38. RMR en el techo a 132.8m de la galería tramo N°4 59
Tabla 39. Clasificación del macizo del cuarto tramo de observación 60
Tabla 40. Resultados de la Valoración Geomecánica del Macizo Rocoso de Bieniawski (R.M.R.) 61
Tabla 41. Q de Barton en el hastial derecho a 18.7m de la galería tramo N°1 62
Tabla 42. Q de Barton en el hastial izquierdo a 18.7m de la galería tramo N°1 63
Tabla 43. Q de Barton en el techo a 18.7m de la galería tramo N°1 63
Tabla 44. Clasificación del macizo del primer tramo de observación Q de Barton 64

Tabla 45. Q de Barton en el hastial derecho a 48.5m de la galería tramo N°2..... 64
Tabla 46. Q de Barton en el hastial izquierdo a 48.5m de la galería tramo N°2 65
Tabla 47. Q de Barton en el techo a 48.5m de la galería tramo N°2 66
Tabla 48. Clasificación del macizo del segundo tramo de observación Q de Barton 66
Tabla 49. Q de Barton en el hastial derecho a 85.6m de la galería tramo N°3..... 67
Tabla 50. Q de Barton en el hastial izquierdo a 85.6m de la galería tramo N°3 67
Tabla 51. Q de Barton en el techo a 85.6m de la galería tramo N°3 68
Tabla 52. Clasificación del macizo del tercer tramo de observación Q de Barton..... 69
Tabla 53. Q de Barton en el hastial derecho a 132.8m de la galería tramo N°4..... 69
Tabla 54. Q de Barton en el hastial izquierdo a 132.8m de la galería tramo N°4 70
Tabla 55. Q de Barton en el techo a 132.8m de la galería tramo N°4 70
Tabla 56. Clasificación del macizo del cuarto tramo de observación Q de Barton..... 71
Tabla 57. Resultados de la Valoración Geomecánica del Macizo Rocoso del Q de Barton 71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bloque diagrama de los principales tipos de estratos plegados. 10
Figura 2. Falla Geologia Normal 11
Figura 3. El movimiento a lo largo de esas fracturas ha inclinado los bloques produciendo lineaciones montañosas paralelas denominadas montañas limitadas por fallas. 12
Figura 4. Falla Geológica Inversa. 12
Figura 5. Desarrollo idealizado del manto de cabalgamiento Lewis. A. Entorno geológico antes de la deformación. B, C. El movimiento a gran escala a lo largo de un cabalgamiento desplazó rocas precámbricas sobre estratos cretácicos en la región Glacier D. 13
Figura 6. Las diaclasas en las rocas graníticas de la parte superior del domo Lembert. 13
Figura 7. Estimación de auto-soporte en excavación sin soporte..... 27
Figura 8. Estimación de soporte según el índice Q. 29
Figura 9. Representación estereográfica del diagrama de máxima concentración de polos de diaclasas. 44
Figura 10. Representación estereográfica del diagrama de densidades de diaclasas. 44
Figura 11. Representación estereográfica del diagrama de rosetas de diaclasas..... 45

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Bocamina del área minera. 37
Fotografía 2. Roca encajante granodiorita 39
Fotografía 3. Incrustación de limonita 39
Fotografía 4. Roca diorita con incrustaciones de limonita..... 40
Fotografía 5. Veta mineralizada..... 40
Fotografía 6. Pozo dentro de la galería principal 41
Fotografía 7. Roca encajante Granito con mezcla de granodiorita meteorizada..... 41
Fotografía 8. Vetillas de cuarzo 42

1. TÍTULO

ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL “CANGONAMÁ”, (CÓDIGO 60000490), UBICADO EN LA PARROQUIA LARAMA, CANTÓN MACARÁ, PROVINCIA DE LOJA.

2. RESUMEN

El presente proyecto de investigación describe al Estudio Geológico Estructural y Determinación de la Calidad del Macizo Rocos de la Galería Principal del Área Minera "Cangonamá" (código 60000490), Ubicado en la Parroquia Larama, Cantón Macará, Provincia de Loja", abarcando un área de 4 hectáreas mineras contiguas.

En la primera fase se realizó una visita técnica para constatar el levantamiento topográfico superficial del Área Minera Artesanal Cangonamá y familiarizarme con el área de estudio el cual consta de 4 hectáreas contiguas el cual fue proporcionado por el concesionario. Posteriormente se realizó la topografía subterránea, la cual se trabajó desde la boca mina, ya que este punto se encuentra georreferenciado, hacia el interior de la galería principal, se trabajó con cinta, brújula y libreta para levantar toda la información necesaria que ayude a representar la topografía del interior de la mina, considerando parámetros como ancho, alto y longitud.

Una vez obtenidas las características topográficas del área y galería se realizó la geología superficial, describiendo los afloramientos más importantes, georreferenciándolos y tomando muestras para su análisis logrando delimitar y establecer la geología del área minera; para realizar el levantamiento geológico estructural de la galería se procede a medir la orientación de todos los elementos estructurales encontrados dentro de la galería, logrando generar datos de su litología y estructuras como vetillas, fallas y diaclasas.

En la Clasificación Geomecánica de la galería se consideraron 3 zonas para la identificación de sus rasgos geológicos y dominios estructurales, aplicando el Sistema de Valoración del Macizo Rocoso (RMR) establecida por Bieniawski, realizando mallas de 1m x 1m, para determinar las grietas existentes y así obtener un conteo volumétrico, también se generó información como el estado de fisuras, y agua freática en la zona, rumbo, buzamiento, frecuencia o espaciado de las juntas, grado de apertura o separación (abierto o cerrado), extensión, persistencia, continuidad, rugosidad o textura superficial (pulida, lisa o rugosa) y relleno (sin o con relleno, tipo de relleno); con lo que se obtuvo la geología estructural y valoración del macizo; para 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.

Palabras Claves: Área minera, galería, topografía, geología, geológico estructural, macizo rocoso, clasificación geomecánica.

2.1 ABSTRACT

This research project describes the Structural Geological Study and Determination of the Quality of the Rock Massif of the Main Gallery of the "Cangonamá" Mining Area (code 60000490), Located in Larama Parish, Macará Canton, Loja Province", covering an area of 4 contiguous mining hectares.

In the first phase, a technical visit was made to verify the surface topographic survey of the Cangonamá Artisanal Mining Area and to familiarize myself with the study area, which consists of 4 contiguous hectares, which was provided by the concessionaire. Subsequently, the underground topography was carried out, which was worked from the mine mouth, since this point is georeferenced, towards the interior of the main gallery, it was worked with tape, compass and notebook to raise all the necessary information that helps to represent the topography of the interior of the mine, considering parameters such as width, height and length.

Once the topographic characteristics of the area and gallery were obtained, the surface geology was carried out, describing the most important outcrops, georeferencing them and taking samples for their analysis, managing to delimit and establish the geology of the mining area; To carry out the structural geological survey of the gallery, the orientation of all the structural elements found within the gallery is measured, generating data on their lithology and structures such as veinlets, faults and joints.

In the Geomechanical Classification of the gallery, 3 zones were considered for the identification of their geological features and structural domains, applying the Rock Mass Assessment System (RMR) established by Bieniawski, making 1m x 1m meshes, to determine the existing cracks and thus obtaining a volumetric count, information such as the state of cracks, and groundwater in the area, course, dip, frequency or spacing of the joints, degree of opening or separation (open or closed), extension, persistence, continuity was also generated. , roughness or surface texture (polished, smooth or rough) and filling (without or with filling, type of filling); with which the structural geology and valuation of the massif was obtained; For Barton's Q geomechanical characterization, it was carried out in the same sectors through direct observation, determining that the quality of the rock mass is good, regular and bad.

Keywords: Mining area, gallery, topography, geology, structural geological, rock mass, geomechanical classification.

3. INTRODUCCIÓN

La caracterización geomecánica de los macizos rocosos es un método de ingeniería geológica que permite evaluar el comportamiento de los macizos rocosos, y a partir de esta estimar los parámetros geotécnicos de diseño y el tipo de sostenimiento de un túnel, esta caracterización bien detallada permite mantener una estabilidad y precautelar cualquier tipo de accidente en la interior mina ya que se podrá diferenciar la calidad del tipo de roca presente.

Debido a las inestabilidades existentes en el Área Minera por consecuencia del terreno superficialmente, y subterráneamente por el desprendimiento o caída de rocas dentro de la galería principal. Así como por falta de información, estudios técnicos realizados en la misma y al no encontrarse en una zona minera conocida, se ha desarrollado el presente trabajo de titulación el cual comprende el estudio geológico estructural en la galería principal del área minera artesanal “Cangonamá”, (código 60000490), ubicado en la parroquia Larama, cantón Macará, provincia de Loja, con la finalidad de recopilar información, así como de mejorar el tipo de sostenimiento dentro de la galería principal y precautelar la salud del personal que labora dentro de la misma.

Una vez culminado el presente trabajo de investigación se logró obtener información topográfica y geológica a detalle, además se identificó las estructuras predominantes de la galería principal con esta información el área minera podrá delimitar cuales son las zonas mineralizadas de interés y finalmente al caracterizar el macizo rocoso mediante la clasificación RMR y Q de Barton se logró identificar cuáles son los tramos más estables e inestables dentro de la galería permitiendo con ello emitir un criterio técnico sobre el tipo de sostenimiento que se deberá aplicar en cada uno acorde con las características presentes, logrando con ello los estándares de seguridad necesario para así evitar cualquier tipo de accidente posterior.

3.1 Objetivos

3.1.1 Objetivo General

- Realizar un estudio geológico estructural para el Área Minera Artesanal Cangonamá.

3.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar una base topográfica y geológica a detalle de la galería principal.
- Levantar las estructuras geológicas de la galería principal.
- Determinar la caracterización del macizo rocoso mediante la clasificación RMR y Q de Barton.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Topografía

La topografía proveniente del griego topotopos (lugar/región/sitio) y graphe (descripción) se puede definir como la disciplina que abarca todos los métodos para reunir información de partes físicas de la Tierra, tales como el relieve, los litorales, los cauces de corrientes hídricas, entre otros, usando para ello los métodos clásicos de medición de terreno, la fotogrametría y los sensores remotos. Por medio del cual se establecen las posiciones de puntos situados sobre la superficie terrestre, encima y debajo de ella; para lo cual se realizan mediciones de distancias, ángulos y elevaciones. (Rincón, Vargas, & González, 2017).

4.1.1 Topografía Superficial.

La topografía tiene por objeto medir extensiones de tierra, tomando los datos necesarios para poder representar sobre un plano, a escala, su forma y accidentes. También denomina el arte de medir distancias horizontales y verticales entre puntos y objetos sobre la superficie terrestre, medir ángulos previamente determinados. Y sirve como base para la mayor parte de los trabajos de ingeniería, pues la elaboración de un proyecto se hace una vez que se tengan los datos y planos topográficos que representan fielmente todos los accidentes del terreno sobre el cual se va a construir una obra.

La topografía opera sobre porciones pequeñas de tierra, no teniendo en cuenta la verdadera forma de esta, un elipsoide, sino que considera la superficie terrestre como un plano. Cada punto se determina generalmente mediante sus coordenadas rectangulares planas (x, y) y, si acaso, su altura (h). El error cometido con base en esta hipótesis es depreciable, tratándose de extensiones de tierra que no sean excesivamente grandes, si se considera que un arco en la superficie terrestre de 20 km de longitud es tan solo 1cm más largo que la cuerda subtendida, y que solo se comete un error de 1” (un segundo) de exceso esférico en un triángulo que tenga un área de 190 km^2. (Nieto, 2011).

4.1.2 Topografía Subterránea.

Desde un punto de vista generalizado, la Topografía Subterránea puede definirse como una rama de la Topografía que, tiene por objetivo el estudio de la corteza terrestre y de todo lo que se encuentra bajo de ella. Se define a la Topografía como: “La disciplina que

tiene bajo su responsabilidad la captación de información física y su procesamiento numérico, para lograr la representación geométrica, ya sea en forma gráfica o analítica, del espacio físico que nos rodea".

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. (Manuel & Ruiz, 2016).

4.2 Geología

La Geología es la ciencia que estudia el planeta Tierra en su conjunto, describe los materiales que la forman para averiguar su historia y su evolución e intenta comprender la causa de los fenómenos endógenos y exógenos. La unidad de tiempo en geología es el millón de años. El estudio de la Tierra de manera aislada fue objeto de interés en la antigüedad, pero la Geología como ciencia se inicia en los siglos XVII y XVIII obteniendo su mayor desarrollo en el siglo XX, donde diversas ramas de la Geología se encargan del anterior propósito. (Escobar, 2019).

La geología, del griego geo, «Tierra», y logos, «discurso». Es la ciencia que persigue la comprensión del planeta Tierra. La Geología se percibe como una ciencia que se realiza en el exterior, lo cual es correcto. Una gran parte de la Geología se basa en observaciones y experimentos llevados a cabo en el campo. Pero la Geología también se realiza en el laboratorio donde, por ejemplo, el estudio de varios materiales terrestres permite comprender muchos procesos básicos. (Tarbuck & Lutgens, 2005).

4.2.1 Geología Estructural.

La geología estructural estudia la arquitectura de la corteza terrestre y cómo adquirió este aspecto en la medida en que fue consecuencia de la deformación. Estudiando la orientación de los pliegues y las fallas, así como los rasgos a pequeña escala de las rocas deformadas, la geología estructural puede determinar a menudo el ambiente geológico original, y la naturaleza de las fuerzas que produjeron esas estructuras rocosas. De este

modo se están descifrando los complejos acontecimientos que constituyen la historia geológica.

La comprensión de las estructuras tectónica no es sólo importante para descifrar la historia de la Tierra, sino que es también básica para nuestro bienestar económico. las fracturas rocosas son el lugar donde se producen las mineralizaciones hidrotermales, lo cual significa que pueden ser fuentes importantes de menas metálicas. Las estructuras geológicas básicas asociadas con la deformación son los pliegues, las fallas, las diaclasas y la foliación (incluida la esquistosidad). (Tarbuck & Lutgens, 2005).

4.2.2 Estructuras Geológicas.

4.2.2.1 Pliegues.

Durante la formación de las montañas, las rocas sedimentarias y volcánicas suelen doblarse en una serie de ondulaciones semejantes a ondas denominadas pliegues. Los pliegues de los estratos sedimentarios se parecen mucho a los que se formarían si se cogiera una hoja de papel por sus extremos y se fueran empujando uno hacia el otro. En la naturaleza, los pliegues aparecen en una gran variedad de tamaños y configuraciones. Algunos pliegues son amplias flexuras en las cuales unidades rocosas de centenares de metros de grosor se han doblado ligeramente. Otros, son estructuras microscópicas muy apretadas que se encuentran en las rocas metamórficas.

Los dos tipos de pliegues más comunes se denominan anticlinales y sinclinales. Un anticlinal se forma casi siempre por plegamiento convexo, o arqueamiento, de las capas de roca. Los anticlinales afloran, a veces de manera espectacular, en los puntos donde las carreteras atraviesan estratos deformados. Asociados a menudo con los anticlinales, se encuentran los pliegues cóncavos, o surcos, denominados sinclinales. (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Figura 1. *Bloque diagrama de los principales tipos de estratos plegados.*
Fuente: *Ciencias de la Tierra- Tarbuck & Lutgens (2005)*

4.2.2.2 Fallas.

Las fallas son fracturas en la corteza a lo largo de las cuales ha tenido lugar un desplazamiento apreciable. A veces, pueden reconocerse pequeñas fallas en los taludes de las carreteras, observándose estratos sedimentarios desplazados unos pocos metros. Las fallas de esta escala normalmente aparecen como pequeñas rupturas aisladas. Por el contrario, las grandes fallas, como la de San Andrés en California, tienen desplazamientos de centenares de kilómetros y consisten en muchas superficies falladas interconectadas. Los geólogos clasifican las fallas por sus movimientos relativos, que pueden ser predominantemente horizontales, verticales u oblicuos. (Tarbuck & Lutgens, 2005)

Fallas con desplazamiento vertical: Las fallas en las que el movimiento es fundamentalmente paralelo al buzamiento (o inclinación) de la superficie de falla se denominan fallas con desplazamiento vertical. Este tipo de movimiento puede producir pequeños resaltes denominados escarpes de falla (scarpe-pendiente). Los dos tipos principales de fallas con desplazamiento vertical se denominan fallas normales y fallas inversas.

Fallas normales: las fallas con desplazamiento vertical se clasifican como fallas normales cuando el bloque de techo se desplaza hacia abajo en relación con el bloque de muro. Los movimientos a lo largo de estas fallas han producido bloques de falla elevados alternos y denominados horst y bloques hundidos llamados graben (graben=zanja). Los horst generan cordilleras elevadas, mientras que los grabens forman muchas cuencas. (Tarbuck & Lutgens, 2005).

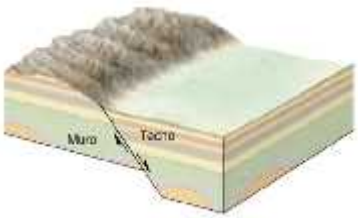


Figura 2. *Falla Geologia Normal*
Fuente: *Ciencias de la Tierra- Tarbuck & Lutgens (2005)*

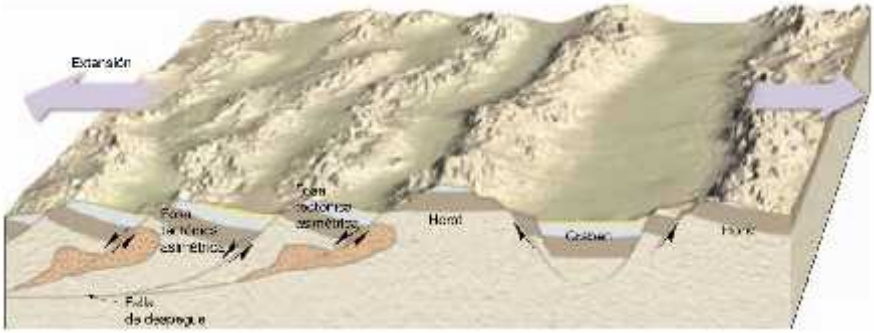


Figura 3. *El movimiento a lo largo de esas fracturas ha inclinado los bloques produciendo lineaciones montañosas paralelas denominadas montañas limitadas por fallas.*
Fuente: *Ciencias de la Tierra- Tarbuck & Lutgens (2005)*

Fallas inversas y cabalgamientos: Son fallas con desplazamiento vertical en las cuales el bloque de techo se mueve hacia arriba con respecto al bloque de muro. Recordemos que las fallas inversas tienen buzamientos superiores a 45° y que los cabalgamientos tienen buzamientos inferiores a 45°. Dado que el bloque de techo se mueve hacia arriba y sobre el bloque de muro, las fallas inversas y los cabalgamientos reflejan un acortamiento de la corteza. (Tarbuck & Lutgens, 2005).

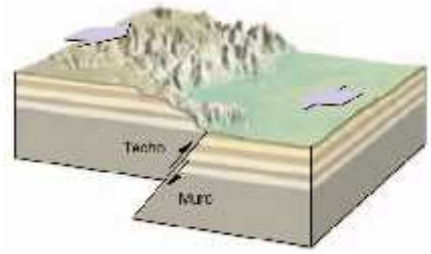


Figura 4. *Falla Geológica Inversa.*
Fuente: *Ciencias de la Tierra- Tarbuck & Lutgens (2005)*

Fallas de desplazamiento horizontal: Las fallas en las que el desplazamiento dominante es horizontal y paralelo a la dirección de la superficie de la falla, se denominan fallas de desplazamiento horizontal o desgarres. Debido a su gran tamaño y a su naturaleza lineal, muchas fallas de desplazamiento horizontal tienen una traza que es visible a lo largo de una gran distancia. Muchas grandes fallas de desplazamiento horizontal atraviesan la litosfera y acomodan el movimiento entre dos grandes placas de corteza. Recordemos que este tipo especial de falla direccional se denomina falla transformante (trans = a través; forma = forma).(Tarbuck & Lutgens, 2005).

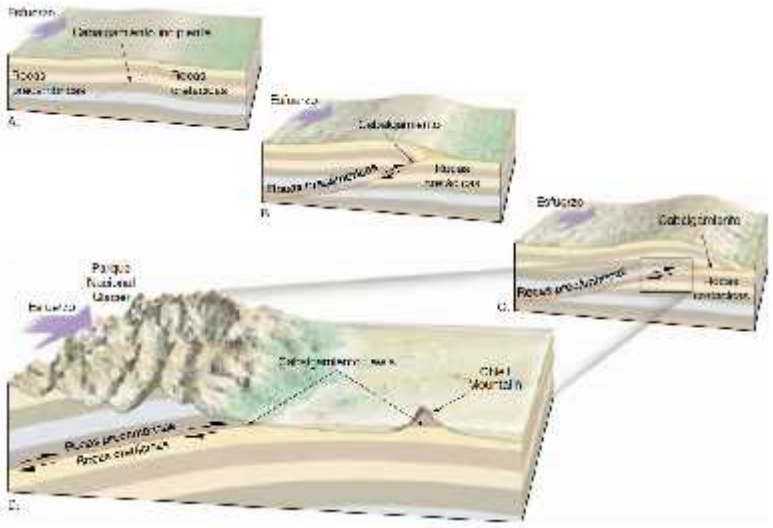


Figura 5. *Desarrollo idealizado del manto de cabalgamiento Lewis. A. Entorno geológico antes de la deformación. B, C. El movimiento a gran escala a lo largo de un cabalgamiento desplazó rocas precámbricas sobre estratos cretácicos en la región Glacier D.*
Fuente: *Ciencias de la Tierra- Tarbuck & Lutgens (2005)*

4.2.2.3 Diaclasas.

Las diaclasas son fracturas a lo largo de las cuales no se ha producido desplazamiento apreciable. Aunque algunas diaclasas tienen una orientación aleatoria, la mayoría se produce en grupos aproximadamente paralelos. la mayoría de las diaclasas se produce cuando se deforman las rocas de la corteza más externa. En estas zonas, los esfuerzos tensionales y de cizalla asociados con los movimientos de la corteza hacen que las rocas se rompan frágilmente. las rocas con muchas diaclasas representan un riesgo para las grandes construcciones de ingeniería, entre ellas las autopistas y las presas. (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Figura 6. *Las diaclasas en las rocas graníticas de la parte superior del domo Lembert.*
Fuente: *Ciencias de la Tierra- Tarbuck & Lutgens (2005)*

4.2.2.4 Contactos.

La superficie que separa los cuerpos de rocas de diferentes litologías, o tipos de rocas. Un contacto puede ser concordante, discordante y mecanizados, según los tipos de rocas, sus edades relativas y sus disposiciones. Una superficie de falla también puede actuar como un contacto. puede producirse entre una intrusión y rocas encajantes no ígneas, o entre diferentes intrusiones magmáticas; también se pueden encontrar contactos internos entre varias facies de una misma intrusión, o contactos de cuerpos rocosos que han sido incluidos dentro del magma. Los contactos discordantes y concordantes hacen referencia a las relaciones geométricas (paralelismo) que existen entre los planos de estratificación de dos materiales, es decir si son subparalelos o no lo son. Mientras que los contactos mecanizados son todos aquellos que ponen en contacto dos materiales por medio de una falla o fractura. (Vallejo, L. I. G.; Ferrer, M.; Ortuño, 2002).

4.3 Yacimientos minerales

Los yacimientos minerales son entidades que presentan grandes variaciones en su forma, tamaño, contenido mineral, valor económico y origen. En consecuencia, es difícil que encajen todos estos factores en casilleros propios y, según sea el factor predominante, será el tipo de clasificación empleada. En la sistematización de los yacimientos, han predominado las clasificaciones por forma y sustancia, las genéticas y últimamente las de tipos de yacimientos. (Mexicano, 2017).

4.3.1 Explotación de yacimientos minerales.

4.3.1.1 Explotación a Cielo Abierto.

Minería a cielo abierto es la extracción de minerales que se desarrolla en la superficie del terreno. Para la explotación de una mina a cielo abierto, es necesario excavar, con medios mecánicos o explosivos, los terrenos que recubren la formación geológica que forma el yacimiento. El material excavado no útil, se apila fuera de la mina, para la restauración terminada la vida del yacimiento. La minería a cielo abierto del oro implica extraer la roca superficial y llevarla a pequeñas dimensiones. Montañas enteras son convertidas en rocas y luego trituradas, hasta pulverizarlas. Para extraer el mineral deseado, se mezcla la roca pulverizada con un caldo químico con compuestos de cianuro,

para producir la lixiviación del oro y facilitar su separación. En este proceso emplean grandes cantidades de agua y energía eléctrica. (Flores, 2011).

4.3.1.2 Explotación Subterránea.

La explotación de minerales de forma subterránea es la extracción a través de diversos métodos de ingeniería debajo de la superficie del terreno. Este tipo de extracción se realiza cuando la cubierta de rocas (o material sin presencia de mineral) es de un espesor tal que el costo de removerlo para hacer un tajo abierto no es económico (como, por ejemplo, del interior de un cerro). Este tipo de explotación se usa cuando las zonas mineralizadas (comúnmente llamadas vetas) son angostas y profundas, por lo que es preferible hacer perforaciones en la roca para acceder a las mismas. Para acceder a las zonas mineralizadas se penetra la roca desde la superficie a través de perforaciones horizontales (túneles o galerías), verticales (pozos o chimeneas), inclinadas (rampas), ubicadas en diferentes niveles con la finalidad de fragmentar (partir), cargar y transportar el mineral desde el interior hasta la superficie. Asimismo, es necesario también construir conductos de ventilación, rieles para carros mineros (de ser necesario), instalación de líneas de energía, accesos para el agua, servicios higiénicos, almacenes, entre otros. La gran variedad de las condiciones de yacimiento ha permitido a la ciencia definir numerosos métodos de explotación. (Energía, 2011).

4.4 Macizo Rocoso

Es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos, por lo que su clasificación es fundamental en la ingeniería geológica. Se dicen que ocurren en la naturaleza y medio ambientes geológicos afectados por planos de discontinuidad (discontinuidades) o planos de debilidad que separan a los bloques de matriz rocosa, ambos conjuntos la matriz rocosa y discontinuidades forman el macizo rocoso. Prácticamente puede considerarse que presentan una resistencia a la tracción nula. (González de Vallejo, 2002).

4.4.1 Caracterización del Macizo Rocoso.

La caracterización de un macizo rocoso viene a constituir la fase inicial en todo estudio geológico- geotécnico, y está basado en la descripción de las características particulares

que intervienen y juegan un papel importante en el comportamiento geomecánico del macizo frente a procesos de desestabilización, como pueden ser la ejecución de excavaciones a cielo abierto y subterráneas, o cualquier otro mecanismo que altere el estado inicial del macizo rocoso como elemento de construcción. Es importante mencionar que la caracterización de macizos rocosos, esta fundamentalmente basada en las observaciones y descripciones hechas a partir de afloramientos y sondajes de perforación. En este sentido, dichas descripciones no solo tienen que tener un contenido geológico, sino que también, deben estar acompañadas de medidas y ensayos adicionales.

Cabe mencionar que el comportamiento geomecánico de un macizo rocoso está relacionado a las propiedades de la roca intacta y de las discontinuidades, a las que condiciones hidrogeológicas, al campo tensional, entre otras. Se tiene que tener en cuenta que, de acuerdo con el tipo de material en el macizo rocoso, este se puede comportar de forma elástica, plástica o elástico-plástica, en función de la magnitud de las presiones actuantes. (Gavilanes & Byron, Introducción a la Ingeniería de Tuneles, 2004).

4.4.2 Clasificaciones Geomecánicas.

Los macizos rocosos, como medios discontinuos, presentan un comportamiento geomecánico complejo que, de una forma simplificada, puede ser estudiado y categorizado en función de su aptitud para distintas aplicaciones. Con este objetivo surgieron las clasificaciones geomecánicas, que aportan, mediante la observación directa de las características de los macizos rocosos y la realización de sencillos ensayos, índices de calidad relacionados con los parámetros geomecánicos del macizo y sus características frente a los sostenimientos de túneles y taludes y la excavabilidad de las rocas, entre otros. (Vallejo, L. I. G.; Ferrer, M.; Ortuño, 2002).

El objetivo de las clasificaciones geomecánicas es evaluar las propiedades de un macizo rocoso, establecer su calidad cuantitativamente y poder predecir de alguna manera lo siguiente: El comportamiento del macizo frente a la excavación programada. El tipo de sostenimiento. Y obtener de manera aproximada (empírica) el rango de variación de las propiedades geotécnicas del macizo rocoso como son el ángulo de fricción interna y la cohesión. De los tantos sistemas de clasificación en existencia, siete requieren una especial atención debido a que son más utilizados y tienen relevancia histórica, éstos son:

Terzaghi (1946), Lauffer (1958), Deere (1967), Wickman (1972), Bieniawski (1973), Barton (1974) y Lauschber (1977). (Gavilanes & Andrade, 2007)

4.4.3 Clasificación de Bieniawski (R.M.R.).

Desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y sostenimiento en túneles. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

1. Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.
2. Determinación del Grado de fracturación del macizo rocoso. (RQD)
3. Espaciado de las discontinuidades.
4. Estado de las discontinuidades.
5. Caracterización del agua subterránea.
6. Orientación de las discontinuidades

Dando como resultado a la siguiente formula:

$$\mathbf{RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) - (6)}$$

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo se expresa por medio del índice de calidad RMR, rock mass rating, que varía de 0 a 100.

Para aplicar la clasificación RMR se divide el macizo rocoso en zonas o tramos que presenten características geológicas más o menos uniformes de acuerdo con las observaciones hechas en campo, en las que se lleva a cabo la toma de datos y medidas referentes a las propiedades y características de la matriz rocosa y de las discontinuidades. (Vallejo, L. I. G.; Ferrer, M.; Ortuño, 2002).

1. **Resistencia a compresión simple:** Este parámetro se lo clasifica en función de los ensayos realizados en laboratorio.

***Tabla 1**. Resistencia a compresión simple.*

Descripción	Resistencia a la Compresión Simple	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
Moderadamente Blanda	1-5		1
Muy Blanda	<1	<1	0

***Fuente:** Bieniawski, 1989*

2. **Índice de Calidad de la Roca (RQD):** Es calificado este parámetro en función del número de discontinuidades en un metro cubico, descrita en la siguiente tabla.

***Tabla 2.** 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*

3. **Espaciado de las discontinuidades:** El espaciamiento de las discontinuidades se la puede clasificar como se observa en la siguiente tabla:

***Tabla 3.** Espaciado de las discontinuidades.*

Descripción	Espacio de las juntas	Tipo de macizo rocoso	Valoración
Muy separadas	>2m	Solido	20
Separadas	0.6-2m	Masivo	15
Moderadamente juntas	200-600mm	En bloques	10
Juntas	60-200mm	Fracturado	8
Muy Juntas	<60mm	Manchado	5

***Fuente:** Bieniawski, 1989*

4. **Condiciones de las discontinuidades:** Son calificadas de acuerdo a las siguientes tablas:

La persistencia (longitud) describe la extensión de las discontinuidades. (Gavilanes & Byron, 2007).

Tabla 4. 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 abertura (separación) es la distancia perpendicular que separa las paredes de una discontinuidad abierta. La abertura de las discontinuidades esta descrita en la tabla 4. (Gavilanes & Byron, 2007).

Tabla 5. *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 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. (Gavilanes & Byron, 2007).

Tabla 6. *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 de las discontinuidades 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, solida o fluida. (Gavilanes & Byron, 2007).

Tabla 7. *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. (Gavilanes & Byron, 2007).

Tabla 8. *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*

5. **Presencia de agua:** Para calcular este parámetro según la presencia del agua se toma como referencia la tabla que se indica a continuación:

Tabla 9. *Presencia de agua.*

Caudal 10m de túnel	Relación presión agua-tensión	Descripción	Valoración
Nulo	0	Seco	15
< 10 litros/ min	<0.1	Ligeramente Seco	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*

6. **Orientación de las discontinuidades:** Para obtener este parámetro 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 muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10. *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 de la dirección**
Dirección según buzamiento		**Dirección contra buzamiento**				
Buzamiento 45°- 90°	Buzamiento 20°- 45°	Buzamiento 45° - 90°	Buzamiento 20°- 45°	Buzamiento 45° - 90°	Buzamiento 20°- 45°	
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular	Desfavorable
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10

Fuente: *Bieniawski, 1989*

Una vez obtenidas las puntuaciones que resultan de aplicar los seis parámetros de clasificación, se suma las variables o parámetros antes calculados, eso da como resultado un valor índice (RMR).

Tabla 11. *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	Regular	60-41	2-3	25-35
IV	Mala	40-21	1-2	15-25
V	Muy Mala	<20	<1	<15

Fuente: *Bieniawski, 1989*

Finalmente, la caracterización del macizo según la clasificación de Bieniawski nos permitirá saber si nuestra galería en estudio se encuentra en condiciones favorables o habrá que realizar un sostenimiento de la misma para que se dé una seguridad a las personas que laboran en la misma. (Vallejo, L. I. G.; Ferrer, M.; Ortuño, 2002).

4.4.4 Clasificación de Q de Barton

El sistema Q es un método empírico definido en el año 1974 por Barton, Lien y Lunde para el Instituto Geotécnico de Noruega (IGN) y mejorado por Grimstad, Barton y Loset (1993) basado en la correlación de una base datos de más de 1000 ejemplos de túneles y cavernas. El sistema Q puede ser usado en la etapa de construcción y también como una herramienta de predicción de la clasificación. (Cajahuanca, 2018).

Al igual que el RMR se utiliza 6 parámetros para estimar el comportamiento del macizo rocoso:

1. Rock Quality Design (RQD).
2. Número de familia de juntas o discontinuidades (Jn).
3. Rugosidad de las juntas (Jr).
4. Grado de alteración de las juntas (Ja).
5. Presencia de agua (Jw).
6. Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor (SRF).

4.4.4.1 Parámetros en la clasificación del Q de Barton.

1. **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. (Geotecnia , 2018).

Tabla 12. Calidad de RQD en la Q de Barton.

Descripción de la calidad del macizo rocoso	R.Q.D (%)	Observaciones
Muy Mala	0-25	Para el 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*

2. **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 diaclasar y un valor de 20 para rocas trituradas pasando por una, dos, tres, cuatro o más familias de discontinuidades. (Geotecnia , 2018).

Tabla 13. *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 jn y en tuneles 3 jn	

Fuente: *Barton, et. 1974*

3. **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. (Cueva & Díaz, 2014).

Tabla 14. *Valoración del índice de rugosidad (Jr).*

Contacto entre las 2 caras de las diaclasas con poco desplazamiento lateral de menos de 10cm	**Jr**
Juntas discontinuadas	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*

4. **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 15. Valor índice de alteración de las discontinuidades. (Ja)

Descripción	**Jw**	**ɵ°**
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 no 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 continúo 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*

5. **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. 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
Nota: Los valores presentados con el signo* son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar Jw		

Fuente: *Barton, et. 1974*

6. **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 17. *Valoraciones SFR*

1. Zona débil que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques	SFR
A. Varias zonas débiles contenido arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor	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**	**SRF**
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		**SRF**
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		**SRF**
O. Presión expansiva suave		5-10
P. Presión expansiva intensa		10-15
Nota: 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<= σ1 / σ3<=10, reducir el σc y σt a 0.8σc y 0.8σt		

Fuente: *Barton, et. 1974*

4.4.4.1 Sugerencias para la utilización de los parámetros en las tablas para la obtención del Q de Barton.

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

En el parámetro Jn, 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 Jr y Ja 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 Jr/Ja. (Cueva & Díaz, 2014).

$$Q = \frac{RQD}{Jn} * \frac{Jr}{Ja} * \frac{Jw}{SRF}$$

El resultado de los parámetros antes mencionados da como resultado una calidad del macizo rocoso como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 18. Clasificación del macizo rocoso según Q de Barton.

Tipo de Roca	Valor del Q de Barton
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*

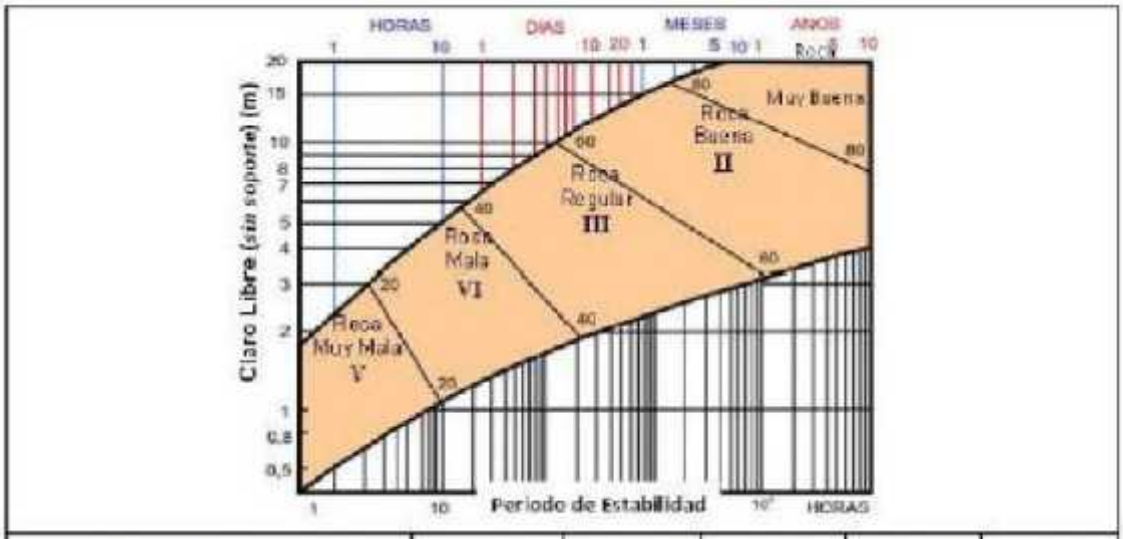
4.4.5 Sostenimiento por métodos empíricos

El diseño empírico correlaciona las experiencias prácticas encontradas en un sitio anterior con la situación que se podría presentar en un nuevo sitio propuesto. Los métodos empíricos de sostenimiento son recomendaciones de diseño ligados a la caracterización geomecánica del macizo rocoso. Estos métodos definen el tipo y cantidad de elementos de sostenimiento a emplear. (Choquecota, 2020).

Estos métodos tienen una serie de ventajas; su uso está muy extendido, son muy sencillos de utilizar en las primeras fases de proyecto y normalizan el sostenimiento a emplear. Entre ellos destacan algunos métodos y estos son el RMR de Bieniawski, y Q de Barton. (Choquecota, 2020).

4.4.5.1 Sostenimiento según el RMR

La metodología de análisis de soporte se puede considerar para su dimensionamiento, las clasificaciones geomecánicas como un instrumento útil y eficiente en la determinación de los elementos y cantidades de soporte ya que permite evaluar la capacidad de autosoporte que posee el macizo rocoso. Existen actualmente diversas clasificaciones geomecánicas propuestas por diversos autores destacando entre ellas las clasificaciones de Bieniawski (Figura 7) y de Barton. (Carvajal, 2008).



Cohesión del macizo rocoso (KPa)	> 300	300-200	200-150	150-100	< 100
Angulo de fricción del macizo (°)	> 45	45-40	40-35	35-30	< 30
Periodo de estabilidad sin revestimiento	10 Años: Claro 5m	6 Meses: Claro 4m	1 Semana: Claro 3m	5 Horas: Claro 1,5m	10 Minutos: Claro 0,5m

Figura 7. *Estimación de auto-soporte en excavación sin soporte.*
Fuente: *Bieniawski (1989)*

Como lo presenta Bieniawski (1989), mediante el índice RMR es posible obtener una idea del tiempo de estabilidad de excavaciones sin soporte (ver Figura 7); pero además de esto nos provee unas recomendaciones de tipo técnico para el diseño de sistemas de soporte en túneles. (Carvajal, 2008).

Diversos autores realizan recomendaciones para un soporte primario siguiendo la clasificación geomecánica de Bieniawski, tomando en cuenta algunas consideraciones propias del tipo de sección, el tipo de excavación y la presión vertical. A continuación, se presenta algunas recomendaciones para el dimensionamiento del sistema de soporte para túneles. Estas recomendaciones están dadas para túneles en forma de arco de herradura, construidos por sistema convencional (voladura) para presiones verticales inferiores a 25 Mpa. (Carvajal, 2008).

Tabla 19. Recomendaciones para el sostenimiento de túneles.

Clasificación Geomecánica	Excavación	Soporte		
		Pernos	**Hormigón lanzado**	**Marcos de acero**
I	Sección completa 3.0m Avance	N.A		
II	Sección completa 1.0-1.5m Avance	Pernos localmente 3m de longitud en la corona con malla electro soldada.	5cm en la corona	N.A
III	En dos etapas, superior e inferior. 1.5-3.0m avance en la parte superior	Sistema de pernos de 4m de longitud separados 1.5-2m en la corona y hastiales con malla electro soldada en corona.	5-10cm en la corona y 30cm en los hastiales.	N.A
IV	En dos etapas superior e inferior. 1.0-1.5m avance en la parte superior.	Sistema de pernos de 4-5m de longitud separados 1-1.5m con malla electro soldada en toda la sección	10-15cm en la corona y 10cm en los hastiales.	Arcos ligeros y/o medianos separados 1.5m
V	Múltiples etapas 0.5 – 1.5m avance en la parte superior	Sistema de pernos de 5-6m de longitud separados 1-1.5m en la corona y hastiales con malla electro soldada en toda la sección	15-20cm en la corona 15cm en los hastiales y 5cm en el frente de excavación	Arcos pesados separados 0.75m con tubos paraguas.

Fuente: *Bieniawski (1989)*

4.4.5.2 Sostenimiento según el Q de Barton

Para estimar los sostenimientos a partir de Q se definen los siguientes parámetros:

De = Ancho de la excavación (m)/ESR

Dónde: ESR (excavation support ratio): factor que depende del tipo de excavación, cuyos valores se indican en la siguiente tabla 20. (Carvajal, 2008)

Tabla 20. Valores de índice ESR de la clasificación Q de Barton

	Tipo de excavación	ESR
A	Labores mineras de carácter temporal	2-5
B	Galerías mineras permanentes, túneles centrales hidroeléctricas (excluyendo las galerías de alta presión), túneles piloto, galerías de avance en grandes excavaciones, cámaras de compensación hidroeléctrico	1.6-2.0
C	Cavernas de almacenamiento, plantas de tratamiento de aguas, túneles de carreteras secundarias y ferrocarril, túneles de acceso.	1.2-1.3
D	Centrales eléctricas subterráneas, túneles de carreteras primarias y de ferrocarril, refugios subterráneos para defensa civil, emboquilles e intersecciones de túneles.	0.9-1.1
E	Centrales nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones públicas y deportivas, fabricas, túneles para tuberías principales de gas.	0.5-0.8

Fuente: *Bieniawski (1989)*

El valor Q se relaciona con los requisitos de sostenimiento del túnel y con las dimensiones equivalentes de la excavación. La relación entre Q y la dimensión equivalente de una excavación determina las medidas de sostenimiento apropiadas. Permiten definir la fortificación recomendada mediante el grafico de estimación de soporte de Barton 1974. Finalmente se hará uso del ábaco para determinar la categoría de sostenimiento en función del valor Q y la De. (Ver figura 8). (Carvajal, 2008).

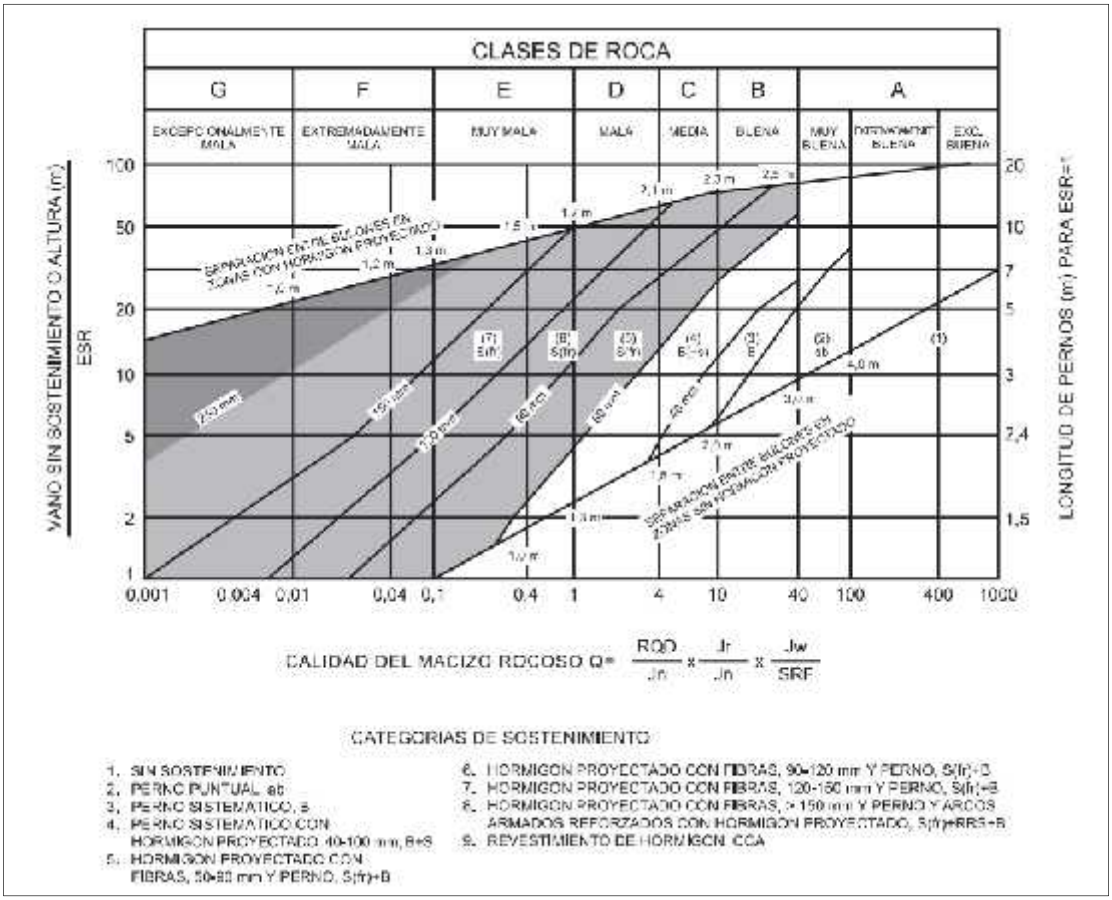


Figura 8. *Estimación de soporte según el índice Q.*
Fuente: *Barton, (1974)*

5. MATERIALES Y METODOLOGÍA

5.1 Materiales

De Campo

- GPS Garmin Map64S
- Cámara fotográfica.
- Brújula geológica (Brunton)
- Martillo geológico
- Lupa de Geólogo
- Carta Geológica de Cariamanga, Escala 1:100 000.
- Cinta de 50 m.
- Libreta de campo
- Fichas de descripción y ubicación de afloramientos y macizos rocosos.
- Fichas de inventariado de Equipos de Protección
- Fichas de descripción para la Mina
- Fundas plásticas
- Tablero
- Lápices de Color
- Spray

De Oficina

- Ordenador
- Software: Google Eart Pro 7.3.4.8248, ArcGis 10.3, Auto Cad 2018, Dips 6.0 & Stereonet 11.0

5.2. Metodología

Con el fin de dar cumplimiento con los objetivos propuestos se procedió a recopilar bibliográficamente mapas geológicos y topográficos locales, así como trabajos previos cerca al área de estudio, así mismo se realizó visitas técnicas para recabar y generar información, todo esto apoyado de trabajos técnicos, así como de operaciones experimentales aplicada en el campo con el fin de conseguir una idea general para el levantamiento de la información necesaria.

Para la realización de la ubicación y acceso a la zona de estudio se procedió a utilizar el software google eart pro, añadiendo esto a la visita realizada con anterioridad permitió ubicar el área de estudio, así como su ruta acceso mediante vía terrestre y su tiempo estimado.

5.2.1 Metodología para el primer objetivo.

La topografía superficial se obtuvo a partir de la información digital base otorgada por el Área Minera Artesanal Cangonamá a escala 1:950, la cual fue corroborada, actualizada y se trabajó desde la boca mina ya que este punto se encuentra georreferenciado, con 1052 puntos de control dentro de los límites de la concesión (mojones) así como en las vías de acceso, vértices de la infraestructura nueva (polvorín y área de máquinas) y puntos de relleno con la utilización del GPS Garmin Map64S. Las curvas de nivel de la topografía superficial se presentan a intervalos de un metro; esta topografía permitió realizar el posterior mapeo geológico superficial.

Para el levantamiento topográfico interior mina se trabajó desde la boca mina, ya que este punto se encuentra georreferenciado, hacia el interior de la galería principal, se trabajó con cinta, brújula y libreta para levantar toda la información necesaria que ayude a representar la topografía del interior de la mina, considerando parámetros como ancho, alto y longitud.

Para el levantamiento geológico exterior e interior mina primero se procedió a recopilar información de fuentes secundarias relacionada a la geología del sector como es la carta geológica de Cariamanga a escala 1:100.000, el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Macará 2019-2023, y Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Laramá 2019-2023 posteriormente se utilizó fichas técnicas de inventariado las cuales permitieran recolectar la mayor información posible, verídica y técnica del objeto de estudio, información que se detalló e interpreto de manera práctica para obtener datos confiables y representativos. Mediante la descripción de afloramientos, medidas estructurales, litología y fichas de descripción macroscópica de rocas.

Luego de obtener la información de los levantamientos topográficos y geológicos a detalle tanto superficial y subterráneo se procesó la información desde los equipos

mediante interfaz entre equipo-computadora y se obtuvo una base de datos que se procesó y se editó para la obtención de mapas topográficos y geológicos tanto interior como exterior mina, que servirán para el cumplimiento del objetivo.

5.2.2 Metodología para el segundo objetivo.

Para el levantamiento geológico estructural subterráneo de la galería principal del Área Minera Cangonamá se consideró la topografía y geología subterránea y las dimensiones del lugar. Posteriormente con la ayuda de la brújula Brúnton, cinta métrica, libreta de apuntes se realizó las mediciones de todas las estructuras geológicas encontradas como son la dirección (rumbo), buzamiento y dirección de buzamiento, mediante el uso de la "regla de la mano derecha de los americanos" (Echeveste, 2008) se pudo constatar que la dirección de buzamiento es la misma obtenida con la brújula, todos estos datos estructurales, fueron registrados en la libreta de campo y en el mapa topográfico de la galería el cual se lo llevo a campo. Las familias de diaclasas se identificaron por tramos al observar la alteración que presentaban en el techo y hastiales de la galería.

Una vez que se obtuvo la información geológica-estructural, con ayuda del software AutoCAD 2018 y ArcGis 10.4.1 se procedió a ingresar y procesar toda la información, los rasgos estructurales con su respectiva simbología, dirección, buzamiento, logrando el mapa geológico-estructural.

Finalmente, para el análisis de orientación de las diaclasas los datos obtenidos en la galería se los proceso mediante el software Dips 6.0 y Stereonet 11.0, obteniendo la representación estereográfica de máxima concentración de polos, diagrama de densidades de las discontinuidades y diagrama de rosetas de las discontinuidades.

5.2.3 Metodología para el tercer objetivo.

Para determinar la calidad del macizo rocoso mediante la clasificación RMR (Bieniawski, 1989), se procedió a obtener los cinco parámetros necesarios los cuales serán:

1) La resistencia a compresión simple: la cual se la obtuvo mediante los ensayos de compresión simple aplicando la Norma ASTM D2938 que se requieran para la clasificación geomecánica del macizo rocoso se tomó 4 muestras de roca intacta, en cuatro tramos diferentes el primer a 18.7m desde la boca mina, el segundo tramo a 48.5m,

el tercer tramo a 85.6m y el cuarto tramo a 132.8m según el grado de alteración y cambio de litología del macizo. la cual se cortó con una tronzadora en cubos de 5cm x 5cm, para llevar los cubos al equipo de compresión uniaxial de rocas.

2) El RQD se estimó en función del número de discontinuidades, en un metro cubico, determinados al momento de realizar el respectivo levantamiento geológico- estructural.

3) El espaciado entre discontinuidades en la galería se lo procedió a medir a 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, en función de la tabla 3.

4) El estado de las discontinuidades se la obtuvo midiendo los siguientes parámetros en el campo el cual son la longitud en metros y la abertura en milímetros utilizando la cinta métrica, la rugosidad, el relleno y alteración se la determino mediante observación directa en la galería, aplicando el uso de las tablas 4, 5, 6, 7, 8 propuestas en el método de Bieniawski.

5) El agua subterránea se la obtuvo mediante cuantificación y visualización directa en el campo midiendo el caudal y el estado general, posteriormente calificándola en funciona de la tabla 9.

6) Para la orientación de las discontinuidades se obtuvo este parámetro mediante el uso de la brújula tomando la dirección de las discontinuidades y la dirección de la galería, posteriormente calificándola en funciona de la tabla 10.

Una vez obtenidas las puntuaciones que resultan de aplicar los seis parámetros de clasificación antes mencionados, se suma las variables o parámetros, eso da como resultado un valor índice (RMR), como se puede observar en la tabla 11.

Para el cálculo del RQD en la matriz de Q de Barton se determinó los siguientes parámetros:

1) El RQD se estimó contando el número de las familias de juntas (Jv) aplicando la ecuación: $RQD = 115 - (3.3)J_1$, propuesta en la obtención del RMR y calificándola en función de la tabla 12.

2) El número de familia de juntas o discontinuidades (Jn) se la obtuvo contabilizando el número de conjuntos de estructuras o familias presentes en el macizo rocoso y calificándola en función de la tabla 13.

✓ 3) La rugosidad de las diaclasas (Jr) se la estimo mediante observación la cual puede estar dentro de 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, y calificándolas en función de la tabla 14.

4) La presencia de agua (Jw) se la obtuvo mediante observación directa en cada tramo o sección de la galería y calificándolas en función de la tabla 15.

5) La meteorización de las diaclasas (Ja) se la estimo mediante observación, siendo este un índice que mide las alteraciones de las discontinuidades. Se distinguen tres grupos dependiendo de si están o no en contacto los planos de discontinuidad calificándolas en función de la tabla 16.

6) La SRF o también conocida como las tensiones en las excavaciones, se las obtuvo por medio de observación de la tensión de la roca en la cual está sujeta a la presión además de la presencia del agua, en el cual se distinguen 4 grupos para evaluar el coeficiente SRF: Zonas débiles, rocas competentes, rocas deformables, rocas expansivas. y calificándola en función de la tabla 17.

Una vez calculado todos los parámetros se aplicó la siguiente formula, para determinar el Q de Barton.

$$Q = \frac{R}{J} * \frac{Jr}{J} * \frac{Jw}{S}$$

Finalmente, se determinó el tipo de sostenimiento tanto para la clasificación RMR de Bieniawski como para la del Q de Barton tomando en cuenta la tabla 19 la cual nos da las recomendaciones para el sostenimiento necesario en la galería para el RMR y también la figura 8 la cual nos indica la estimación de soporte para el Q de Barton acompañada de mi criterio tomando en cuenta los resultados obtenidos en campo.

6. RESULTADOS

6.1 Ubicación Geográfica y Acceso

El área de estudio se encuentra ubicada al Sur del Ecuador, en la provincia de Loja, en el cantón Macará, parroquia Larama, en el sector de Cangonamá.

El área se encuentra delimitada por los vértices formados con las coordenadas UTM PSAD 56 que se especifican en la Tabla 19.

. *Coordenadas del área minera Cangonamá*

Puntos	Coordenadas UTM (PSAD 56) ZONA 17S		Superficie (Ha)
	X	Y	
PP	Este: 618500	Norte: 9527300	4.00
1	Este: 618500	Norte: 9527100	
2	Este: 618700	Norte: 9527100	
3	Este: 618700	Norte: 9527300	

Fuente: *Ficha Ambiental del Área Minera Artesanal Cangonamá*

El acceso de la Zona de estudio desde la ciudad de Loja se lo realiza de la siguiente manera:

- ✓ Por vía terrestre desde la ciudad de Loja por la vía Troncal de la Sierra E35 atravesando la ciudad de Catamayo, San Pedro de la Bendita, Catacocha hasta llegar a la parroquia Larama.
- ✓ Desde la Parroquia Larama a 2.6 km siguiendo por la vía Troncal de la Sierra E35 existe un desvió, desde allí existe una vía de segundo orden de 2.3 km hasta llegar al sector de Cangonamá.
- ✓ Desde el sector de Cangonamá hasta la entrada del área minera continua en una vía de segundo orden a una distancia de 1.50 km.

6.2 Topografía del Área Minera Cangonamá

6.2.1 Topografía Superficial

El área minera Cangonamá está compuesta por un total de 4 hectáreas contiguas, se ubica al Sur en el Bloque Tahuin Amotape, caracterizándose por tener una topografía irregular con cotas que varían entre los 600 hasta 700 m.s.n.m., esta diferencia de alturas se debe a su rasgo geomorfológico, encontrándose en un Relieve Colinado Alto. Otra

característica que presenta el área minera es la existencia de una quebrada seca que atraviesa de sur a norte toda el área.

En la parte norte del área minera se encuentra una vía de segundo orden que permite el acceso al campamento con una distancia aproximada de 235 metros desde el portón principal y existe una bifurcación que se dirige a un camino que atraviesa de este a oeste en una segunda vía de segundo orden que se dirige hasta la boca mina a 206 metros aproximadamente desde el portón principal, también existe en el área infraestructura en el acceso de la concesión ocupada por el guardia de seguridad y finalmente a 40 metros de la boca mina se encuentra el compresor y el generador en excelente estado y junto a estos una zona de almacenamiento del combustible. Finalmente se encuentra el polvorín y la zona de armado de explosivos a 55 metros desde el campamento. (Ver en Anexo 4)

6.2.2 Topografía Subterránea

El área minera en su galería principal posee 50 metros de longitud, después existe un pozo de 10 metros de profundidad con una dirección de 45° respecto al rumbo inicial y finalmente existen 100 metros de longitud desde el final del pozo, dando un rumbo predominante NE-SW.

La galería principal sirve para la exploración y se direcciona con un rumbo S 60° W. Las medidas promedio están comprendidas en un ancho de 1,7 metros y una altura de 2 metros. El punto de partida del presente levantamiento se realiza desde la boca mina, (ver en fotografía 3). Ubicándose geográficamente en las coordenadas:

Tabla 21. *Coordenadas boca mina*

Coordenadas de la boca mina (Datum Psad 56. Zona Sur)		
X: 618650.22	**Y:** 9527278.50	**Z:** 676

Elaboración: *Autor*

Los primeros ocho metros consta de un túnel enmaderado el cual tiene un ancho de 1.5 metros y una altura de 1.7 metros. Ver en Anexo 5.

A 50 metros de la boca mina se encuentra un pozo con una distancia de profundidad de 10 metros. Ver en Fotografía 8

Fotografía 1. *Bocamina del área minera.*
Elaboración: *Autor*

6.3 Geología Local

El área minera superficialmente está constituida por intrusivos pertenecientes al Batolito de Tangula, los mejores afloramientos están expuestos a lo largo de las vías de acceso al área minera, dentro de la concesión cerca al campamento y en la vía de acceso a la boca mina, comprendidos principalmente por granito. (Ver en anexo 2.)

Granito: este tipo de roca es de origen metasomático y se encuentra en estado de alteración. En parte es porfídico con cristales de feldespato y micas, el grano es grueso existiendo un tránsito gradual de grueso a fino.

6.4 Geología Subterránea

La zona de explotación del área minera Cangonamá está constituida casi en su totalidad por granodiorita, diorita y granito pertenecientes al intrusivo del Batolito de Tangula

Al interior de la galería principal está constituida por rocas ígneas intrusivas granodiorita, granito y diorita. (Ver en anexos 3.)

Granodiorita: Se encuentra en el tramo desde la boca mina hasta los 8m; 8-14.52m; 14.52- 40.6m; 42.3m- 85.6m, siendo esta la roca que más predomina en el área de estudio, presenta una coloración blanquecina, un grado de meteorización alta, una textura fanerítica, con un grano medio y compuesta principalmente por feldespato, cuarzo, hornblenda y óxidos de hierro.

Diorita: Se evidencia muy poco este tipo de roca desde los 40.6m hasta los 42.3m, este tipo de roca presenta una coloración gris oscura, una textura fanerítica, de grano fino, meteorización media y compuesta principalmente por plagioclasas, hornblenda, biotita y cuarzo.

Granito: este tipo de roca es de origen metasomático y se encuentra en estado de alteración, se encuentra desde los 85.6m hasta el final de la galería, en parte es porfídico con cristales de feldespato y micas, el grano es grueso existiendo un tránsito gradual de grueso a fino, en ciertos tramos se evidencia la presencia de xenolitos incrustados a la roca.

6.5 Geología Estructural Subterránea

Para el levantamiento geológico estructural subterráneo se tomaron datos de las diferentes estructuras observadas a detalle en las paredes más representativa de la galería principal del área minera.

El área minera Cangonamá desarrolla sus actividades de explotación mediante la labor de una galería, en donde la galería se encuentra atravesando en paralelo a la veta mineralizada que varían desde los 15 cm a 40 cm.

A partir de la boca mina hasta los 8 m se encuentra constituida por la roca encajante granodiorita con un grado de meteorización alta por lo que en esta sección tiene un entibado de madera como sostenimiento para evitar que se desprenda el material del techo. (Ver en fotografía 4).

Fotografía 2. *Roca encajante granodiorita*
Elaboración: *Autor*

A continuación, se encuentra una incrustación de limonita en la pared izquierda de la galería hasta los 14.52m al igual que el anterior tramo constituida por granodiorita, presentando un azimut de 223°, buzando 41° al Norte- Oeste con una potencia de 5cm. (Ver en fotografía 5).

Y desde los 14.52m hasta los 40.6m en la galería solo se evidencia la presencia de granodiorita altamente meteorizada.

Fotografía 3. *Incrustación de limonita*
Elaboración: *Autor*

Posteriormente se encuentra diorita la cual presenta una meteorización media en un pequeño tramo hasta los 42.5m, desde esa distancia hasta llegar a un refugio se evidencia granodiorita presentando incrustación de limonita con azimut con 221°, buzando 39° al Norte- Oeste con una potencia de 11cm. (Ver en fotografía 6).

Fotografía 4. *Roca diorita con incrustaciones de limonita*
Elaboración: *Autor*

En todo este tramo de la galería se encuentra la veta mineralizada hasta antes de 4 metros de llegar al refugio, en la pared derecha de la galería, la cual se encuentra en roca encajante granodiorita, y presenta en su composición cuarzo, calcita, óxidos de hierro, calcita, limo, esfalerita, galena y en menores cantidades pirita y calcopirita, con un azimut 222° y un buzamiento de 40° Norte-Oeste. (Ver en fotografía 7).

Fotografía 5. *Veta mineralizada*
Elaboración: *Autor*

A la distancia de 50m en la galería existe un pozo de una altura de 10m y un ancho de 1.5m en todo este tramo se evidencia roca encajante granodiorita, y vetillas que no presentan valor de interés por parte del área minera. (Ver en fotografía 8).

Fotografía 6. *Pozo dentro de la galería principal*
Elaboración: *Autor*

Una vez culminado el pozo, continua la galería principal del área minera desde los 60m hasta los 85,6m mostrando una mezcla entre granodiorita altamente meteorizada, y la roca granito la cual tiene una tonalidad más clara, e incrustaciones de xenolitos en esta sección se encuentra la veta mineralizada en la pared izquierda de la galería con un azimut de 240° y un rumbo de 60° Norte-Oeste. (Ver en fotografía 9).

Fotografía 7. *Roca encajante Granito con mezcla de granodiorita meteorizada*
Elaboración: *Autor*

En la sección desde los 85.6m hasta los 110.8m existe la presencia de roca encajante granito con vetillas de cuarzo con potencias que van desde los 6mm hasta los 1,8cm, las

cuales presentan un azimut de 238° y un rumbo de 58° Norte-Oeste. (Ver en fotografía 10).

Fotografía 8. *Vetillas de cuarzo*
Elaboración: *Autor*

Finalmente, desde los 110.8m hasta el final de la galería encontramos roca encajante granito la cual tiene una tonalidad más clara, en esta sección se siguen encontrando la veta mineralizada en la pared izquierda de la galería con un azimut de 241° y un rumbo de 61° Norte-Oeste.

Dentro de la galería se tomaron las orientaciones en techo, pared derecha e izquierda de las estructuras encontradas dentro de la galería como las diaclasas, vetas y vetillas, separando en sectores por sus dominios estructurales, los cuales serán detallados en la siguiente tabla.

Tabla 22. *Datos estructurales de la galería de explotación*

Código	Distancia	Azimut	Buzamiento	Estructura
01	8.0m	223°	41° NO	Diaclasa con limonita
02		227°	38° NO	Diaclasa con limonita
03	10.3m	221°	39° NO	Diaclasa con limonita
04		219°	40° NO	Diaclasa con limonita
05	12.8m	220°	38° NO	Diaclasa con limonita
06	14.52m	222°	37° NO	Diaclasa con limonita
07	17.6m	223°	38° SE	Diaclasa
08	18.7m	221°	39° NO	Vetilla
09		225°	40° NO	Diaclasa
10	24.8m	42°	41° NO	Diaclasa
11	26.5m	44°	37° NO	Vetilla

12		227°	37° SE	Diaclasa
13	29.2m	221°	38° NO	Diaclasa
14	33.3m	219°	39° SE	Diaclasa
15	35.8m	222°	40° NO	Diaclasa
16	38.1m	41°	41° NO	Diaclasa
17	40.6m	226°	38° NO	Diaclasa
18	42.5m	225°	39° NO	Diaclasa
19	44.8m	218°	40° NO	Vetilla
20		221°	39° SE	Diaclasa
21	46.9m	46°	37° NO	Diaclasa
22	48.3m	219°	41° NO	Diaclasa
23	50.2m	222°	40°NO	Veta Mineralizada
24	55.4	300°	40°NO	Falla
25	64.4m	219°	37° SE	Diaclasa
26	69.8m	40°	38° NO	Diaclasa
27	72.6m	222°	39° NO	Vetilla
28		223°	40° NO	Diaclasa
29	78.4m	221°	41° SE	Diaclasa
30	81.3m	225°	38° NO	Vetilla
31	85.1m	238°	58° NO	Diaclasa
32	87.8m	227°	38° SE	Diaclasa
33	91.5m	225°	39° NO	Vetilla
34		221°	42° NO	Diaclasa
35	96.3	39°	40° NO	Diaclasa
36	99.7m	218°	39° NO	Diaclasa
37	102.1m	46°	37° NO	Vetilla
38	104.6m	225°	41° SE	Diaclasa
39	106.2m	218°	37° NO	Diaclasa
40	110.8m	241°	61° NO	Diaclasa con limonita
41	112.6m	226°	39° SE	Diaclasa
42	115.3m	219°	40° NO	Vetilla
43		222°	41° NO	Diaclasa
44	118.8m	221°	38° NO	Diaclasa
45	120.4m	226°	37° NO	Vetilla
46	125.2m	40°	38° SE	Diaclasa
47	130.6m	223°	39° NO	Diaclasa
48	132.1m	225°	40° NO	Vetilla
49	138.8m	47°	38° NO	Diaclasa
50	142.5m	220°	37° NO	Vetilla
51		218°	37°SE	Diaclasa
52	146.3m	42°	40°NO	Diaclasa
53	149.8m	43°	38°NO	Diaclasa con limonita
54	155.7m	222°	40°NO	Diaclasa
55	132.1m	47°	39° NO	Vetilla
56	146.3m	221°	37°SE	Diaclasa
57	149.8m	40°	41°NO	Diaclasa con limonita
		POZO		
58	50m	182°	39°NE	Diaclasa
		REFUGIO		
59	54m	221°	39°SO	Diaclasa con limonita

Elaboración: *Autor*

Una vez obtenido todos los datos estructurales (tabla 22) que se mapearon dentro de la galería, estos datos se procesaron en el Software Dips 6.0 y Stereonet 11.0, obteniendo las siguientes representaciones estereográfica.

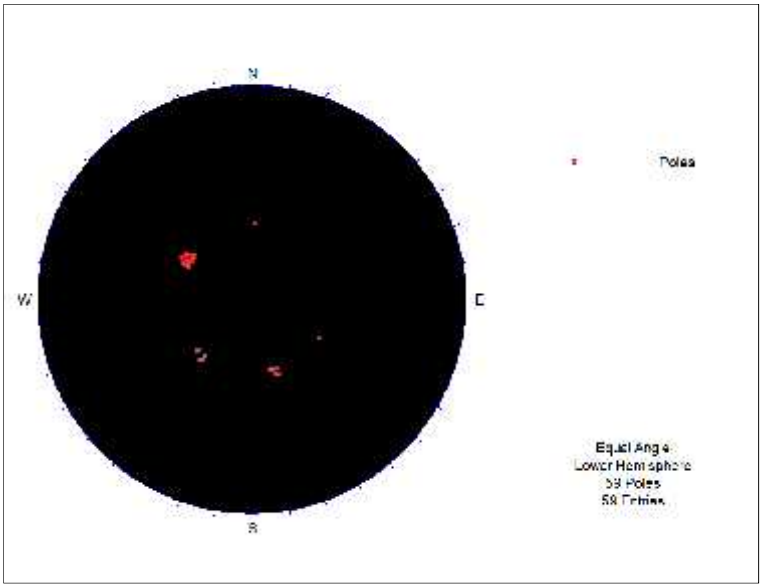


Figura 9. *Representación estereográfica del diagrama de máxima concentración de polos de diaclasas.*

Elaboración: *Autor*

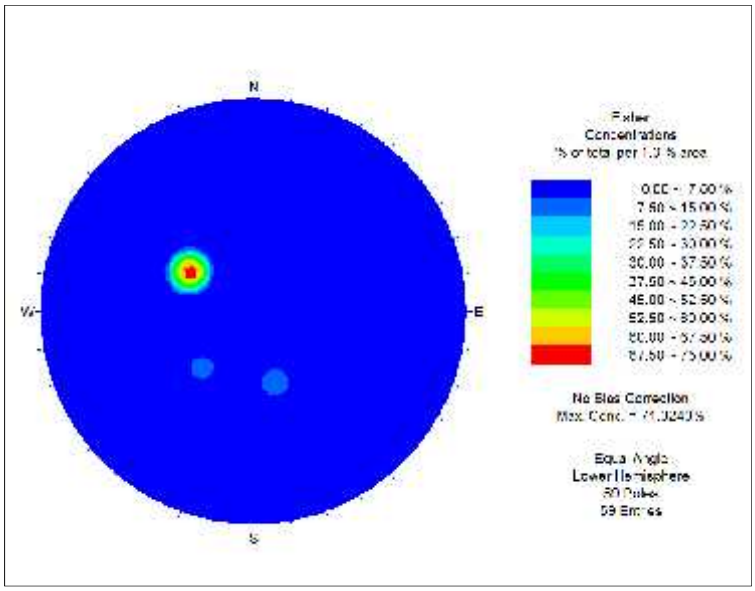


Figura 10. *Representación estereográfica del diagrama de densidades de diaclasas.*
Elaboración: *Autor*

Una vez procesados los datos en el software Dips 6.0 se determina la máxima concentración de polos, es decir la dirección preferencial del buzamiento de las diaclasas se dirigen hacia el NW siendo la familia principal y una segunda familia con menor grado

de concentración dirigiéndose al SE, dicho análisis puede ser observado en las figuras. 9 y 10.

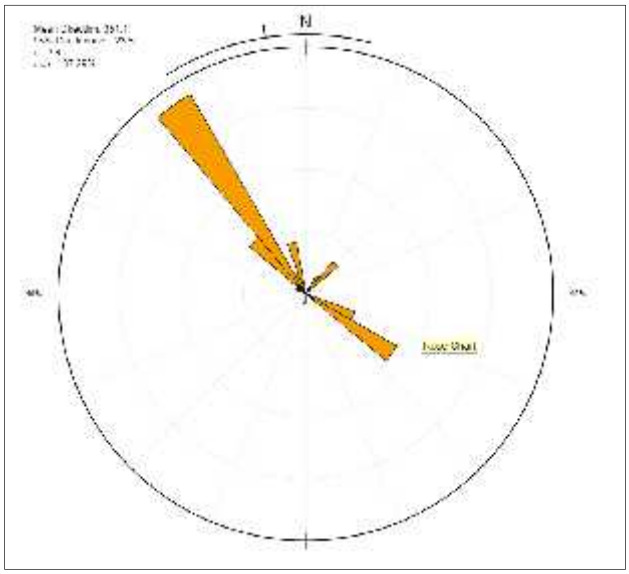


Figura 11. *Representación estereográfica del diagrama de rosetas de diaclasas.*
Elaboración: *Autor*

Mientras que para el diagrama de rosetas (figura. 11), se procesaron los datos en el programa Stereonet 11.0 y se determinó que el rumbo predominante de las diaclasas generadas por la familia principal es de NW-SE, 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 NE – SW.

Estas representaciones estereográficas se las realizó con la finalidad de obtener la orientación de las diaclasas y con ello saber dentro de la galería cual es en la dirección donde más predominan ya que este tipo de estructura geológica influye en la roca y por ende en el sostenimiento de la galería.

6.6 Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso RMR

En la Clasificación Geomecánica se aplica el Sistema de Valoración del Macizo Rocoso (RMR), más conocida como clasificación Geomecánica RMR, desarrollada por Bieniawski, que establece 6 parámetros para su clasificación, los cuales serán verán a continuación.

6.6.1 Resistencia a la compresión simple

Para la determinación de este parámetro se realizó 4 ensayos de compresión simple a las 4 muestras las cuales fueron tomadas en tramos determinadas de la galería obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 23. *Resistencia a la compresión simple en los tramos determinados.*

Ensayo de Compresión Simple								
Código	Largo	Ancho	Altura	Área (cm^2)	Volumen (cm^3)	Carga (N)	Esfuerzo (Kg/cm^2)	Esfuerzo (MPa)
ECS1	5.01	5.04	5.12	25.25	129.28	21030.99	832.90	81.6796
ECS2	5.07	4.97	5.08	25.20	128.01	20695.62	821.32	80.544
ECS3	5.10	5.10	5.13	26.01	133.43	12579.00	483.62	47.4269
ECS4	5.10	5.16	5.03	26.32	132.37	11141.69	423.38	41.5194

Elaboración: *Autor*

6.6.2 Sistema de Valoración del Macizo Rocoso RMR

Para la aplicación del sistema de valoración en los parámetros que se mostraran a continuación se tomaron las indicaciones mencionadas en el punto 2.4.3.

6.6.2.1 Primer tramo

Tabla 24. *RMR en hastial derecho a 18.7m de la galería tramo N°1*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)				
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL “CANGONAMÁ”, (CÓDIGO 60000490).			
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano		**Tramo N°**	1
Tutor:	Ing. Hernán Castillo		**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 18.7M)**			
HASTIAL DERECHO				
PARÁMETROS		**RESULTADO**	**VALORACIÓN**	**PUNTAJE**
1	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)**	81.68	50-100	7
2	**RQD (%) = 115 – 3.3 Jv**	50%	50-75	13
3	**ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES**	205mm	200-600mm	10
4	**CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Longitud	0.5	<1	6
	Separación	0.5mm	0.1-1	4
	Rugosidad	Rugosa	Rugosa	5
	Relleno	Duro, 2mm	Duro <5	4
	Meteorización	Ligeramente Alterada	Ligeramente Alterada	5

5	**AGUA SUBTERRÁNEA**	Húmedo	Húmedo	7
6	**ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Perpendicular al eje	46	Muy Favorable	0
	Paralelo al eje	No Valorado	No Valorado	No valorado
A	**TIPO DE ROCA**	Buena	Clase II: 80-61	61
B	**TIPO DE SOSTENIMIENTO**			
	Pernos	Aplicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 3m de longitud.		
	Hormigón lanzado	No		
	Marcos de acero	No		
Nota: El parámetro B (TIPO DE SOSTENIMIENTO), se eligió de acuerdo a la tabla 19. recomendaciones para el sostenimiento de túneles y a criterio técnico del autor mediante corroboración bibliográfica de otros autores.				

Elaboración: *Autor*

Tabla 25. *RMR en hastial izquierdo a 18.7m de la galería tramo N°1*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)				
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL “CANGONAMÁ”, (CÓDIGO 60000490).			
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano		**Tramo N°**	1
Tutor:	Ing. Hernán Castillo		**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 18.7M)**			
HASTIAL IZQUIERDO				
PARÁMETROS		**RESULTADO**	**VALORACIÓN**	**PUNTAJE**
1	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)**	81.68	50-100	7
2	**RQD (%) = 115 – 3.3 Jv**	55%	50-75	13
3	**ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES**	175mm	60-200mm	8
4	**CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Longitud	0.8	<1	6
	Separación	<0.1mm	<0.1mm	5
	Rugosidad	Ligeramente Rugosa	Ligeramente Rugosa	3
	Relleno	Duro, 2mm	Duro <5	4
	Meteorización	Ligeramente Alterada	Ligeramente Alterada	5
5	**AGUA SUBTERRÁNEA**	Seco	Seco	15
6	**ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Perpendicular al eje	66	Muy Favorable	0
	Paralelo al eje	No Valorado	No Valorado	No valorado
A	**TIPO DE ROCA**	Buena	Clase II: 80-61	66
B	**TIPO DE SOSTENIMIENTO**			

	Pernos	Aplicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 3m de longitud.
	Hormigón lanzado	No
	Marcos de acero	No
Nota: El parámetro B (TIPO DE SOSTENIMIENTO), se eligió de acuerdo a la tabla 19. recomendaciones para el sostenimiento de túneles y a criterio técnico del autor mediante corroboración bibliográfica de otros autores.		

Elaboración: *Autor*

Tabla 26. *RMR en el techo a 18.7m de la galería tramo N°1*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)				
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).			
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano		**Tramo N°**	1
Tutor:	Ing. Hernán Castillo		**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 18.7M)**			
TECHO				
PARÁMETROS		**RESULTADO**	**VALORACIÓN**	**PUNTAJE**
1	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)**	81.68	50-100	7
2	**RQD (%) = 115 – 3.3 Jv**	60%	50-75	13
3	**ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES**	178mm	60-200mm	8
4	**CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Longitud (m)	1	1-3	4
	Separación (mm)	<0.1mm	<0.1mm	5
	Rugosidad	Ligeramente Rugosa	Ligeramente Rugosa	3
	Relleno (mm)	Duro, 3mm	Duro <5	4
	Meteorización	Ligeramente Alterada	Ligeramente Alterada	5
5	**AGUA SUBTERRÁNEA**	Seco	Seco	15
6	**ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Perpendicular al eje	68	Muy Favorable	0
	Paralelo al eje	No Valorado	No Valorado	No valorado
A	**TIPO DE ROCA**	Buena	Clase II: 80-61	64
B	**TIPO DE SOSTENIMIENTO**			
	Pernos	Aplicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 3m de longitud.		
	Hormigón lanzado	No		
	Marcos de acero	No		
Nota: El parámetro B (TIPO DE SOSTENIMIENTO), se eligió de acuerdo a la tabla 19. recomendaciones para el sostenimiento de túneles y a criterio técnico del autor mediante corroboración bibliográfica de otros autores.				

Elaboración: *Autor*

Una vez obtenido los datos en el RMR en cada una de los hastiales y techo de la galería descritos en las tablas 24, 25 y 26, se realiza el promedio en el primer tramo de observación, describiendo la clase de macizo rocoso, los criterios de excavación y sostenimientos sugeridos (Tabla 27).

Tabla 27. *Clasificación del macizo del primer tramo de observación*

CLASIFICACIÓN DEL MACIZO EN EL PRIMER TRAMO DE OBSERVACIÓN				
1. TIPO DE ROCA				
Sección	**Descripción**	**Clase**	**RMR**	**Promedio**
Hastial Derecho	Buena	Clase II: 80-61	61	**63.67**
Hastial Izquierdo	Buena	Clase II: 80-61	66	
Techo	Buena	Clase II: 80-61	64	
2. TIPOS DE SOSTENIMIENTO				
Pernos	Aplicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 3m de longitud en techo y hastiales.			
Hormigón lanzado	No.			
Marcos de acero	No.			

Nota: El parámetro 2 (TIPO DE SOSTENIMIENTO), se eligió de acuerdo a la tabla 19. recomendaciones para el sostenimiento de túneles y a criterio técnico del autor mediante corroboración bibliográfica de otros autores.

Elaboración: *Autor*

6.6.2.2 Segundo tramo

Tabla 28. *RMR en hastial derecho a 48.5m de la galería tramo N°2*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)				
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).			
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano		**Tramo N°**	2
Tutor:	Ing. Hernán Castillo		**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 48.5m)**			
HASTIAL DERECHO				
PARÁMETROS		**RESULTADO**	**VALORACIÓN**	**PUNTAJE**
1	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)**	80.54	50-100	7
2	**RQD (%) = 115 – 3.3 Jv**	55 (%)	50-75	13
3	**ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES**	160mm	60-200mm	8
4	**CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Longitud	0.9m	<1	6
	Separación	<0.1mm	<0.1mm	5
	Rugosidad	Ligeramente Rugosa	Ligeramente Rugosa	3
	Relleno	Duro, 5mm	Duro <5	4
	Meteorización	Ligeramente Alterada	Ligeramente Alterada	5
5	**AGUA SUBTERRÁNEA**	Seco	Seco	15
6	**ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Perpendicular al eje	45	Favorable	-2
	Paralelo al eje	No valorado	No valorado	No valorado
A	**TIPO DE ROCA**	Buena	Clase II: 80-61	64
B	**TIPO DE SOSTENIMIENTO**			
	Pernos	Aplicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 3m de longitud.		
	Hormigón lanzado	No		
	Marcos de acero	No		
Nota: El parámetro B (TIPO DE SOSTENIMIENTO), se eligió de acuerdo a la tabla 19. recomendaciones para el sostenimiento de túneles y a criterio técnico del autor mediante corroboración bibliográfica de otros autores.				

Elaboración: *Autor*

Tabla 29. *RMR en hastial izquierdo a 48.5m de la galería tramo N°2*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)				
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).			
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano		**Tramo N°**	2
Tutor:	Ing. Hernán Castillo		**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 48.5m)**			
HASTIAL IZQUIERDO				
PARÁMETROS		**RESULTADO**	**VALORACIÓN**	**PUNTAJE**

1	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)**	80.54	50-100	7
2	**RQD (%) = 115 – 3.3 Jv**	70%	50-75	13
3	**ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES**	190mm	60-200mm	8
4	**CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Longitud	1.1m	<1m	6
	Separación	Nada	0	6
	Rugosidad	Rugosa	Rugosa	5
	Relleno	Blando, 4mm	Blando <5mm	2
	Meteorización	Ligeramente Alterada	Ligeramente Alterada	5
5	**AGUA SUBTERRÁNEA**	Ligeramente Seco	Ligeramente Seco	10
6	**ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Perpendicular al eje	68	Muy favorable	0
	Paralelo al eje	No Valorado	No Valorado	No valorado
A	**TIPO DE ROCA**	Buena	Clase II: 80-61	62
B	**TIPO DE SOSTENIMIENTO**			
	Pernos	Aplicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 3m de longitud.		
	Hormigón lanzado	No		
	Marcos de acero	No		
Nota: El parámetro B (TIPO DE SOSTENIMIENTO), se eligió de acuerdo a la tabla 19. recomendaciones para el sostenimiento de túneles y a criterio técnico del autor mediante corroboración bibliográfica de otros autores.				

Elaboración: *Autor*

Tabla 30. *RMR en el techo a 48.5m de la galería tramo N°2*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)			
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL “CANGONAMÁ”, (CÓDIGO 60000490).		
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano	**Tramo N°**	2
Tutor:	Ing. Hernán Castillo	**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 48.5m)**		
TECHO			
PARÁMETROS	**RESULTADO**	**VALORACIÓN**	**PUNTAJE**
1 **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)**	80.54	50-100	7
2 **RQD (%) = 115 – 3.3 Jv**	51 (%)	50-75	13
3 **ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES**	130mm	60-200mm	8
4 **CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES**			

	Longitud	0.8m	<1	6
	Separación	<0.1mm	<0.1mm	5
	Rugosidad	Ligeramente Rugosa	Ligeramente Rugosa	3
	Relleno	Duro, 5mm	Duro <5	4
	Meteorización	Ligeramente Alterada	Ligeramente Alterada	5
5	**AGUA SUBTERRÁNEA**	Seco	Seco	15
6	**ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Perpendicular al eje	68	Muy favorable	0
	Paralelo al eje	No valorado	No valorado	No valorado
A	**TIPO DE ROCA**	Buena	Clase II: 80-61	66
B	**TIPO DE SOSTENIMIENTO**			
	Pernos	Aplicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 3m de longitud.		
	Hormigón lanzado	No		
	Marcos de acero	No		
Nota: El parámetro B (TIPO DE SOSTENIMIENTO), se eligió de acuerdo a la tabla 19. recomendaciones para el sostenimiento de túneles y a criterio técnico del autor mediante corroboración bibliográfica de otros autores.				

Elaboración: *Autor*

Una vez obtenido los datos en el RMR en cada una de los hastiales y techo de la galería descritos en las tablas 28, 29 y 30, se realiza el promedio en el segundo tramo de observación, describiendo la clase de macizo rocoso, los criterios de excavación y sostenimientos sugeridos (Tabla 31).

Tabla 31. *Clasificación del macizo del segundo tramo de observación*

CLASIFICACIÓN DEL MACIZO EN EL SEGUNDO TRAMO DE OBSERVACIÓN				
1. TIPO DE ROCA				
Sección	**Descripción**	**Clase**	**RMR**	**Promedio**
Hastial Derecho	Buena	Clase II: 80-61	64	**64**
Hastial Izquierdo	Buena	Clase II: 80-61	62	
Techo	Buena	Clase II: 80-61	66	
2. TIPOS DE SOSTENIMIENTO				
Pernos	Aplicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 3m de longitud en techo y hastiales.			
Hormigón lanzado	No.			
Marcos de acero	No.			

Nota: El parámetro 2 (TIPO DE SOSTENIMIENTO), se eligió de acuerdo a la tabla 19. recomendaciones para el sostenimiento de túneles y a criterio técnico del autor mediante corroboración bibliográfica de otros autores.

Elaboración: *Autor*

6.6.2.3 Tercer tramo

Tabla 32. *RMR en hastial derecho a 85.6m de la galería tramo N°3*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)				
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).			
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano		**Tramo N°**	3
Tutor:	Ing. Hernán Castillo		**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 85.6m)**			
HASTIAL DERECHO				
PARÁMETROS		**RESULTADO**	**VALORACIÓN**	**PUNTAJE**
1	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)**	47.43	25-50	4
2	**RQD (%) = 115 – 3.3 Jv**	70 (%)	50-75	13
3	**ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES**	190mm	60-200mm	8
4	**CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Longitud	1.1m	1-3	4

	Separación	1.2mm	1-5	1
	Rugosidad	Ligeramente Rugosa	Ligeramente Rugosa	3
	Relleno	Blando, 2mm	Blando <5	2
	Meteorización	Muy Alterada	Muy Alterada	1
5	**AGUA SUBTERRÁNEA**	Húmedo	Húmedo	7
6	**ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Perpendicular al eje	44	Favorable	-2
	Paralelo al eje	No Valorado	No Valorado	No valorado
A	**TIPO DE ROCA**	Regular	Clase III: 60-41	41
B	**TIPO DE SOSTENIMIENTO**			
	Pernos	Aplicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.8m con malla electro soldada de 6mm de diámetro.		
	Hormigón lanzado	De 30cm de espesor.		
	Marcos de acero	No		
Nota: El parámetro B (TIPO DE SOSTENIMIENTO), se eligió de acuerdo a la tabla 19. recomendaciones para el sostenimiento de túneles y a criterio técnico del autor mediante corroboración bibliográfica de otros autores.				

Elaboración: *Autor*

Tabla 33. *RMR en hastial izquierdo a 85.6m de la galería tramo N°3*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)				
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).			
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano		**Tramo N°**	3
Tutor:	Ing. Hernán Castillo		**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 85.6m)**			
HASTIAL IZQUIERDO				
PARÁMETROS		**RESULTADO**	**VALORACIÓN**	**PUNTAJE**
1	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**	47.43	25-50	4
2	**RQD (%) = 115 – 3.3 Jv**	75 (%)	50-75	13
3	**ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES**	205mm	200-600mm	10
4	**CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Longitud	1.2mm	1-3	4
	Separación	1.1mm	1-5	1
	Rugosidad	Ligeramente Rugosa	Ligeramente Rugosa	3
	Relleno	Blando, 5mm	Blando >5	0
	Meteorización	Moderadamente Alterada	Moderadamente Alterada	3
5	**AGUA SUBTERRÁNEA**	Húmedo	Húmedo	7
6	**ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES**			

	Perpendicular al eje	65	Muy Favorable	0
	Paralelo al eje	No Valorado	No Valorado	No valorado
A	**TIPO DE ROCA**	Regular	Clase III: 60-41	45
B	**TIPO DE SOSTENIMIENTO**			
	Pernos	Aplicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.8m con malla electro soldada de 6mm de diámetro.		
	Hormigón lanzado	De 30cm de espesor.		
	Marcos de acero	No		
Nota: El parámetro B (TIPO DE SOSTENIMIENTO), se eligió de acuerdo a la tabla 19. recomendaciones para el sostenimiento de túneles y a criterio técnico del autor mediante corroboración bibliográfica de otros autores.				

Elaboración: *Autor*

Tabla 34. *RMR en el techo a 85.6m de la galería tramo N°3*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)				
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL “CANGONAMÁ”, (CÓDIGO 60000490).			
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano		**Tramo N°**	3
Tutor:	Ing. Hernán Castillo		**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 85.6m)**			
TECHO				
PARÁMETROS		**RESULTADO**	**VALORACIÓN**	**PUNTAJE**
1	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**	47.43	25-50	4
2	**RQD (%) = 115 – 3.3 Jv**	75 (%)	50-75	13
3	**ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES**	190mm	60-200mm	8
4	**CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Longitud	1m	1-3	4
	Separación	1mm	1-5	1
	Rugosidad	Rugosa	Rugosa	5
	Relleno	Blando, 2mm	Blando <5	2
	Meteorización	Moderadamente Alterada	Moderadamente Alterada	3
5	**AGUA SUBTERRÁNEA**	Goteando	Goteando	4
6	**ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Perpendicular al eje	65	Muy Favorable	0
	Paralelo al eje	No Valorado	No Valorado	No valorado
A	**TIPO DE ROCA**	Regular	Clase III: 60-41	44
B	**TIPO DE SOSTENIMIENTO**			
	Pernos	Aplicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.8m con malla electro soldada de 6mm de diámetro.		
	Hormigón lanzado	De 8cm de espesor.		

	Marcos de acero	No
Nota: El parámetro B (TIPO DE SOSTENIMIENTO), se eligió de acuerdo a la tabla 19. recomendaciones para el sostenimiento de túneles y a criterio técnico del autor mediante corroboración bibliográfica de otros autores.		

Elaboración: *Autor*

Una vez obtenido los datos en el RMR en cada una de los hastiales y techo de la galería descritos en las tablas 32, 33 y 34, se realiza el promedio en el tercer tramo de observación, describiendo la clase de macizo rocoso, los criterios de excavación y sostenimientos sugeridos (Tabla 35).

Tabla 35. Clasificación del macizo del tercer tramo de observación

CLASIFICACIÓN DEL MACIZO EN EL TERCER TRAMO DE OBSERVACIÓN				
1. TIPO DE ROCA				
Sección	**Descripción**	**Clase**	**RMR**	**Promedio**
Hastial Derecho	Regular	Clase III: 60-41	41	**43.33**
Hastial Izquierdo	Regular	Clase III: 60-41	45	
Techo	Regular	Clase III: 60-41	44	
2. TIPOS DE SOSTENIMIENTO				
Pernos	Aplicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.8m en techo y hastiales con malla electro soldada de 6mm de diámetro.			
Hormigón lanzado	De 8cm en la techo y 30cm en los hastiales.			
Marcos de acero	No			

Nota: El parámetro 2 (TIPO DE SOSTENIMIENTO), se eligió de acuerdo a la tabla 19. recomendaciones para el sostenimiento de túneles y a criterio técnico del autor mediante corroboración bibliográfica de otros autores.

Elaboración: *Autor*

6.6.2.4 Cuarto tramo

Tabla 36. *RMR en hastial derecho a 132.8m de la galería tramo N°4*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)				
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).			
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano		**Tramo N°**	4
Tutor:	Ing. Hernán Castillo		**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 132.8m)**			
HASTIAL DERECHO				
PARÁMETROS		**RESULTADO**	**VALORACIÓN**	**PUNTAJE**
1	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**	41.52	25-50	4
2	**RQD (%) = 115 – 3.3 Jv**	70%	50-75	13
3	**ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES**	190mm	60-200mm	8
4	**CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Longitud	1.1m	<1m	6
	Separación	Nada	0	6
	Rugosidad	Rugosa	Rugosa	5
	Relleno	4mm	Blando <5mm	2

	Meteorización	Moderadamente Alterada	Moderadamente Alterada	3
5	**AGUA SUBTERRÁNEA**	Húmedo	Húmedo	7
6	**ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Perpendicular al eje	45	Favorable	-2
	Paralelo al eje	No Valorado	No Valorado	No valorado
A	**TIPO DE ROCA**	Regular	Clase III: 60-41	52
B	**TIPO DE SOSTENIMIENTO**			
	Pernos	Aplicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.8m con malla electro soldada de 6mm de diámetro.		
	Hormigón lanzado	De 8cm de espesor.		
	Marcos de acero	No		
Nota: El parámetro B (TIPO DE SOSTENIMIENTO), se eligió de acuerdo a la tabla 19. recomendaciones para el sostenimiento de túneles y a criterio técnico del autor mediante corroboración bibliográfica de otros autores.				

Elaboración: *Autor*

Tabla 37. *RMR en hastial izquierdo a 132.8m de la galería tramo N°4*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)				
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).			
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano		**Tramo N°**	4
Tutor:	Ing. Hernán Castillo		**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 132.8m)**			
HASTIAL IZQUIERDO				
PARÁMETROS		**RESULTADO**	**VALORACIÓN**	**PUNTAJE**
1	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**	41.52	25-50	4
2	**RQD (%) = 115 – 3.3 Jv**	60%	50-75	13
3	**ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES**	195mm	60-200mm	8
4	**CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Longitud	0.67m	<1m	6
	Separación	1mm	1-5	1
	Rugosidad	Rugosa	Rugosa	5
	Relleno	Blando, 5mm	Blando <5mm	2
	Meteorización	Muy Alterada	Muy Alterada	1
5	**AGUA SUBTERRÁNEA**	Húmedo	Húmedo	7
6	**ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Perpendicular al eje	45	Favorable	-2
	Paralelo al eje	No Valorado	No Valorado	No valorado
A	**TIPO DE ROCA**	Regular	Clase III: 60-41	45

B	**TIPO DE SOSTENIMIENTO**	
	Pernos	Aplicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.8m con malla electro soldada de 6mm de diámetro.
	Hormigón lanzado	De 8cm de espesor.
	Marcos de acero	No
Nota: El parámetro B (TIPO DE SOSTENIMIENTO), se eligió de acuerdo a la tabla 19. recomendaciones para el sostenimiento de túneles y a criterio técnico del autor mediante corroboración bibliográfica de otros autores.		

Elaboración: *Autor*

Tabla 38. *RMR en el techo a 132.8m de la galería tramo N°4*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)				
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).			
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano		**Tramo N°**	4
Tutor:	Ing. Hernán Castillo		**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 132.8m)**			
TECHO				
PARÁMETROS		**RESULTADO**	**VALORACIÓN**	**PUNTAJE**
1	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**	41.52	25-50	4
2	**RQD (%) = 115 – 3.3 Jv**	65 (%)	50-75	13
3	**ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES**	195mm	60-200mm	8
4	**CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Longitud	1m	1-3	4
	Separación	2mm	1-5	1
	Rugosidad	Rugosa	Rugosa	5
	Relleno	Blando, 5mm	Blando <5mm	2
	Meteorización	Moderadamente Alterada	Moderadamente Alterada	3
5	**AGUA SUBTERRÁNEA**	Húmedo	Húmedo	7
6	**ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES**			
	Perpendicular al eje	45	Favorable	-2
	Paralelo al eje	No Valorado	No Valorado	No valorado
A	**TIPO DE ROCA**	Regular	Clase III: 60-41	45
B	**TIPO DE SOSTENIMIENTO**			
	Pernos	Aplicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.8m con malla electro soldada de 6mm de diámetro.		
	Hormigón lanzado	De 8cm de espesor.		
	Marcos de acero	No		

Nota: El parámetro B (TIPO DE SOSTENIMIENTO), se eligió de acuerdo a la tabla 19. recomendaciones para el sostenimiento de túneles y a criterio técnico del autor mediante corroboración bibliográfica de otros autores.

Elaboración: *Autor*

Una vez obtenido los datos en el RMR en cada una de los hastiales y techo de la galería descritos en las tablas 36, 37 y 38, se realiza el promedio en el cuarto tramo de observación, describiendo la clase de macizo rocoso, los criterios de excavación y sostenimientos sugeridos (Tabla 39).

Tabla 39. *Clasificación del macizo del cuarto tramo de observación*

CLASIFICACIÓN DEL MACIZO EN EL CUARTO TRAMO DE OBSERVACIÓN				
1. TIPO DE ROCA				
Sección	**Descripción**	**Clase**	**RMR**	**Promedio**
Hastial Derecho	Regular	Clase III: 60-41	52	**47.33**
Hastial Izquierdo	Regular	Clase III: 60-41	45	
Techo	Regular	Clase III: 60-41	45	
2. TIPOS DE SOSTENIMIENTO				
Pernos	Aplicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.8m en techo y hastiales con malla electro soldada de 6mm de diámetro.			
Hormigón lanzado	De 8cm en la techo y 30cm en los hastiales.			
Marcos de acero	No			
Nota: El parámetro 2 (TIPO DE SOSTENIMIENTO), se eligió de acuerdo a la tabla 19. recomendaciones para el sostenimiento de túneles y a criterio técnico del autor mediante corroboración bibliográfica de otros autores.				

Elaboración: *Autor*

6.6.3 Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso de Bieniawski (R.M.R.)

Con los datos obtenidos con anterioridad en cada tramo en el interior de la galería, se procede a identificar los que presentan mayor inestabilidad

el promedio en el cuarto tramo de observación, describiendo la clase de macizo rocoso, los criterios de excavación y sostenimientos sugeridos (Tabla 39).

Tabla 40. *Resultados de la Valoración Geomecánica del Macizo Rocoso de Bieniawski (R.M.R.)*

Resultados de la Valoración Geomecánica del Macizo Rocoso de Bieniawski (R.M.R.)				
Parámetros	**Tramo N°1**	**Tramo N°2**	**Tramo N°3**	**Tramo N°4**
Clase	II	II	III	III
Calidad	Buena	Buena	Regular	Regular
Valoración RMR	63.67	64	43.33	47.33
Cohesión (KPa)	200-300	200-300	150-200	150-200
Ángulo de rozamiento (°)	40-45	40-45	35-40	35-40
Tiempo medio de sostén	6 meses: Claro 4 m.	6 meses: Claro 4 m.	1 Semana: Claro 3m	1 Semana: Claro 3m

Elaboración: *Autor*

Se ha identificado que los sectores de mayor inestabilidad son el tramo tercero y cuarto localizados a 85.6m y 132.8m desde la boca mina, determinando al macizo rocoso con un RMR de 43.33 y 47.33 perteneciendo a una categoría regular, clase III con una cohesión entre 200-150 KPa y un ángulo de fricción entre 40° - 35°, mientras que en el primero y segundo tramo localizados a 18.7m y 48.5m desde la boca mina, presentan un RMR de 63.67 y 64 clasificándose en una categoría buena, clase II, que tendrá una cohesión entre los 300-200 KPa y un ángulo de fricción del macizo entre 45° - 40° que permitirá realizar las labores mineras sin ninguna dificultad, cabe recalcar que por el tiempo en el cual se realizaran las labores de explotación en la galería se tendrá que aplicar las obras de sostenimiento mencionadas en las tablas 27, 31, 35 y 39, en los cuales se describen los tipos sostenimiento sugeridos, además se aconseja realizar un desquinche integral en toda la galería.

Hay que tener en conocimiento que a partir de la boca mina hasta los 8m se encuentra constituida por la roca encajante granodiorita con un grado de meteorización alta pero esta sección tiene un entibado de madera como sostenimiento para evitar que se desprenda el material del techo.

6.7 Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso del Q de Barton

En la Clasificación Geomecánica se aplica el Sistema de Valoración del Macizo Rocoso Q de Barton, desarrollada por Barton y sus colaboradores en 1974, que establece 6 parámetros para estimar el comportamiento del macizo rocoso al igual que la clasificación RMR, los cuales se verán a continuación.

6.7.1 Sistema de Valoración del Macizo Rocoso Q de Barton

Para la aplicación del sistema de valoración en los parámetros que se mostrarán a continuación se tomaron las indicaciones mencionadas en el punto 2.4.4.

6.7.1.1 Primer tramo

Tabla 41. *Q de Barton en el hastial derecho a 18.7m de la galería tramo N°1*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q DE BARTON			
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).		
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano	**Tramo N°**	1
Tutor:	Ing. Hernán Castillo	**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 18.7M)**		
HASTIAL DERECHO			
1. PARÁMETROS	**2. DESCRIPCIÓN**	**3. VALOR**	
RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Regular	50	
Jn: Número de Familia de Diaclasas	Una familia de diaclasas	2	
Jr: Rugosidad de las Discontinuidades	Juntas rugosas	3	
Ja: Alteración de las Diaclasas	junta únicamente manchadas	1	
Jw: Presencia de Agua	Infiltraciones menores	1	
SRF	Zona fracturada en roca competente	5	
Tipo De Roca	Buena	15	
Sostenimiento	Pernos de anclaje sistemáticos de tipo barra helicoidal de 3m de longitud.		

Elaboración: *Autor*

Tabla 42. *Q de Barton en el hastial izquierdo a 18.7m de la galería tramo N°1*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q DE BARTON			
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).		
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano	**Tramo N°**	1
Tutor:	Ing. Hernán Castillo	**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 18.7M)**		
HASTIAL IZQUIERDO			
1. PARÁMETROS	**2. DESCRIPCIÓN**	**3. VALOR**	
RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Regular	55	
Jn: Número de Familia de Diaclasas	Una familia de diaclasas	2	
Jr: Rugosidad de las Discontinuidades	Juntas rugosas	3	
Ja: Alteración de las Diaclasas	Juntas selladas	0.75	
Jw: Presencia de Agua	Infiltraciones menores	1	
SRF	Zona fracturada en roca competente	5	
Tipo De Roca	Buena	22	
Sostenimiento	Pernos de anclaje sistemáticos de tipo barra helicoidal de 3m de longitud.		

Elaboración: *Autor*

Tabla 43. *Q de Barton en el techo a 18.7m de la galería tramo N°1*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q DE BARTON			
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).		
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano	**Tramo N°**	1
Tutor:	Ing. Hernán Castillo	**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 18.7M)**		
TECHO			
1. PARÁMETROS	**2. DESCRIPCIÓN**	**3. VALOR**	
RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Regular	60	
Jn: Número de Familia de Diaclasas	Una familia de diaclasas	2	
Jr: Rugosidad de las Discontinuidades	Juntas rugosas	3	

Ja: Alteración de las Diaclasas	Juntas selladas	0.75
Jw: Presencia de Agua	Infiltraciones menores	1
SRF	Zona fracturada en roca competente	5
Tipo De Roca	Buena	24
Sostenimiento	Pernos de anclaje sistemáticos de tipo barra helicoidal de 3m de longitud.	

Elaboración: *Autor*

Una vez obtenido los datos del Q de Barton en cada una de los hastiales y techo de la galería descritos en las tablas 41, 42 y 43, se realiza el promedio en el primer tramo de observación, describiendo la clase de macizo rocoso y sostenimientos sugeridos (Tabla 44).

Tabla 44. *Clasificación del macizo del primer tramo de observación Q de Barton*

CLASIFICACIÓN DEL MACIZO EN EL PRIMER TRAMO DE OBSERVACIÓN			
1. TIPO DE ROCA			
Sección	**Descripción**	**Valor**	**Promedio**
Hastial Derecho	**Buena**	**15**	**20.33**
Hastial Izquierdo	**Buena**	**22**	
Techo	**Buena**	**24**	
2. TIPO DE SOSTENIMIENTO			
Pernos de anclaje sistemáticos de tipo barra helicoidal de 3m de longitud en hastiales y techo.			

Elaboración: *Autor*

6.7.1.2 Segundo tramo

Tabla 45. *Q de Barton en el hastial derecho a 48.5m de la galería tramo N°2*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q DE BARTON			
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL “CANGONAMÁ”, (CÓDIGO 60000490).		
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano	**Tramo N°**	2
Tutor:	Ing. Hernán Castillo	**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 48.5M)**		
HASTIAL DERECHO			
1. PARÁMETROS	**2. DESCRIPCIÓN**	**3. VALOR**	
RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Regular	55	

Jn: Número de Familia de Diaclasas	Una familia de diaclasas y algunas ocasionales	3
Jr: Rugosidad de las Discontinuidades	Juntas rugosas	3
Ja: Alteración de las Diaclasas	Juntas selladas	0.75
Jw: Presencia de Agua	Infiltraciones menores	1
SRF	Zona fracturada en roca competente	5
Tipo De Roca	Buena	14.67
Sostenimiento	Pernos de anclaje sistemáticos de tipo barra helicoidal de 3m de longitud.	

Elaboración: *Autor*

Tabla 46. *Q de Barton en el hastial izquierdo a 48.5m de la galería tramo N°2*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q DE BARTON			
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).		
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano	**Tramo N°**	2
Tutor:	Ing. Hernán Castillo	**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 48.5M)**		
HASTIAL IZQUIERDO			
1. PARÁMETROS	**2. DESCRIPCIÓN**	**3. VALOR**	
RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Regular	70	
Jn: Número de Familia de Diaclasas	Una familia de diaclasas y algunas ocasionales	3	
Jr: Rugosidad de las Discontinuidades	Juntas rugosas	3	
Ja: Alteración de las Diaclasas	Juntas selladas	0.75	
Jw: Presencia de Agua	Infiltraciones menores	1	
SRF	Zona fracturada en roca competente	5	
Tipo De Roca	Buena	18.67	
Sostenimiento	Pernos de anclaje sistemáticos de tipo barra helicoidal de 3m de longitud.		

Elaboración: *Autor*

Tabla 47. Q de Barton en el techo a 48.5m de la galería tramo N°2

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q DE BARTON			
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).		
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano	**Tramo N°**	2
Tutor:	Ing. Hernán Castillo	**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 48.5M)**		
TECHO			
1. PARÁMETROS	**2. DESCRIPCIÓN**	**3. VALOR**	
RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Regular	51	
Jn: Número de Familia de Diaclasas	Una familia de diaclasas y algunas ocasionales	3	
Jr: Rugosidad de las Discontinuidades	Juntas rugosas	3	
Ja: Alteración de las Diaclasas	Juntas selladas	0.75	
Jw: Presencia de Agua	Infiltraciones menores	1	
SRF	Zona fracturada en roca competente	5	
Tipo De Roca	Buena	13.6	
Sostenimiento	Pernos de anclaje sistemáticos de tipo barra helicoidal de 3m de longitud.		

Elaboración: *Autor*

Una vez obtenido los datos del Q de Barton en cada una de los hastiales y techo de la galería descritos en las tablas 45, 46 y 47, se realiza el promedio en el segundo tramo de observación, describiendo la clase de macizo rocoso y sostenimientos sugeridos (Tabla 48).

Tabla 48. *Clasificación del macizo del segundo tramo de observación Q de Barton*

CLASIFICACIÓN DEL MACIZO EN EL SEGUNDO TRAMO DE OBSERVACIÓN			
1. TIPO DE ROCA			
Sección	**Descripción**	**Valor**	**Promedio**
Hastial Derecho	**Buena**	**14.67**	**15.65**
Hastial Izquierdo	**Buena**	**18.67**	
Techo	**Buena**	**13.6**	
2. TIPO DE SOSTENIMIENTO			
Pernos de anclaje sistemáticos de tipo barra helicoidal de 3m de longitud en hastiales y techo.			

Elaboración: *Autor*

6.7.1.3 Tercer tramo

Tabla 49. *Q de Barton en el hastial derecho a 85.6m de la galería tramo N°3*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q DE BARTON			
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).		
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano	**Tramo N°**	3
Tutor:	Ing. Hernán Castillo	**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 85.6M)**		
HASTIAL DERECHO			
1. PARÁMETROS	**2. DESCRIPCIÓN**	**3. VALOR**	
RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Regular	70	
Jn: Número de Familia de Diaclasas	Una familia de diaclasas y algunas ocasionales	3	
Jr: Rugosidad de las Discontinuidades	Juntas suaves onduladas	2	
Ja: Alteración de las Diaclasas	Juntas únicamente manchadas	1	
Jw: Presencia de Agua	Infiltraciones menores	1	
SRF	Zona fracturada en roca competente	5	
Tipo De Roca	Regular	9.33	
Sostenimiento	Pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.8m con malla electro soldada de 6mm de diámetro rellenado con hormigón lanzado de 8cm de espesor		

Elaboración: *Autor*

Tabla 50. *Q de Barton en el hastial izquierdo a 85.6m de la galería tramo N°3*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q DE BARTON			
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).		
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano	**Tramo N°**	3
Tutor:	Ing. Hernán Castillo	**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 85.6M)**		
HASTIAL IZQUIERDO			
1. PARÁMETROS	**2. DESCRIPCIÓN**	**3. VALOR**	
RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Regular	75	

Jn: Número de Familia de Diaclasas	Una familia de diaclasas y algunas ocasionales	3
Jr: Rugosidad de las Discontinuidades	Juntas suaves onduladas	2
Ja: Alteración de las Diaclasas	Juntas únicamente manchadas	1
Jw: Presencia de Agua	Infiltraciones menores	1
SRF	Zona fracturada en roca competente	5
Tipo De Roca	Regular	10
Sostenimiento	Pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.8m con malla electro soldada de 6mm de diámetro rellenado con hormigón lanzado de 8cm de espesor	

Elaboración: *Autor*

Tabla 51. *Q de Barton en el techo a 85.6m de la galería tramo N°3*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q DE BARTON			
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).		
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano	**Tramo N°**	3
Tutor:	Ing. Hernán Castillo	**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 85.6M)**		
TECHO			
1. PARÁMETROS	**2. DESCRIPCIÓN**	**3. VALOR**	
RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Regular	75	
Jn: Número de Familia de Diaclasas	Una familia de diaclasas y algunas ocasionales	3	
Jr: Rugosidad de las Discontinuidades	Juntas suaves onduladas	2	
Ja: Alteración de las Diaclasas	Juntas únicamente manchadas	1	
Jw: Presencia de Agua	Infiltraciones menores	1	
SRF	Zona fracturada en roca competente	5	
Tipo De Roca	Regular	10	
Sostenimiento	Pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.8m con malla electro soldada de 6mm de diámetro rellenado con hormigón lanzado de 8cm de espesor		

Elaboración: *Autor*

Una vez obtenido los datos del Q de Barton en cada una de los hastiales y techo de la galería descritos en las tablas 49, 50 y 51, se realiza el promedio en el tercer tramo de observación, describiendo la clase de macizo rocoso y sostenimientos sugeridos (Tabla 52).

Tabla 52. *Clasificación del macizo del tercer tramo de observación Q de Barton*

CLASIFICACIÓN DEL MACIZO EN EL TERCER TRAMO DE OBSERVACIÓN			
1. TIPO DE ROCA			
Sección	**Descripción**	**Valor**	**Promedio**
Hastial Derecho	**Regular**	**9.33**	**9.77**
Hastial Izquierdo	**Regular**	**10**	
Techo	**Regular**	**10**	
2. TIPO DE SOSTENIMIENTO			
Pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.8m con malla electro soldada de 6mm de diámetro rellenado con hormigón lanzado de 8cm de espesor en hastiales y techo.			

Elaboración: *Autor*

6.7.1.4 Cuarto tramo

Tabla 53. *Q de Barton en el hastial derecho a 132.8m de la galería tramo N°4*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q DE BARTON			
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL “CANGONAMÁ”, (CÓDIGO 60000490).		
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano	**Tramo N°**	4
Tutor:	Ing. Hernán Castillo	**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 132.8M)**		
HASTIAL DERECHO			
1. PARÁMETROS	**2. DESCRIPCIÓN**	**3. VALOR**	
RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Regular	70	
Jn: Número de Familia de Diaclasas	Una familia de diaclasas y algunas ocasionales	3	
Jr: Rugosidad de las Discontinuidades	Juntas planas	1.5	
Ja: Alteración de las Diaclasas	Estructuras con cajas ligeramente alteradas	2	
Jw: Presencia de Agua	Infiltraciones menores	1	
SRF	Zona fracturada en roca competente	5	
Tipo De Roca	Mala	3.5	

Sostenimiento	Pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.5m con malla electro soldada de 6mm de diámetro rellenado con hormigón lanzado de 10cm de espesor

Elaboración: *Autor*

Tabla 54. *Q de Barton en el hastial izquierdo a 132.8m de la galería tramo N°4*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q DE BARTON			
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).		
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano	**Tramo N°**	4
Tutor:	Ing. Hernán Castillo	**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 132.8M)**		
HASTIAL IZQUIERDO			
1. PARÁMETROS	**2. DESCRIPCIÓN**	**3. VALOR**	
RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Regular	60	
Jn: Número de Familia de Diaclasas	Una familia de diaclasas y algunas ocasionales	3	
Jr: Rugosidad de las Discontinuidades	Juntas planas	1.5	
Ja: Alteración de las Diaclasas	Estructuras con cajas ligeramente alteradas	2	
Jw: Presencia de Agua	Infiltraciones menores	1	
SRF	Zona fracturada en roca competente	5	
Tipo De Roca	Mala	3	
Sostenimiento	Pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.5m con malla electro soldada de 6mm de diámetro rellenado con hormigón lanzado de 10cm de espesor		

Elaboración: *Autor*

Tabla 55. *Q de Barton en el techo a 132.8m de la galería tramo N°4*

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q DE BARTON			
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).		
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano	**Tramo N°**	4
Tutor:	Ing. Hernán Castillo	**Fecha:**	12/08/2021
Ubicación:	**Galería Principal (A 132.8M)**		
TECHO			

1. PARÁMETROS	2. DESCRIPCIÓN	3. VALOR
RQD (%) = 115 – 3.3 Jv	Regular	65
Jn: Número de Familia de Diaclasas	Una familia de diaclasas y algunas ocasionales	3
Jr: Rugosidad de las Discontinuidades	Juntas planas	1.5
Ja: Alteración de las Diaclasas	Estructuras con cajas ligeramente alteradas	2
Jw: Presencia de Agua	Infiltraciones menores	1
SRF	Zona fracturada en roca competente	5
Tipo De Roca	Mala	3.25
Sostenimiento	Pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.5m con malla electro soldada de 6mm de diámetro rellenado con hormigón lanzado de 10cm de espesor	

Elaboración: *Autor*

Una vez obtenido los datos del Q de Barton en cada una de los hastiales y techo de la galería descritos en las tablas 53, 54 y 55, se realiza el promedio en el tercer tramo de observación, describiendo la clase de macizo rocoso y sostenimientos sugeridos (Tabla 56).

Tabla 56. *Clasificación del macizo del cuarto tramo de observación Q de Barton*

CLASIFICACIÓN DEL MACIZO EN EL PRIMER TRAMO DE OBSERVACIÓN			
1. TIPO DE ROCA			
Sección	**Descripción**	**Valor**	**Promedio**
Hastial Derecho	**Mala**	**3.5**	**3.25**
Hastial Izquierdo	**Mala**	**3**	
Techo	**Mala**	**3.25**	
2. TIPO DE SOSTENIMIENTO			
Pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.5m con malla electro soldada de 6mm de diámetro rellenado con hormigón lanzado de 10cm de espesor			

Elaboración: *Autor*

6.7.2 Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso del Q de Barton

Tabla 57. *Resultados de la Valoración Geomecánica del Macizo Rocoso del Q de Barton*

Resultados de la Valoración Geomecánica del Macizo Rocoso del Q de Barton				
Parámetros	**Tramo N°1**	**Tramo N°2**	**Tramo N°3**	**Tramo N°4**
Calidad	Buena	Buena	Regular	Mala

Valoración Q de Barton	20.33	15.65	9.77	3.25
Tipo de Sostén	Pernos de anclaje sistemáticos de tipo barra helicoidal de 3m de longitud	Pernos de anclaje sistemáticos de tipo barra helicoidal de 3m de longitud	Pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.8m con malla electro soldada de 6mm de diámetro rellenado con hormigón lanzado de 8cm de espesor	Pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.5m con malla electro soldada de 6mm de diámetro rellenado con hormigón lanzado de 10cm de espesor
Nota: Para determinar el tipo de sostenimiento especifico se eligió a la categoría que pertenece cada tramo como lo menciona Barton en su clasificación de estimación de soporte según el índice Q, y a criterio técnico del autor mediante corroboración bibliográfica de otros autores.				

Elaboración: *Autor*

Una vez obtenido los resultados de la Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso del Q de Barton, se ha logrado identificar que el tramo de mayor inestabilidad es el cuarto que se encuentra localizado a 132.8m desde la boca mina, con una valoración de 3.25 perteneciente a una calidad mala, en el cual se sugiere un tipo de sostenimiento de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.5m con malla electro soldada de 6mm de diámetro rellenado con hormigón lanzado de 10cm de espesor.

El segundo tramo de mayor inestabilidad es el tercero el cual se encuentra localizado a 85.6m desde la boca mina, con una valoración de 9.77 perteneciente a una calidad regular, en el cual se sugiere un tipo de sostenimiento de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.8m con malla electro soldada de 6mm de diámetro rellenado con hormigón lanzado de 8cm de espesor

Finalmente, los tramos de menor inestabilidad están el primero y segundo los cuales se encuentran ubicados a 18.7m y 48.5m desde la boca mina los cuales presentan una valoración de 20.33 y 15.65 respectivamente, pertenecientes a una calidad buena en el cual el tipo de sostenimiento es mucho menor en relación a los otros dos tramos en ellos solo se aplicaría pernos de anclaje sistemáticos de tipo barra helicoidal de 3m de longitud como lo menciona Barton en su clasificación de estimación de soporte según el índice Q.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según los resultados obtenidos referente a la topografía realizada en el área de estudio las altitudes presentes en la misma que varían de 600 a 700 m.s.n.m perteneciente a un relieve colinado alto, el cual fue corroborado con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Larama 2019-2023 en su mapa geomorfológico de la parroquia Larama desarrollado por el Ingeniero Giovanny Segarra R. e Ingeniero Marlon Guamán Jaramillo.

Los resultados obtenidos en el presente proyecto referente a la geología, nos muestran que el área de estudio está comprendida principalmente por roca granito, granodiorita y diorita, pertenecientes al Batolito de Tangula, y se ha podido corroborar con lo que menciona Pilatasig L., Gordón P., Palacios. O. & Sánchez J. (2007), en su mapa geológico estructural de la región sur del Ecuador y norte del Perú, así como lo menciona también Egüez A., & Poma. (2001) en su trabajo denominado la cuenca Alamor-Lancones en el contexto geodinámico de los andes de Huancabamba, SW Ecuador, y de igual forma con el proyecto modelo piloto para la determinación del potencial geológico-mineralógico de las zonas Zaruma Y Cariamanga a escala 1:100000 elaborado por el INIGEMN (2013).

Mientras que las estructuras geológicas obtenidas en la galería principal, existe la presencia de una falla de tipo normal, la cual es inferida en superficie como lo menciona el INIGEMN (2013) en su proyecto modelo piloto para la determinación del potencial geológico-mineralógico de las zonas Zaruma Y Cariamanga a escala 1:100000 , también se evidencio la presencia diaclasas donde este tipo de estructuras están asociadas a esfuerzos, presiones y cambios de temperatura en las fisuras que hacen que se conviertan en diaclasas como lo menciona García, R., & García E. (2015) en su artículo científico

denominado las diaclasas, su origen para una definición y uso adecuado en diseño geotécnico.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación para determinar la caracterización del macizo rocoso mediante la clasificación RMR por Bieniawski y la de Q de Barton difieren en el tramo 4 en el cual se obtuvo 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, siendo la valoración de Q de Barton más amplia con 9 tipos de calidades de roca mientras que en la clasificación RMR solo hay 5 calidades, sin embargo, se aplicó las dos clasificaciones con el fin de obtener mejores datos, aunque Fernández, J., Pérez, H., & Mulone, D. (2017) en su artículo científico denominado correlación entre el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton en formaciones sedimentarias de grano fino, nos menciona que es más apropiado la clasificación del Q de Barton para la clasificación de la estabilidad y del tipo de sostenimiento a emplear en túneles en roca fracturada, teniendo un mejor uso durante la planificación y siendo menos útil durante el proceso constructivo.

8. CONCLUSIONES

- El área minera artesanal Cangonamá (código 60000490), está constituida por 4 hectáreas contiguas, se encuentra en una zona de relieve colinado alto con cotas desde los 600 a 700 msnm.
- Mediante la recopilación de información exploratoria se determinó que superficialmente el área minera está constituida por granito y existe la presencia de granodiorita en la vía de con dirección hacia los poblados de Cangonamá Chico y Grande, ambos tipos de roca pertenecientes al intrusivo del Batolito de Tangula, siendo este granito de origen metasomático en estado de alteración que en parte es porfídico con cristales de feldespato y micas.
- Al interior de la galería principal está constituida por rocas ígneas intrusivas granodiorita, granito y diorita. La granodiorita se encuentra en el tramo desde la boca mina hasta los 8m; 8-14.52m; 14.52- 40.6m; 42.3m- 85.6m, siendo esta la roca que más predomina en el área de estudio. La roca diorita se evidencia muy poco este tipo de roca se encuentra desde los 40.6m hasta los 42.3m, este tipo de roca presenta una coloración gris oscura. Y finalmente la roca granito siendo esta de origen metasomático y se encuentra en estado de alteración, se encuentra desde los 85.6m hasta el final de la galería, en ciertos tramos se evidencia la presencia de xenolitos incrustados a la roca.
- Las proyecciones estereográficas determinaron que el rumbo predominante de las diaclasas generadas por la familia principal es de NW-SE, direcciones semejantes a las estructuras mineralizadas encontradas en la galería principal.
- Una vez aplicada la valoración del RMR en los cuatro tramos de la galería se ha identificado que los sectores de mayor inestabilidad son el tercero y cuarto localizados 85.6m y 132.8m desde la boca mina con un resultado de 43.33 y 47.33 perteneciendo a una categoría regular, clase III, sugiriéndose un sostenimiento de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.8m con malla electro soldada de 6mm de diámetro rellenado con hormigón lanzado de 8cm de espesor.
- En el primer y segundo tramo localizados a 18.7m y 48.5m desde la boca mina, presentan un RMR de 63.67 y 64 clasificándose en una categoría buena, clase II,

sugiriéndose un sostenimiento de pernos de anclaje sistemáticos de tipo barra helicoidal de 3m de longitud.

- Una vez aplicada la valoración de Q de Barton en los cuatro tramos de la galería se ha logrado identificar que el tramo de mayor inestabilidad es el cuarto que se encuentra localizado a 132.8m desde la boca mina, con una valoración de 3.25 perteneciente a una calidad mala, en el cual se sugiere un tipo de sostenimiento de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.5m con malla electro soldada de 6mm de diámetro rellenado con hormigón lanzado de 10cm de espesor
- El segundo tramo de mayor inestabilidad es el tercero el cual se encuentra localizado a 85.6m desde la boca mina, con una valoración de 9.77 perteneciente a una calidad regular, en el cual se sugiere un tipo de sostenimiento de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 4m de longitud separados a 1.8m con malla electro soldada de 6mm de diámetro rellenado con hormigón lanzado de 8cm de espesor.
- Los tramos de menor inestabilidad son el primero y segundo los cuales se encuentran ubicados a 18.7m y 48.5m desde la boca mina los cuales presentan una valoración de 20.33 y 15.65 respectivamente, pertenecientes a una calidad buena en el cual el tipo de sostenimiento es mucho menor en relación a los otros dos tramos en ellos solo se aplicaría pernos de anclaje sistemáticos de tipo barra helicoidal de 3m de longitud.

9. RECOMENDACIONES

- Mantener actualizada la base topográfica superficial y subterránea, conforme se vaya dando los avances de explotación y a la proyección de futuras labores mineras que se realizaran en el área minera artesanal Cangonamá.
- Ampliar la sección de la galería principal con la finalidad de facilitar el transporte de la maquinaria y personal.
- Realizar estudios geológicos estructurales en el resto de futuras galerías tanto de exploración como de explotación para identificar las zonas inestables y coordinar de una manera segura los trabajos en el área minera artesanal Cangonamá.
- Aplicar las dos clasificaciones geomecánicas durante la apertura de una galería para así cuantificar las condiciones existentes en el macizo rocoso y poder seleccionar un tipo de sostenimiento acorde con las características geomecánicas de la nueva galería.
- Tomar las medidas de sostenimiento y fortificación de forma inmediata en los sectores en los cuales existe la presencia de agua, por la afectación hacia el macizo rocoso.
- Efectuar el debido seguimiento y control geomecánico periódico, generando información actual y tomar medidas de control, conllevando esto a evitar futuros accidentes en las labores mineras del área.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2005). Ciencias de la Tierra, una introduccion a la geologia fisica. In M. Martin & M. Caicoya (Eds.), American Journal of Otolaryngology--Head and Neck Medicine and Surgery (Vol. 12, Issue 1). https://doi.org/10.1016/0196-0709(91)90073-O

Vallejo, L. I. G.; Ferrer, M.; Ortuño, L. (2002). *Ingenieria Geologica* (I. Capella & S. Ayerra (eds.)).

Flores, E. (2011). Mineria Metalica a Cielo Abierto. Panamá.

Gavilanes, H., & Andrade, B. (2007). Introducción a la ingeniería de túneles. Asociacion de Ingenieros de Minas del Ecuador.

Energía, S. N. (2011). Tajo abierto y Socavón. Lima.

Cajahuanca, B. (2018). Evaluación Geomecánica y tipo de sostenimiento en la ventana 2 frente 4 progresiva 8+400 A 8+300 túnel de aducción de la central hidroeléctrica de Chaglla, distrito de Chichao Huánuco. Cerro de Pasco.

León, J. (11 de 2018). Geotecnia . Obtenido de Clasificación Geomecánica.

Cueva, E., & Díaz, D. (2014). Sistema Q de Barton. Cajamarca.

Ayala, L., 2018. Notas Esenciales Sobre El Mapeo Geológico. [en línea] Explorock. Disponible en: <https://www.explorock.com/notas-esenciales-sobre-mapeo-geologico/>. Perú.

Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley & Sons. USA.

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.

Bongiorno, F. (2012). Índice de calidad de la roca RQD. Clasificaciones de los macizos rocosos según: Barton Bieniawski y Hoek Y Brown. 1–20.

Escobar, G. D. (2019). Manual de Geología para Ingenieros.

Manuel, J., & Ruiz, D. L. (2016). Topografía Minera.

Morales, W. G. (2015). Texto Básico Autoformativo de Topografía General.

Nieto, A. T. (2011). Topografía.

Sociedad nacional de minería petróleo y energía. (2004). Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea: Vol. I.

Rincón, M., Vargas, W., & González, C. (2017). Topografía (Conceptos y Aplicaciones). Bogotá: Ecoe.

Larama, G. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Larama. Macará.

Larama, G. (2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Larama. Macará.

Pilatasig L., Gordón P., Palacios. O. & Sánchez J. (2007), en su mapa geológico estructural de la región sur del Ecuador y norte del Perú. Escala 1:500000. Dirección Nacional de Geología, Ministerio de Minas y Petróleos, Ecuador- Instituto Geológico Minero Metalúrgico, Ministerio de Energía y Minas, Perú. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. Ecuador-Canadá- Perú.

Egüez A., & Poma. (2001). La cuenca Alamor-Lancones en el contexto geodinámico de los andes de Huancabamba, SW Ecuador., IV Jorn. Ciencias de la Tierra, E.P.N., Quito, pp. 19-22.

INIGEMN. (2013). Modelo piloto para la determinación del potencial geológico-mineralógico de las zonas Zaruma Y Cariamanga a escala 1:100000. Quito.

García, R., & García E. (2015). Las diaclasas, su origen para una definición y uso adecuado en diseño geotécnico.

Fernández, J., Pérez, H., & Mulone, D. (2017). Correlación entre el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton en formaciones sedimentarias de grano fino. Informes de la construcción, 69(547): e205, doi: http://dx.doi.org/10.3989/id54459

Carvajal, A. (2008). Manual Sistema de Refuerzo de Rocas con Pernos SAFEROCK. Santiago de Chile: M y M Servicios Gráficos.

Choquecota, V. (2020). Método empírico y analítico en el diseño de sostenimiento del túnel Chacahuaro- Matucana. Puno. Obtenido de Universidad Nacional del Altiplano

Echeveste, H (2008). Manual de levantamiento geológico. Universidad Nacional de La Plata.

11. ANEXOS

- Anexo 4: Mapa Topográfico Superficial
- Anexo 5: Mapa Topográfico Subterráneo
- Anexo 6: Mapa Geológico Superficial
- Anexo 7: Mapa Geológico-Estructural de la Galería Principal
- Anexo 8: Mapa de la Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso de Bieniawski (R.M.R.)
- Anexo 9: Mapa de la Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso del Q de Barton
- Anexo 10: Cortes Geológicos

CD-N°2 (se encuentran los mapas)

Anexo 1: Registro Fotográfico

Entrada al área minera Cangonamá

Entrada a la bocamina galería principal

Campamento del área minera Cangonamá

Zona del polvorín y armado del área

Wincha del área minera Cangonamá

Zona del generador y compresor del área

Levantamiento de afloramiento N° 2

Levantamiento de afloramiento N° 4

Galeria Principal roca diorita con limonita

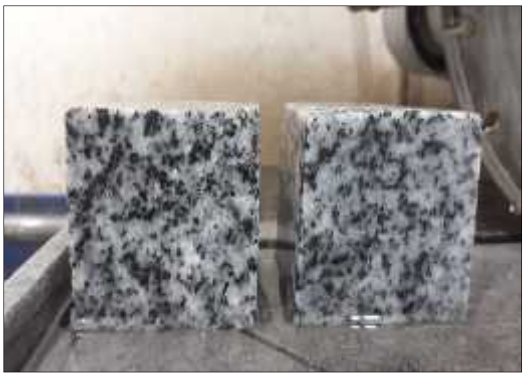
Pozo dentro de la galería principal

Mediación de orientación de la veta

Vetillas presentes en la galería principal

Pared fracturada con soporte

Muestras obtenidas de la galería principal



Cubos de rocas una vez tallados

Cubo de roca codificado para ensayo

Equipo que se utilizó para ensayo a la compresión simple de las rocas

Anexo 2: Fichas descripción de afloramientos

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS					
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).				
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano			Afloramiento N°	1
UBICACIÓN					
Provincia	LOJA	Cantón	MACARÁ	Parroquia	LARAMA
FOTOGRAFÍA			Sector	CANGONAMÁ	
			Localización	X: 618442	Y: 9526896
				Z: 670	
			Datum	WGS-84	
			Tipo de Afloramiento		
			Natural		
			Antrópico	X	
			Medidas		
			Altura	2 metros	
			Longitud	3.5 metros	
TIPO DE MATERIAL					
Génesis	Ígneo	X	Roca Ígnea	X	Plutónica
	Metamórfico		Roca Sedimentaria		
	Sedimentario		Roca Metamórfica		
Textura	Afanítica				
Meteorización	Alta				
Datos Estructurales	Azimut	119°	Buzamiento	55°SE	
DESCRIPCIÓN					
El afloramiento es de tipo artificial, producto del corte por apertura de vía para entrar al campamento de la mina. La principal litología del lugar comprende granito de origen metasomático en estado de alteración. En parte es porfídico con cristales de feldespato y micas, el grano es grueso existiendo un tránsito gradual de grueso a fino, cubierta por una cobertura vegetal de 20 cm de espesor, lo cual junto con la escaza cantidad de afloramientos impide que podamos establecer la potencia del granito.					
CROQUIS					

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS					
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).				
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano			Afloramiento N°	2
UBICACIÓN					
Provincia	LOJA	Cantón	MACARÁ	Parroquia	LARAMA
FOTOGRAFÍA			Sector	CANGONAMÁ	
			Localización	X: 618651	Y: 9526982
				Z: 672	
			Datum	WGS-84	
			Tipo de Afloramiento		
			Natural		
			Antrópico	X	
			Medidas		
			Altura	3 metros	
			Longitud	2.5 metros	

TIPO DE MATERIAL					
Génesis	Ígneo	X	Roca Ígnea	X	Plutónica
	Metamórfico		Roca Sedimentaria		
	Sedimentario		Roca Metamórfica		
Textura	Fanerítica				
Meteorización	Alto				
Datos Estructurales	Azimut	158°	Buzamiento	62° SE	

DESCRIPCIÓN

El afloramiento es de tipo artificial, producto del corte por apertura de vía hacia el pueblo Cangonamá Grande, la litología corresponde a un granito con grado de alteración alto, presenta una coloración gris y textura fanerítica. La formación geología que pertenece es al Batolito de Tangula (rocas intrusivas), con una variedad de textura ígnea que incluye material característico de las rocas ígneas. La materia orgánica presenta una potencia de 40 cm.

CROQUIS

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS					
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).				
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano			Afloramiento N°	3
UBICACIÓN					
Provincia	LOJA	Cantón	MACARÁ	Parroquia	LARAMA
FOTOGRAFÍA			Sector	CANGONAMÁ	
			Localización	X: 618447	Y: 9526899
				Z: 695	
			Datum	WGS-84	
			Tipo de Afloramiento		
			Natural		
			Antropico	X	
			Medidas		
			Altura	2 metros	
			Longitud	3.5 metros	

TIPO DE MATERIAL					
Génesis	Ígneo	X	Roca Ígnea	X	Plutónica
	Metamórfico		Roca Sedimentaria		
	Sedimentario		Roca Metamórfica		
Textura	Afanítica				
Meteorización	Moderada				
Datos Estructurales	Azimut	103°	Buzamiento	64° SE	

DESCRIPCIÓN

El afloramiento es de tipo artificial, producto del corte por apertura de vía para entrar al campamento de la mina. La litología es de un granito metasomáticos con grado de alteración moderado, de coloración de café-amarillento. La formación geología a la que pertenece es la Celica, con una variedad de textura ígnea que incluye material afanítico característicos de las rocas ígneas con enfriamiento rápido. La materia orgánica presenta una potencia de 45 cm.

CROQUIS

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS					
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).				
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano			Afloramiento N°	4
UBICACIÓN					
Provincia	LOJA	Cantón	MACARÁ	Parroquia	LARAMA
FOTOGRAFÍA			Sector	CANGONAMÁ	
			Localización	X: 618439	Y: 9526893
				Z: 690	
			Datum	WGS-84	
			Tipo de Afloramiento		
			Natural		
			Antropico	X	
			Medidas		
			Altura	2.5 metros	
			Longitud	4.5 metros	

TIPO DE MATERIAL					
Génesis	Ígneo	X	Roca Ígnea	X	Plutónica
	Metamórfico		Roca Sedimentaria		
	Sedimentario		Roca Metamórfica		
Textura	Afanítica				
Meteorización	Alta				
Datos Estructurales	Azimut	121°	Buzamiento	56° SE	

DESCRIPCIÓN

El afloramiento es de tipo artificial, producto del corte por apertura de vía para dirigirse al polvorín de la mina. La litología es de un granito metasomáticos con grado de alteración alto, de coloración de café-amarillento.
La formación geología a la que pertenece presenta una variedad de textura ígnea que incluye material afanítico característicos de las rocas ígneas con enfriamiento rápido. La materia orgánica presenta una potencia de 60cm.

CROQUIS

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS					
Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).				
Responsable:	Roberto Carlos Chuquihuanca Solorzano			Afloramiento N°	5
UBICACIÓN					
Provincia	LOJA	Cantón	MACARÁ	Parroquia	LARAMA
FOTOGRAFÍA			Sector	CANGONAMÁ	
			Localización	X: 618531	Y: 9527074
				Z: 675	
			Datum	WGS-84	
			Tipo de Afloramiento		
			Natural		
			Antropico	X	
			Medidas		
			Altura	2 metros	
			Longitud	1.5 metros	

TIPO DE MATERIAL					
Génesis	Ígneo	X	Roca Ígnea	X	Plutónica
	Metamórfico		Roca Sedimentaria		
	Sedimentario		Roca Metamórfica		
Textura	Faneritica				
Meteorización	Alta				
Datos Estructurales	Azimut	-------	Buzamiento	----------	

DESCRIPCIÓN

El afloramiento es de tipo artificial, producto del corte por apertura de vía para dirigirse al poblado Cangonamá Chico. La litología es de un granito metasomáticos con grado de alteración alta, de coloración de gris.
La formación geología a la que pertenece corresponde a una granodiorita con grado de alteración alto, presenta una coloración gris y textura fanerítica. La formación geología que pertenece es al Batolito de Tangula (rocas intrusivas), con una variedad de textura ígnea que incluye material característico de las rocas ígneas. La materia orgánica presenta una potencia de de 40 cm. Se puede evidenciar también la existencia de dos vetillas color rojizo de 5 y 10 cm de ancho.

CROQUIS

Anexo 3: Fichas descripción macroscópica de rocas

FICHAS DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE ROCAS

Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).		
Responsable	Roberto Carlos Chuquihuanca Solórzano	N° Ficha	1
Tipo de muestra	Afloramiento	Código de la Muestra	MR-01

FOTOGRAFÍA

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA-MINERALÓGICA	
Componentes	
Color	Blanca
Textura	Fanerítica
Estructura	Homogénea
Tamaño del grano	Grueso (1-5mm)
Composición mineralógica (%)	Feldespato 35% Micas 35 Cuarzo 25%
Minerales secundarios (%)	Óxidos de hierro 5%
Estado de alteración	Alto
Protolito (en casi de ser rica metamórfica)	N/A
Nombre de la Roca	Granito
Observaciones	El estado de la roca es sumamente frágil.

COORDENADAS UTM (WGS84)		
X: 618442	Y: 9526896	Z: 670

FICHAS DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE ROCAS

Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).		
Responsable	Roberto Carlos Chuquihuanca Solórzano	N° Ficha	2
Tipo de muestra	Galería Principal	Código de la Muestra	MR-02

FOTOGRAFÍA

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA-MINERALÓGICA	
Componentes	
Color	Blanco Verdoso
Textura	Fanerítica
Estructura	Homogénea
Tamaño del grano	Medio (1-5mm)
Composición mineralógica (%)	Feldespato 35% Cuarzo 20% Hornblenda 30%
Minerales secundarios (%)	Óxidos de hierro 5%
Estado de alteración	Medio
Protolito (en casi de ser rica metamórfica)	N/A
Nombre de la Roca	Granodiorita
Observaciones	Se observan minerales de Hornblenda de 3 a 9 mm

COORDENADAS UTM (PSAD 56)

X: 618641.359	Y:9527272.971	Z: 675.825

FICHAS DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE ROCAS

Proyecto	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA ARTESANAL "CANGONAMÁ", (CÓDIGO 60000490).		
Responsable	Roberto Carlos Chuquihuanca Solórzano	N° Ficha	3
Tipo de muestra	Galería Principal	Código de la Muestra	MR-03

FOTOGRAFÍA

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA-MINERALÓGICA	
Componentes	
Color	Gris oscura
Textura	Fanerítica
Estructura	Homogénea
Tamaño del grano	Fino (0.1-2mm)
Composición mineralógica (%)	Plagioclasas 30% Hornblenda 30% Biotita 20 % Cuarzo 20%
Minerales secundarios (%)	N/A
Estado de alteración	Bajo
Protolito (en casi de ser rica metamórfica)	N/A
Nombre de la Roca	Diorita
Observaciones	N/A

COORDENADAS UTM (PSAD 56)

X: 618606.163	Y: 9527247.190	Z: 674.429

Anexo 4: Mapa Topográfico Superficial (CD N°2)

Anexo 5: Mapa Topográfico Subterráneo (CD N°2)

Anexo 6: Mapa Geológico Superficial (CD N°2)

Anexo 7: Mapa Geológico-Estructural de la Galería Principal (CD N°2)

Anexo 8: Mapa de la Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso de Bieniawski (R.M.R.) (CD N°2)

Anexo 9: Mapa de la Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso del Q de Barton.

(CD N°2)

Anexo 10: Cortes Geológicos (CD N°2)

Anexo 11: Ensayos de Compresión Simple

ESTSUELCON

ESTSUELCON CIA. LTDA.

ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYO DE COMPRESIÓN CÚBICA EN ROCAS

PROY. :	ESTUDIO GEOLOGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA CANCONAMÁ						
SOLICITA :	ROBERTO CARLOS CHUQUIHUANCA SOLORZANO						
UBIC. :	MACARÁ - SECTOR CANCONAMÁ			MUESTRA:	GRANODIORITA		
FECHA :	OGOSTO 2021	OPERADOR	O.C.	PROFUNDI: PRIMER Y SEGUNDO TRAMO DE GALERÍA			
COORDENADAS:	X:			Y:			

1.- DENSIDAD

Muestra	PESO AIRE	P SUMERGIDO	PESO SECO	D. MASIVA	D. S.S.S.	APARENTE	ABSORCION
Nº	g	g	g	g/cm³	g/cm³	g/cm³	%
1	345.98	217.83	342.47	2.67	2.70	2.75	1.03%
2	345.54	218.55	343.45	2.68	2.71	2.75	0.64%
Promedio				2.68	2.70	2.75	0.83%

2.- RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Muestra	LARGO	ANCHO	ALTURA	AREA	VOLUMEN	CARGA	ESFUERZO
Nº	cm	cm	cm	cm²	cm³	Kg	Kg/cm²
1	5.10	5.04	5.12	25.25	129.28	21,000.59	831.90
2	5.07	4.97	5.04	25.20	128.01	20,595.52	824.32
Promedio							823.14

Ing. Pedro Cristóbal Jaramillo
LABORATORIO
ESTSUELCON
Ing. Ovidio Castillo

Telefax: 2540594. Celular: 0988883061-0990692335-0980233180 Email: estsuelcon@gmail.com

ESTSUELCON

ESTSUELCON CIA. LTDA.

ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYO DE COMPRESIÓN CÚBICA EN ROCAS

PROY. :	ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN LA GALERÍA PRINCIPAL DEL ÁREA MINERA CANCONAMÁ						
SOLICITA :	ROBERTO CARLOS CHUQUIHUANCA SOLORZANO						
UBIC. :	MACARÁ - SECTOR CANCONAMÁ			MUESTRA:	GRANITO		
FECHA :	OGOSTO 2021	OPERADOR	O.C.	PROFUNDI: TERCER Y CUARTO TRAMO DE GALERÍA			
COORDENADAS:	X:			Y:			

1.- DENSIDAD

Muestra	PESO AIRE	P SUMERGIDO	PESO SECO	D. MASIVA	D. S.S.S.	APARENTE	ABSORCIÓN
Nº	g	g	g	g/cm³	g/cm³	g/cm³	%
1 - 2	810.73	553.35	811.65	2.71	2.72	2.73	0.25%

2.- RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Muestra	LARGO	ANCHO	ALTURA	AREA	VOLUMEN	CARGA	ESFUERZO
Nº	cm	cm	cm	cm²	cm³	Kg	Kg/cm²
1	5.10	5.10	5.13	26.01	133.41	12,179.08	468.07
2	5.10	5.16	5.13	26.32	135.03	11,841.69	449.94
Promedio							459.51

LABORATORIO
ESTSUELCON
Ing. Ovidio Castillo

Telefax: 2540594. Celular: 0988883061-0990692335-0980233180 Email: estsuelcon@gmail.com