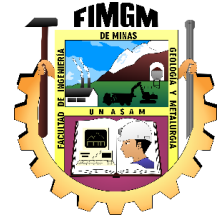




**UNIVERSIDAD NACIONAL  
"SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"**



**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,  
GEOLOGÍA Y METALURGIA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

## **TESIS**

**CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA PARA  
DETERMINAR EL SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL  
VICTORIA Nv. 820 EN UNIDAD MINERA  
CARAHUACRA – VOLCAN COMPAÑÍA MINERA  
S.A.A-2022**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:**

**BACH. MAX GEORGE ANDAGUA TRINIDAD**

**ASESOR:**

**DR. ING. JUAN ROGER QUIÑONES POMA**

**HUARAZ - PERU  
2023**





UNIVERSIDAD NACIONAL  
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,  
GEOLOGÍA Y METALURGIA



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL**

En la ciudad de Huaraz, siendo las nueve horas con cincuentaicinco minutos de la mañana (09:55 a.m.) del día veintiocho de Noviembre del Veintitres (28/11/23), se reunieron los miembros del Jurado Evaluador nominados según Resolución Nro. 188-2023-FIMGM/D, de fecha 19 de Setiembre del 2023, integrado por los siguientes Docentes: **Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA, como Presidente; M.Sc. Ing. JESUS GERARDO VIZCARRA ARANA, Secretario y el M.Sc. Ing. ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO, como Vocal;** para la sustentación de la tesis Titulada: **"CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR EL SOSTENIMIENTO DEL TUNEL VICTORIA Nv. 820 EN UNIDAD MINERA CARAHUACRA - VOLCÁN COMPAÑÍA MINERA S.A.A. - 2022"**, presentado por el Bachiller **MAX GEORGE ANDAGUA TRINIDAD**, para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", se procedió con el acto de sustentación bajo las siguientes consideraciones, el Presidente del Jurado calificador, invitó a los docentes, alumnos y público en general a participar en este acto; luego invitó al Secretario del Jurado calificador a dar lectura de la Resolución N° 188-2023-FIMGM/D de fecha 19 de Setiembre del 2023. Acto seguido se invitó al sustentante a la defensa de su tesis por un lapso de treinta minutos (30), concluida con la misma, se procedió con el rol de preguntas de parte de los miembros del Jurado Evaluador, finalmente se invitó al público en general a hacer abandono del Auditorium de la FIMGM por un lapso de diez (10) minutos con el propósito de deliberar la nota del sustentante, **ACORDANDO: APROBAR CON EL CALIFICATIVO (\*)de: DIECISIETE (17). Aprobado con Distinción.** Siendo las once horas y cinco (11:05 a.m.) del mismo día, se dio por concluida el acto de sustentación.

En consecuencia, queda en condición de ser **Aprobado** por el Consejo de Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO DE MINAS** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la UNASAM.

  
Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA  
Presidente

  
M.Sc. Ing. JESUS GERARDO VIZCARRA ARANA  
Secretario

  
M.Sc. Ing. ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO  
Vocal

  
Dr. JUAN ROGER QUÍÑONES POMA  
Asesor

(\*) De acuerdo con el Artículo 84º Reglamento de Grados y Títulos de la UNASAM, están deben ser calificadas con términos de: **APROBADO CON EXCELENCIA (19-20), APROBADO CON DISTINCIÓN (17-18), APROBADO (14-16), DESAPROBADO (00-13).**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
**"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"**

*"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"*

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,  
GEOLOGÍA Y METALURGÍA



## ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los Miembros del Jurado Evaluador, informamos que el Bachiller **MAX GEORGE ANDAGUA TRINIDAD** ha sustentado la tesis titulada: **"CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR EL SOSTENIMIENTO DEL TUNEL VICTORIA N.º 820 EN UNIDAD MINERA CARAHUACRA - VOLCÁN COMPAÑÍA MINERA S.A.A. - 2022**, el día 28 de Noviembre del 2023, la cual declaramos aprobado por unanimidad.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 28 de Noviembre del 2023

  
-----  
**Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA**  
Presidente

  
-----  
**M.Sc. Ing. JESUS GERARDO VIZCARRA ARANA**  
Secretario

  
-----  
**M.Sc. Ing. ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO**  
Vocal

  
-----  
**Dr. JUAN ROGER QUIÑONES POMA**  
Asesor

Anexo de la R.C.U N° 126 -2022 -UNASAM  
**ANEXO 1**  
**INFORME DE SIMILITUD.**

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR EL SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL VICTORIA Nv. 820  
EN UNIDAD MINERA CARAHUACRA – VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A – 2022

Presentado por: MAX GEORGE ANDAGUA TRINIDAD

con DNI N°: 72867386

para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Informo que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11 ° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de: . . . 24 % de similitud.

**Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pre grado (Art. 11, inc. 1).**

Porcentaje			
Trabajos de estudiantes	Tesis de pregrado	Evaluación y acciones	Seleccione donde corresponda <input type="radio"/>
Del 1 al 30%	Del 1 al 25%	Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso.	<input checked="" type="radio"/>
Del 31 al 50%	Del 26 al 50%	Se debe devolver al estudiante o egresado para las correcciones con las sugerencias que amerita y que se presente nuevamente el trabajo.	<input type="radio"/>
Mayores a 51%	Mayores a 51%	El docente o asesor que es el responsable de la revisión del documento emite un informe y el autor recibe una observación en un primer momento y si persistiese el trabajo es invalidado.	<input type="radio"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor/ Jefe de Grados y Títulos de la EPG UNASAM/ Director o Editor responsable, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz, 29/11/2023

  
FIRMA  
Apellidos y Nombres: QUIÑONES POMA JUAN ROGER  
DNI N°: 32642091

Se adjunta:

1. Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud

## DEDICATORIA

*A mis padres, quienes me apoyaron incondicionalmente y confiaron en mi durante mi formación como ingeniero de minas. A mi pareja, por su apoyo contante y amor. A mi hijo, por ser mi motivación y mi regalo de vida.*



## AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser el pilar de mi existencia, encaminarme, bendecirme y darme las fuerzas para lograr cada una de mis metas y proyectos de vida.

A la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”, en especial a los catedráticos de la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia, por sus enseñanzas impartidas y su dedicación durante mi formación profesional.

Al Dr. Ing. Juan Roger Quiñones Poma, por su apoyo constante, enseñanza y confianza durante la ejecución de la presente tesis.

Agradezco también, a los profesionales de la **UNIDAD MINERA CARAHUACRA - VOLCÁN COMPAÑÍA MINERA S.A.A.**, y a la **E.C.M. OPERACIONES SEPROCAL S.A.C.** por guiarme y haberme dado la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.



## RESUMEN

La presente tesis titulada: “**CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR EL SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL VICTORIA Nv. 820 EN UNIDAD MINERA CARAHUACRA – VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A - 2022**”, tiene como objetivo general realizar la Caracterización Geomecánica para Determinar el Sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A - 2022. Se justifica debido a que el Túnel Victoria Nv. 820 es una labor permanente de extracción de mineral, que no cuenta con un sostenimiento adecuado. Teniendo como Hipótesis que, la Caracterización geomecánica del macizo rocoso determina el sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A.

En cuanto el tipo de investigación es **APLICADA**, porque se contribuirá como una alternativa de solución con la caracterización geomecánica del macizo rocoso para determinar el sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A. (Sampieri Hernández, 2014).

Se concluye que se realizó la caracterización geomecánica, determinándose una calidad del macizo rocoso de regular a mala, de tipo III-B y IV-A respectivamente, con un RMR promedio de 41 y un índice Q de 0.726 (Roca muy mala); Además, se determinó el tipo de sostenimiento, siendo este mediante pernos sistemáticos espaciados a 1.3 metros y shotcrete de 2 pulgadas de espesor reforzado con fibra sintética.

**Palabras claves:** Caracterización geomecánica, sostenimiento del túnel victoria.

## ABSTRACT

This thesis titled: “**GEOMECHANICAL CHARACTERIZATION TO DETERMINE THE SUPPORT OF THE VICTORIA TUNNEL Lv. 820 IN CARAHUACRA MINING UNIT – VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A - 2022**”, has the general objective of carrying out the Geomechanical Characterization to Determine the Sustainability of the Victoria Tunnel Nv. 820 in Carahuacra Mining Unit – Volcan Compañía Minera S.A.A - 2022. It is justified because the Victoria Tunnel Nv. 820 is a permanent mineral extraction work, which does not have adequate support. Taking as a hypothesis that the geomechanical characterization of the rock mass determines the support of the Victoria Tunnel Nv. 820 in Carahuacra Mining Unit – Volcan Compañía Minera S.A.A.

As for the type of research, it is **APPLIED**, because it will contribute as an alternative solution with the geomechanical characterization of the rock mass to determine the support of the Victoria Tunnel Nv. 820 in the Carahuacra Mining Unit – Volcan Compañía Minera S.A.A. (Sampieri Hernández, 2014).

It is concluded that the geomechanical characterization was carried out, determining a quality of the rock mass from fair to poor, type III-B and IV-A respectively, with an average RMR of 41, Q index of 0.726 (Very poor rock); In addition, the type of support was determined, using systematic bolts spaced at 1.3 meters and 2-inch thick shotcrete reinforced with synthetic fiber.

**Keywords:** Geomechanical characterization, support of the Victoria tunnel.



# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTO .....	3
RESUMEN .....	4
ABSTRACT.....	5
CAPITULO I.....	10
GENERALIDADES.....	10
1.1. Entorno Físico .....	10
1.1.1. Ubicación y acceso .....	10
1.1.2. Topografía.....	11
1.1.3. Recursos Naturales.....	11
1.1.4. Clima .....	12
1.2. Entorno Geológico .....	12
1.2.1. Geología Regional.....	12
1.2.1.1. Unidades Litológicas.....	14
1.2.2. Geología Local .....	18
1.2.3. Geología Estructural .....	18
1.2.4. Geología Económica.....	19
CAPITULO II .....	22
GENERALIDADES.....	22
2.1. Marco Teórico .....	22
2.1.1. Antecedentes de la investigación .....	22
2.1.2. Definición de Términos .....	32
2.1.3. Fundamentación teórica .....	37
2.1.3.1. Geomecánica.....	37
2.1.3.2. Caracterización del macizo rocoso .....	38
2.1.3.3. Caracterización del comportamiento geomecánico de la masa rocosa y sus componentes .....	39
2.1.3.4. Clasificación geomecánica del macizo rocoso .....	40
a) Clasificación de Deere (Rock Quality Designation - RQD).....	41
b) Clasificación de Bieniawski 1989 (Rock Mass Rating – RMR).....	42
c) Clasificación de Barton (Índice Q).....	48
d) Correlación entre el RMR y el Índice Q .....	55
2.1.3.5. Sostenimiento .....	56
2.1.3.6. Diseño de sostenimiento y sus características .....	57
2.1.3.7. Túneles .....	57
CAPITULO III.....	58
METODOLOGÍA.....	58
3.1. El Problema .....	58
3.1.1. Descripción de la realidad problemática .....	58
3.1.2. Planteamiento y Formulación del Problema .....	59
3.1.3. Objetivos de la investigación .....	60

3.1.4.	Justificación e importancia.....	61
3.1.5.	Limitaciones.....	61
3.1.6.	Alcances.....	62
3.2.	Hipótesis.....	62
3.3.	VARIABLES.....	63
3.4.	Diseño de la investigación.....	64
3.4.1.	Tipo de investigación.....	64
3.4.2.	Nivel de la investigación.....	64
3.4.3.	Diseño de Investigación.....	65
3.4.4.	Población y muestra.....	65
3.4.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	65
CAPITULO IV.....		67
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....		67
4.1.	Descripción de la realidad y Procesamiento de Datos.....	67
4.1.1.	Mapeo geomecánico por celda de detalle.....	67
4.1.2.	Parámetros del Índice Q de Barton.....	70
4.1.3.	Levantamiento litológico – estructural.....	71
4.2.	Análisis e Interpretación de la Información.....	73
4.2.1.	Clasificación Geomecánica RMR del Macizo Rocoso.....	73
4.2.2.	Tipo de sostenimiento estimado en base al RMR (Bieniawski, 1989).....	73
4.2.3.	Clasificación Geomecánica Q de Barton del Macizo Rocoso.....	74
4.2.4.	Tipo de sostenimiento estimado en base al índice Q (Barton, 1993).....	75
4.2.5.	Análisis Estructural y de Cuñas Progresiva 3+250 a 3+300.....	77
4.3.	Discusión de los Resultados.....	79
4.4.	Aportes de la tesista.....	80
CONCLUSIONES.....		82
RECOMENDACIONES.....		83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		84
ANEXOS.....		88
ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIAS.....		89
ANEXO N° 02: PLANO DE UBICACIÓN DE LA MUESTRA DEL TUNEL VICTORIA NV. 820....		90
ANEXO N° 03: FORMATO DE MAPEO GEOMECÁNICO POR CELDAS SEGÚN RMR (BIENIAWSKI, 1989).....		91
ANEXO N° 04: REGISTRO DEL MAPEO GEOMECÁNICO RMR 1989 (PROGRESIVA 3+250 A 3+300).....		92
ANEXO N° 05: MAPEO GEOMECÁNICO DEL TÚNEL VICTORIA NV. 820 (PROGRESIVA 3+250 A 3+300).....		93
ANEXO N° 06: ESTADO IN-SITU DEL MACIZO ROCOSO.....		94

## INTRODUCCIÓN

La actividad minera conlleva riesgos significativos, y actualmente, uno de los principales desencadenantes de accidentes e incidentes son los desprendimientos o caídas de rocas, algunos de los cuales pueden ser mortales. Por esta razón, es crucial identificar y aplicar un método de soporte adecuado para prevenir los desprendimientos de rocas en las operaciones mineras subterráneas; De esta manera, se protegen los equipos, los procesos y, sobre todo, se preserva la seguridad y la vida de las personas involucradas, asegurando la estabilidad de las labores bajo condiciones de seguridad óptimas.

Volcan es una empresa minera parte del Grupo Glencore Líder en el mercado peruano que tiene sus operaciones en la sierra central del Perú, la operación más importante se encuentra en las concesiones de San Cristobal – Carahuacra donde se tiene una infraestructura de un túnel horizontal de 5.5 km desde superficie, el transito se realiza por línea cauville donde operan locomotoras. El Túnel Victoria opera desde muchos años atrás siendo esta una de las infraestructuras más importantes de su extracción. En la zona de estudio predomina principalmente rocas de tipo volcánicos andesíticos. El proyecto se encuentra en el flanco este de la cordillera de los Andes Centrales del Perú, ubicado en la comunidad de Yauli, provincia de Yauli en el departamento de Junín.

El presente trabajo de investigación titulado: **“CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR EL SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL VICTORIA Nv. 820 EN UNIDAD MINERA CARAHUACRA – VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A – 2022”** El objetivo principal es realizar la caracterización geomecánica para determinar el sostenimiento adecuado del Túnel

Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra, propiedad de Volcan Compañía Minera S.A.A. 2022. Este estudio incluye un examen detallado de la composición litológica, la estructura del terreno y el comportamiento mecánico de la masa rocosa. También se utilizan los métodos de clasificación geomecánica de Bieniawski RMR (1989) y Q de Barton (1993).

El proyecto de investigación consta de 4 secciones principales que se detallan a continuación:

**Sección I: Generalidades**, la cual incluye el contexto físico con detalles sobre la ubicación y accesibilidad, seguido por la descripción del contexto geológico que abarca la geología regional, local y económica.

**Sección II: Fundamentación**, aborda la base teórica del estudio, los antecedentes, la definición de términos y la fundamentación teórica.

**Sección III: Metodología**, se enfoca en la identificación del problema, los objetivos, la justificación, las hipótesis, las variables y el diseño de la investigación.

**Sección IV: Resultados de la Investigación**, presenta los hallazgos obtenidos, detallando la descripción de la realidad, el procesamiento de datos, el análisis e interpretación de la información, así como la discusión de los resultados y las contribuciones del investigador.

El trabajo concluye con las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

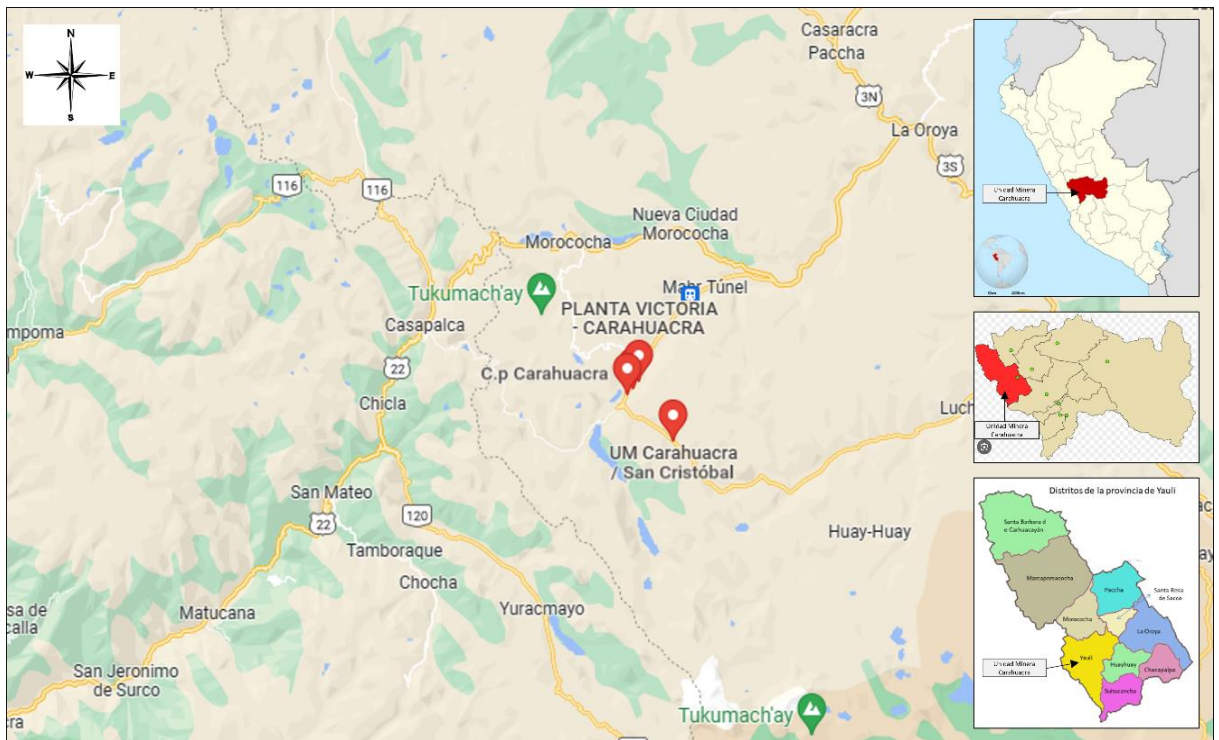
### 1.1. Entorno Físico

#### 1.1.1. Ubicación y acceso

La Unidad Minera Carahuacra está situada en el flanco oriental de la cordillera de los Andes Centrales en el Perú, específicamente en la localidad de Yauli, provincia de Yauli, departamento de Junín. La zona abarca aproximadamente 424.2 km<sup>2</sup> y tiene una altitud que oscila entre los 4,100 y 4,700 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas aproximadas de 12920.04 N y 7174.47 E. Geográficamente se encuentra en la sierra central del Perú, a unos 571 km de la ciudad de Huaraz, a 170 km al este de Lima y a 40 km de la ciudad de La Oroya.

El acceso desde la ciudad de Lima a la unidad minera se realiza a través de la carretera central hasta la altura del poblado Pachachaca, continuando por un camino de herradura hacia la mina Carahuacra. **(Ver Fig. N° 01)**

**Figura N° 01:** Ubicación de la Unidad Minera Carahuacra.



**Fuente:** Google Maps & Elaboración propia.

### 1.1.2. Topografía

La altitud de la zona donde se ubica la Unidad Minera Carahuacra varía de 4,100 msnm hasta 5,200 msnm (nevado Chumpe); según la división altimétrica de Javier Pulgar Vidal (1948), esta zona corresponde a la región Puna. Se caracteriza por su gran altitud y relieve irregular en contraste con los valles en forma de U a los que se les asigna un origen glaciario, entre ellos se tiene el valle glaciario Carahuacra, Andaychagua, Chumpe, y el valle de Yauli. (Marquez, 2018)

### 1.1.3. Recursos Naturales

En la región de la UM San Cristóbal - Carahuacra, debido a su elevación superior a los 4000 metros sobre el nivel del mar y a las condiciones climáticas adversas, la vegetación predominante es el ichu, que puede crecer

hasta alcanzar una altura de un metro en abundancia. Asimismo, se desarrolla la crianza de ganado ovino, auquénido y vacuno. (Marquez olivera, 2018)

Además, sobresale el potencial minero, ya que en el área se encuentran los siguientes minerales: escalerita cuarzo, galena, calcita, calcopirita, siderita, tetrahedrita smithsonita, pirargirita, rodocrosita, pirita, baritina, hematina, malaquita, esfalerita y chalcosita. (Marquez olivera, 2018)

#### **1.1.4. Clima**

El área se distingue por su clima frío y árido, al estar localizada en la región geográfica conocida como la Puna. La temporada de lluvias ocurre entre noviembre y marzo, con precipitaciones en forma de nieve y granizo. Las temperaturas oscilan entre 15°C y 0°C durante el día.. La estación seca se da entre abril y octubre, es la etapa del año que soporta las menores temperaturas, llegando hasta bajo 0°C durante las primeras horas del día. (Marquez olivera, 2018)

### **1.2. Entorno Geológico**

#### **1.2.1. Geología Regional**

El subsuelo está compuesto por formaciones del Paleozoico inferior, que consisten en filitas, filitas pizarrosas y esquistos del Grupo Excelsior. Además, presenta estratos del Pérmico superior conformados por areniscas, lutitas, conglomerados y derrames andesíticos rojo morados del Grupo Mitu. Asimismo, se encuentra el Triásico-Jurásico, compuesto por una secuencia de carbonatos de los Grupos Pucara, Chambará, Aramachay y Condorsinga. En discordancia erosional se presenta el Cretácico, en la base

areniscas cuarzosas del Grupo Goyllarisquizga, encima serie carbonatada de las formaciones Chulec, Pariatambo, Jumasha, Celendín; cierra la secuencia sedimentaria, capas rojas constituida por areniscas, limos, conglomerados de la Formación Casapalca Cretáceo superior – Terciario inferior; cubre a toda esta secuencia depósitos cuaternarios: morrénicos, fluvio-glaciares, aluviales y coluviales. (Acuña Soto & Cajachagua Z., 2010)

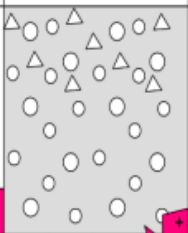
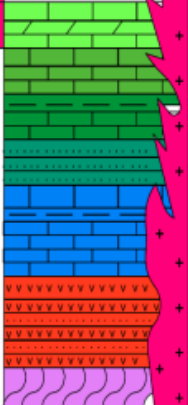
En el extremo sur del distrito de Domo de Yauli, está presente la actividad magmática miocena: Intrusivo San Cristóbal, Carahuacra y Chumpe, el intrusivo Carahuacra constituido por cuarzo monzonita (adamelita), textura porfídica, fenocristales de plagioclasa y piroxenos, el intrusivo San Cristóbal es una dacita a riódacita, se componen principalmente de mineral magmático, plagioclasa, cuarzo, apatito, biotita y hornblenda y la intrusión Chumpe consiste en la serie de apófisis pequeños y diques paralelos al eje de los anticlinales del Domo de Yauli; los diques más grandes muestran asimilación de xenolitos de fillitas. (Acuña Soto & Cajachagua Z., 2010).

La zona se destaca por una notable erosión de las formaciones geológicas, dando lugar a una topografía que combina rasgos suaves y abruptos. En el valle del río Yauli, la topografía se extiende considerablemente, formando planicies de gran extensión. En general, el área exhibe terrenos con relieve tanto suave como escarpado, presentando pendientes pronunciadas que varían entre los 35° y 48° en áreas rocosas. Las áreas de las minas San Cristóbal y Carahuacra están emplazadas en unidades litológicas que van desde el Paleozoico inferior hasta el cuaternario. (Vallejo T., 2017)

**(Ver Fig. N° 02)**



**Figura N° 02:** Columna estratigráfica generalizada de la región

ERA	SISTEMA	UNIDADES ESTRATIGRÁFICA	ROCAS INTRUSIVAS	SIMBOLOGÍA
Cenozoico	Cuaternario	Dep. aluviales		
		Dep. Glaciares		
		Dep. fluvioglaciares		
		Dep. coluviales		
	Terciario		Mz/granod.	
Mesozoico	Cretáceo	Fm Jumasha	Diorita	
		Fm Pariatambo		
		Fm Chúlec		
		Grupo Goyllarisquizga		
	Triásico-Jurásico	Grupo Pucará		
Paleozoico	Pérmico-Triásico	Grupo Mitú		
	Devoniano	Grupo Excélsior		

Fuente: Volcan Compañía Minera S.A.A.

### 1.2.1.1. Unidades Litológicas

- **Grupo Excélsior (Silúrico devónico):** Son las formaciones rocosas más antiguas que se encuentran expuestas en la zona minera y constituyen el núcleo geológico del Domo de Yauli. La potencia total de este grupo es desconocida, sin embargo J. Harrison (1943), determinó una potencia de 1,800 metros para una secuencia equivalente en los alrededores de Tarma. En la zona de San Cristóbal, las pizarras muestran tonalidades que van desde gris hasta negro, y localmente se conocen como filitas, estas filitas muestran una marcada fractura y contienen numerosas capas de cuarzo, las cuales se han interpretado como el resultado del metamorfismo regional. Estas capas de filitas

presentan estratificación fina, mientras que los depósitos de cuarzo tienden a ser más gruesos, principalmente en los núcleos de las estructuras anticlinales. (Vallejo T., 2017)

Hacia el sureste de San Cristóbal, las filitas incluyen algunos estratos de calizas que han sido transformados por metamorfismo y se asemejan al mármol, aunque no son muy espesos. En base a los pocos fósiles encontrados las series Excélsior han sido determinadas como de edad Devoniana o más antigua. (Vallejo T., 2017)

- **Grupo Mitu (Pérmico):** Las rocas del grupo Mitu yacen discordantemente sobre las filitas Excélsior, cuyo grupo está constituido principalmente por sedimentos continentales de color rojo tales como conglomerados y brechas volcánicas. (Vallejo T., 2017)

Localmente han sido encontradas algunas calizas, el grupo Mitu está ausente alrededor de San Cristóbal, pero a pocos kilómetros al Norte, en la mina Carahuacra, estos sedimentos han sido encontrados tanto en superficie como en el interior de la mina. (Vallejo T., 2017)

- **Volcánicos Catalina:** Esta unidad constituye la parte superior del grupo Mitu, en las cercanías del Domo de Yauli, los depósitos volcánicos se encuentran sobre el conjunto de rocas del Grupo Mitu y también sobre las filitas del Grupo Excélsior, donde la presencia del Mitu no está presente. (Vallejo T., 2017)

A lo largo del extremo Oeste del Anticlinal de Chumpe, en Carahuacra y San Cristóbal, los volcánicos Catalina consisten en derrames andesíticos variando en composición desde dacitas a andesitas, mientras que más hacia el Este cerca de Andaychagua están compuestos por una serie de aglomerados irregulares y brechas piroclásticas que cambian gradualmente a derrames andesíticos. (Vallejo T., 2017)

- **Grupo Pucara (Jurásico):** Este grupo sobreyace a los volcánicos Catalina, alrededor de La Oroya la potencia del grupo Pucará ha sido determinada en más de 1,400 metros (J. Y. Harrison, 1943), hacia el lado este del anticlinal de Chumpe, las formaciones de caliza muestran la presencia de derrames basálticos en su parte inferior, aunque estos no se observan en la zona oeste de esta área, en esta región, en lugar de los basaltos, se identifican calizas que contienen nódulos de cuarzo de aproximadamente 20 centímetros de diámetro. (Vallejo T., 2017)

Encima de este horizonte las calizas están finamente estratificadas siendo en parte lutáceas y conteniendo algunas capas de tufos que varían en espesor de 10 cm a 3.0 m. La edad de las calizas ha sido determinada como liásicos habiendo sido correlacionada con la formación Aramachay. (Vallejo T., 2017)

- **Grupo Goyllarisquiza (Cretáceo):** Sobre las calizas Pucará yacen en aparente conformidad las areniscas Goyllarisquiza, este grupo consiste en areniscas de color bruno amarillento,

localmente con apariencia cuarcítica, en San Cristóbal la potencia de esta formación alcanza a los 100 metros, esta formación ha sido atribuida al Cretácico inferior, Valanginiano – Aptiano. (Vallejo T., 2017)

- **Formaciones Chúlec, Pariatambo y Jumasha:** Afloran en el sector Sureste y están constituidas por tobas piroclásticas, dacíticas - andesíticas de color beige, conformando relieves suaves. (DCR Ingenieros S.R.L., 2015)

La roca exhibe una moderada presencia de arcilla y, en las áreas más elevadas, se pueden apreciar formaciones rocosas con estructuras de sílice. De manera ocasional, se observa la presencia dispersa de pirita, la cual, mediante procesos de oxidación, se convierte en Jarosita. Estas formaciones comparten similitudes en cuanto a su composición litológica, fauna y ubicación estratigráfica con las presentes en el sector oeste de la cuenca del Cretácico. Estas secuencias calcáreas cretáceas están expuestas formando parte de las estructuras del Norte de Morococha, del Suroeste del anticlinal de Morococha, del Oeste del anticlinal de Chumpe con extensión de afloramientos hasta la Divisoria Continental de Ticlio y Noroeste de esta localidad, así como de las estructuras de los nevados de Huallacancha y Colquepucro, donde las formaciones no han sido separadas. (DCR Ingenieros S.R.L., 2015).

### 1.2.2. Geología Local

La zona de estudio se compone principalmente de una litología predominante correspondiente a volcánicos andesíticos, presencia de alteración en halos finos de ceritización haciendo un macizo ligeramente alterado en algunos tramos, como también se evidencian Fallas con relleno de arcilla y discontinuidades con superficie alteradas y rellenas de limo. (Acuña Soto & Cajachagua Z., 2010)

El Grupo Mitu aflora en la pared hacia el norte y está compuesta por rocas volcanoclásticas intermedias a ácidas de coloración violácea, el Triásico-Jurásico conformada por una secuencia carbonatada del Grupo Pucara, Chambará, Aramachay, Condorsinga, en discordancia erosional se presenta el Cretácico, en la base areniscas cuarzosas del Grupo Goyllarisquizga. (Acuña Soto & Cajachagua Z., 2010)

Los volcánicos andesíticos presentan zonas de moderado a bajo grado de fracturamiento, en las zonas con fracturamiento moderado se puede observar venillas y cavidades mineralizadas con sulfuros además de una fuerte presencia de óxidos, mientras que en los tramos con bajo grado de fracturamiento la andesita presenta zonas con una textura brechada, además se puede observar abundantes venillas mineralizadas con sulfuros, venillas de calcita y algunos niveles arcillosos pero con poca presencia de óxidos. (Condor, 2016)

### 1.2.3. Geología Estructural

Los afloramientos de la zona de estudio presentan fuerzas comprensivas de dirección E-W que se originaron durante el Cretáceo (Plegamiento "Peruano"), las cuales formaron el anticlinal Morococha que tiene una

orientación NW – SE, y crea una región estructural que muestra las capas subyacentes del basamento paleozoico, mesozoico y cenozoico, alteradas por varias fases de movimiento orogénico e intrusiones, resultando en una zona estructuralmente compleja. Esta complejidad ha convertido esta área en un terreno muy favorable para el surgimiento de diversos depósitos minerales, tales como vetas, estratos, reemplazamientos y áreas con concentraciones minerales.

Estructuralmente la unidad Carahuacra se encuentran afectados por plegamientos y fallamientos, los cuales han ocasionado la formación de anticlinales y sinclinales, originando el fracturamiento y reordenamiento de la estructura original de las unidades rocosas, causando fracturas y diaclasas que a su vez han generado una porosidad secundaria, lo cual es un elemento importante para la geomecánica e hidrogeología por originar un aumento en la permeabilidad de las rocas originarias. (Vallejo T., 2017)

#### **1.2.4. Geología Económica**

La mineralización en el Proyecto Carahuacra Norte aparecen específicamente encajonados en una secuencia de rocas carbonatadas de edad Mesozoica (Grupo Pucara), por encima de una secuencia de volcánicos andesíticos alterados del Paleozoico (Grupo Mitu). (Acuña Soto & Cajachagua Z., 2010)

Presenta un conjunto de características comunes a los ya clásicos cuerpos mineralizados ubicados a lo largo del Trench San Cristóbal – Carahuacra, los cuales ya han sido evidenciados y explotados en su mayoría como son: los tajos abiertos Toldorumi sur y norte, cuerpo huaripampa, cuerpo lidio

escondida el mismo tajo inicial de Carahuacra entre otros. (Acuña Soto & Cajachagua Z., 2010)

En este proyecto de acuerdo con los trabajos realizados en el actual tajo abierto durante el 2009, algunos bancos presentan leyes de Zn alrededor de 3.5 a 4%, Pb 1-2%, y leyes de Ag en promedio alcanzan los 2 a 3 Oz/t. (Acuña Soto & Cajachagua Z., 2010)

La zona presenta mineralogías relacionadas a sistemas epitermales polimetálicos, cuerpos de reemplazamiento y sistemas de vetas polimetálicas, así como mineralización relacionada a pórfidos y skarns, lo cual indica el gran potencial del área, los principales metales económicos que se explotan son Pb, Ag, y Zn en minerales de mena como la galena, galena argentífera y esfalerita respectivamente. (Mogollón, 2023)

Las reservas de mineral son la parte económicamente minable de un recurso mineral medido o indicado cuya explotación es viable en base a la evaluación con los distintos factores modificadores, las reservas incluyen la dilución de material, las contingencias por pérdidas que pueden ocurrir durante su minado y los costos asociados para su explotación. (Mogollón, 2023)

Las reservas son categorizadas como probadas o probables atendiendo a su grado de certeza, en la unidad minera San Cristobal – Carahuacra cuenta con reservas probadas de 5.5 miles de millones de TM con leyes de 6% Zn, 1% Pb, 0.1% Cu y 2.6 Oz/TM Ag, con reservas probables de 10.6 miles de

millones de TM con leyes de 4.3% Zn, 0.7% Pb, 0.2% Cu y 2.7 Oz/TM Ag.  
 (Volcan Compañía Minera S.A.A., 2023) (**Ver Cuadro N° 01**)

**Cuadro N° 01:** Reservas probadas y probables San Cristobal - Carahuacra

Reservas minerales Probadas y probables	MM de TM	Leyes			
		Zn	Pb	Cu	Ag
		%	%	%	Oz/TM
<b>San Cristobal - Carahuacra</b>	<b>16.1</b>	<b>4.9</b>	<b>0.8</b>	<b>0.1</b>	<b>2.6</b>
Probadas	5.5	6.0	1.0	0.1	2.6
Probables	10.6	4.3	0.7	0.2	2.7

**Fuente:** Memoria Anual 2022. Volcan Compañía Minera S.A.A.



## CAPITULO II

### GENERALIDADES

#### 2.1.Marco Teórico

##### 2.1.1. Antecedentes de la investigación

Se realizó una intensa y minuciosa búsqueda bibliográfica específica local, nacional e internacional para encontrar antecedentes de la investigación, encontrándose mucha información en tesis, monografías, informes, otros. de los cuales se tomó aquellos que guarden relación con la caracterización geomecánica y el tipo de sostenimiento.

(Marquez olivera, 2018) desarrolla la investigación ***“GEOMECANICA APLICADA AL DISEÑO DEL SOSTENIMIENTO PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL NIVEL 730-UNIDAD MINERA SAN CRISTOBAL VOLCAN – 2016”***

#### RESUMEN

El trabajo de investigación tiene como objetivo la aplicación de la geomecánica en el diseño del sostenimiento de labores mineras subterráneas de la Unidad Minera Mallay, realizando una evaluación geomecánica de la masa rocosa, con la finalidad de garantizar la estabilidad de dichas labores mineras. Para alcanzar el propósito mencionado, se llevaron a cabo diversas actividades de investigación en terreno, laboratorio y análisis teórico. En una fase inicial del estudio, se enfocó en realizar investigaciones de base para recopilar la información esencial, permitiendo así la evaluación de los

principales elementos relacionados con el control de la estabilidad y la estimación de los parámetros fundamentales de la geomecánica. En una etapa posterior, se fusionará la información recolectada durante las investigaciones iniciales con el propósito de analizar las condiciones de estabilidad de las excavaciones subterráneas. Todo ello con el objetivo final de proporcionar recomendaciones que aseguren la estabilidad en las operaciones mineras subterráneas. Utilizando toda la información geológica y geomecánica desarrollada durante las investigaciones básicas y utilizando herramientas de cálculo de la mecánica de rocas, se ha llevado a cabo un número de análisis, mediante los cuales se han determinado los elementos o sistemas de sostenimiento en caso se requiera en las labores mineras subterráneas. (Marquez, 2018)

(Hizo Jamanca, 2020) desarrolla la investigación ***“EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN LA RAMPA PRINCIPAL DE LA MINA FLOR DE LIRIO SOCIEDAD COMERCIAL IMPORTADORA Y EXPORTADORA DICAVE LIMITADA - 2020”***.

## **RESUMEN**

El propósito general es llevar a cabo una Evaluación Geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento más apropiado para la Rampa Principal en la mina "Flor de Lirio" de la Sociedad Comercial Importadora y Exportadora DICAVE Limitada – 2020. La investigación se enmarca dentro del ámbito aplicado. La justificación de esta tesis radica en la importancia

de esta evaluación para seleccionar el sostenimiento óptimo que asegure la estabilidad continua de la Rampa Principal.

La conclusión principal reveló que la Evaluación Geomecánica indicó una calidad de roca Tipo III - B, con un Índice de Masa de Roca (RMR) promedio de 53. El tipo de sostenimiento recomendado implica el uso de Malla MFI 3500 con una longitud de 2.5 metros, junto con pernos split set de 2.4 metros de longitud y 45 mm de diámetro, fabricados con acero grado A630 – 420H, con una tensión de fluencia de 46kg/mm<sup>2</sup> y una tensión de ruptura de 72 kg/mm<sup>2</sup>, ubicados cada 1.5 m. x 1.1 m. malla rectangular, solo en zonas en que la calidad del macizo rocos es mala se empleará shotcrete. (Hizo, 2020)

(Timoteo Rojas, 2016) desarrolló la investigación “***GEOMECÁNICA EN EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LAS LABORES MINERAS DE LA UNIDAD MINERA EL PORVENIR DE LA EMPRESA MINERA MILPO – 2016***”.

## RESUMEN

El objetivo primordial consiste en analizar el uso de herramientas geomecánicas y resaltar la relevancia de la geomecánica en el diseño del soporte estructural para actividades mineras. Es crucial cartografiar y dividir las zonas de excavación en función de las características geomecánicas de las rocas. En la actualidad, los estudios geomecánicos, debidamente actualizados, revisados y avalados por ingenieros titulados y acreditados en la materia, son indispensables en cualquier operación minera. Esta

importancia radica en su contribución a la mitigación de incidentes adversos.

Se presenta y contrasta un análisis efectuado en el yacimiento "El Porvenir" de la compañía minera Milpo, durante el lapso 2013 a 2014. Mediante la implementación de un proyecto y la participación activa del departamento de geomecánica, la empresa logró reducir costos sin comprometer la estabilidad de las operaciones, finalmente hacemos una comparación de resultados de laboratorio y de campo sobre la resistencia compresiva y concluimos que el uso de esclerómetro en campo tiene una correlación simétrica, mostrando así la valía de los cálculos in situ. (Rojas, 2016)

(Lazaro Maguiña, 2018) desarrolló la investigación ***“GEOMECÁNICA APLICADA AL DISEÑO DEL SOSTENIMIENTO PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LAS LABORES MINERAS EN LA MINA CARIDAD DE LA COMPAÑÍA MINERA LINCUNA SA – 2017”***.

### **RESUMEN**

El propósito radica en llevar a cabo una evaluación geomecánica exhaustiva del macizo rocoso en la Mina Caridad, con el fin primordial de salvaguardar la estabilidad de las labores mineras subterráneas, esto se traduce en la preservación de la seguridad y la integridad del personal y su entorno durante la operación minera, manteniendo la estabilidad de las excavaciones y las áreas de trabajo para reducir la dilución y prevenir accidentes por desprendimiento de rocas, el trabajo inició con la recopilación de información geomecánica básica mediante mapeos de caracterización geomecánica y estructural, también se realizó un seguimiento detallado de

los diferentes elementos de soporte utilizados en la mina, evaluando su rendimiento y propiedades mecánicas, la metodología empleada en esta investigación es cuasi-experimental, utilizando la técnica analítico-sintética, el procedimiento de la investigación se centra en la descripción explicativa y descriptiva, abarcando el procesamiento, la clasificación y la evaluación de la información recopilada, esta aproximación proporciona un mayor control en el diseño del soporte estructural para asegurar la estabilidad de las excavaciones, finalmente, con los resultados obtenidos se realizaron los diferentes análisis de estabilidad y se analizó la condición actual del sistema de sostenimiento para los diferentes dominios estructurales definidos. (Maguiña, 2018)

(Torres Yupanqui, 2004) desarrollo la investigación “***DETERMINACIÓN DE PARAMETROS GEOMECHANICOS***”.

## **RESUMEN**

En el desarrollo de la explotación minera, se evidencian diversas condiciones y desafíos en la mecánica de rocas que, de no ser considerados previamente y estudiados exhaustivamente, podrían causar alteraciones significativas en las operaciones mineras. El planeamiento minero abarca la planificación y ejecución de labores tanto subterráneas como superficiales, por lo que resulta crucial cuantificar las características geomecánicas del macizo rocoso. Esto se justifica desde una perspectiva técnico-económica para lograr una explotación racional, segura y rentable. Su aplicación se enfoca en el diseño de las labores mineras, métodos de explotación,

selección de equipos, procesos de perforación y voladura, sistemas de sostenimiento, relleno, drenaje y conservación del medio ambiente, entre otros aspectos.

Dentro del sistema de información geomecánica, se destacan los ensayos realizados tanto en laboratorio como in-situ, los cuales se concentran en entender el comportamiento geomecánico de la masa rocosa y sus componentes. Estos ensayos tienen como objetivo determinar las propiedades físico-mecánicas de rocas y minerales, así como el monitoreo continuo del comportamiento de la masa rocosa en una operación minera. En el presente trabajo se detalla el procedimiento de cada uno de los ensayos, para determinar las propiedades físico – mecánicas de las rocas y minerales, y el monitoreo de la masa rocosa de una operación minera, efectuada de acuerdo a los estándares conocidos a nivel mundial, para este caso referido a características geomecánicas se aplica los estándares de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas – ISMR (Torres, 2004)

(Cotrado Laura & Amado Romero, 2022) desarrollaron la investigación ***“CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE UN SOSTENIMIENTO ADECUADO EN MINA CHAPARRA, CARAVELÍ, AREQUIPA - 2021”***.

## RESUMEN

El propósito fue determinar, mediante el método Q de Barton, el diseño óptimo de sostenimiento acorde al dominio geomecánico en la mina Chaparra - Caravelí, Arequipa – 2021. Se aplicó una metodología de nivel

explicativo con un diseño de investigación no experimental, transeccional y con un enfoque cuantitativo. Se trabajó con muestras no probabilísticas de afloramientos rocosos, utilizando observación directa, picotas y el método Q de Barton para evaluar la calidad del macizo rocoso y el nivel de riesgo geomecánico, aspectos cruciales para la seguridad de los trabajadores. Posteriormente, se diseñó el sostenimiento apropiado y se completó con una evaluación técnica y económica. Los resultados mostraron que el 50% de la roca poseía buena calidad, el 20% muy buena calidad, el 20% baja calidad y el 10% calidad regular, con un índice Q de 29, indicando una calidad buena.

Además, se identificó un 29% de riesgo muy alto, 14% alto, 29% bajo y 14% muy bajo. Con base en esto, se decidió emplear un sistema de sostenimiento de empernado puntual con espacios de 1.5 a 2.0 metros, junto con shotcrete proyectado de 5 a 6 centímetros con fibra, B + Sfr, para zonas de buena calidad; y empernado sistemático con espacios de 2 a 3 metros más shotcrete proyectado de 5 a 6 centímetros con fibra, B + Sfr, para áreas de muy buena calidad. Para zonas de baja calidad, se optó por espacios de 3 a 3.8 centímetros, SB, y se finalizó con sostenimiento activo utilizando pernos de anclaje helicoidales. El costo estimado fue de S/. 3,125.97 por metro lineal. (Cotrado & Romero, 2022)

(Alfaro Olascuaga & Muguera Anduaga, 2021) realizaron la investigación ***“CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO DEL NV-2, MINA NUEVA ESPERANZA, CONSORCIO MINERO HNS – ALGAMARCA, 2021”***

## RESUMEN

El propósito principal de esta investigación fue llevar a cabo una evaluación geomecánica de un macizo rocoso con el fin de diseñar el sostenimiento para un túnel. La metodología empleada fue de carácter aplicado y se realizaron muestreos en 8 estaciones geomecánicas situadas a intervalos de 20 metros, cubriendo una longitud de 156.5 metros en la mina Nueva Esperanza Nv., perteneciente al consorcio minero HNS S.R.L. Para este estudio, se emplearon métodos empíricos como RMR, Q, GSI y se analizó la estructura y comportamiento de la roca utilizando software como Rock data, Dips, Phase 2 y Unwedge.

Los resultados obtenidos revelaron valores de RMR que oscilaron entre 35 y 70, de Q entre 1 y 10, y de GSI de 40 a 70, indicando una calidad de roca regular. En consecuencia, se diseñó un sistema de sostenimiento compuesto por pernos sistemáticos de longitud variable entre 2 y 4.5 metros, espaciados cada 1 a 2 metros, junto con la implementación de una malla metálica y aplicaciones periódicas de shotcrete de 150 a 200 mm de espesor. La inversión económica requerida para esta implementación fue de S/. 473566.62 por cada conjunto de 8 estaciones. (Alfaro & Muguerza, 2021)

(Salazar Lucas, 2019) realizó la investigación ***“CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA PARA EVALUAR EL SOSTENIMIENTO SUBTERRÁNEO DE LA MINA HUANTAJALLA U.P. UCHUCCHACUA COMPAÑÍA MINERA BUENAVENTURA S.A.A.”***



## RESUMEN

El propósito fue adquirir conocimientos sobre distintos parámetros geomecánicos del macizo rocoso y, por consiguiente, comprender la estabilidad de las excavaciones vinculadas a la minería subterránea. La Compañía Minera Buenaventura S.A.A emplea un método de explotación selectiva, el cual se basa en evaluaciones geotécnicas previas para planificar y diseñar la explotación. Esto implica determinar los parámetros y características geotécnicas de las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación. Asimismo, para evaluar la calidad del macizo rocoso, se aplicó el sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski. (Salazar, 2019)

(Redrobán Velasco, 2016) llevó a cabo la investigación ***“DISEÑO DE SOSTENIMIENTO EN BASE A LA CARACTERIZACIÓN GEOMECAÁNICA DEL MACIZO ROCOSO EN EL SECTOR VETILLA 1 SUBNIVELES 1 Y 2 DE SOCIEDAD MINERA LIGA DE ORO”***

## RESUMEN

El propósito principal fue realizar la clasificación geomecánica del macizo rocoso utilizando el sistema de clasificación propuesto por Bieniawski en 1989. Esto se llevó a cabo con el fin de establecer el tipo de sostenimiento adecuado para las galerías ubicadas en el sector Vetilla 1 de Minera Liga de Oro SOMILOR S.A. Se recopiló información en el campo y se aplicó la metodología correspondiente, cuyo análisis concluyó en la evaluación

positiva de la estabilidad del macizo rocoso en las galerías de los subniveles.  
(Redrobán, 2016)

(Coronel De la Cruz, 2018) desarrollo la investigación ***“VENTAJAS TÉCNICO ECONÓMICAS DEL SHOTCRETE REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO COMPARADO CON EL SOSTENIMIENTO ESTRUCTURAL, EN LABORES MINERAS DE TIPO DE ROCA IVA-IVB, SEGÚN RMR EN LA UNIDAD MINERA CARAHUACRA, E.U.A. YAULI, VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A”***

### RESUMEN

El propósito fue crear y aplicar una nueva forma de sostenimiento llamada Shotcrete Pump. Sin embargo, dado que el macizo rocoso en la región es de baja calidad (IVA-IVB), se ha aumentado el uso de diversos materiales de sostenimiento para asegurar la estabilidad de las labores, lo cual ha resultado en un incremento significativo de los costos asociados al sostenimiento que llega a US\$11.5 /Tn equivalente al 26% del total de costo del ciclo de minado (US\$44.5 /Tn), los costos altos se deben al consumo excesivo de malla electro soldada y pernos de roca, los resultados de la investigación demostraron una compresión superior a 4.17% en 28 días, valores de tenacidad y absorción de energía en 18.72%, permitiendo un menor tiempo de instalación pasando de 11.5 a 5.25 horas, mayor seguridad y un ahorro de costo en US\$ 9.5/ Tn en los 6 primeros meses del 2018 en comparación al US\$/11.5/Tn en los 6 meses del año 2017, representando el 15% menos en los costos de sostenimiento. (Coronel, 2018)

### 2.1.2. Definición de Términos

- ❖ **Alteración.** – Es el proceso de modificación de las rocas y minerales mediante los agentes de erosión como el agua, viento, hielo, sol, etc, también se relaciona con el intemperismo y meteorización. (Torres Yupanqui, 2004)
- ❖ **Brújula.** – Es un instrumento que se utiliza para medir el rumbo, azimut y buzamiento de las estructuras geológicas. (Torres Yupanqui, 2004)
- ❖ **Buzamiento.** – El término 'Dip', también conocido como inclinación, se refiere al ángulo de inclinación de las capas de roca o estructuras geológicas en relación con un plano horizontal.
- ❖ **Estrato.** – Se refiere a la roca creada a partir de la acumulación de fragmentos o partículas generadas por la descomposición de rocas ya existentes.
- ❖ **Estratificación.** – Es la disposición paralela o subparalela que toman las capas de rocas sedimentarias durante su sedimentación. (Torres Yupanqui, 2004)
- ❖ **Estructura.** – Está referido a la disposición, arreglo y cohesión de los materiales constituyentes de un determinado cuerpo rocoso. (Torres Yupanqui, 2004)
- ❖ **Esfuerzo.** - Se refiere a la fuerza ejercida sobre una zona o superficie que se aproxima a cero.
- ❖ **Discontinuidades.** - Es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso, las discontinuidades o juntas condicionan las propiedades y el comportamiento resistente, deformacional e hidráulico del macizo rocoso. (González Díez & Martínez Cedrún, 2002)
- ❖ **Equipo Robot lanzador.** – Es una máquina que proyecta hormigón a las paredes/techo de un túnel o mina, siendo un equipo idóneo para túneles de bajo

perfil debido a sus reducidas dimensiones, fiabilidad y durabilidad. (Minera Seguridad, 2012)

- ❖ **Falla.** – Se trata del movimiento de un bloque de roca en relación con otro bloque adyacente o de ambos bloques, a lo largo de una superficie conocida como plano de falla.
- ❖ **Cuña.** - Se trata de una estructura de roca con forma tetraédrica, definida por la disposición de varias interrupciones o discontinuidades que se encuentran en el terreno.
- ❖ **Desplazamiento.** – Es la distancia recorrida por un bloque rocoso a través de un plano de movimiento. (Torres Yupanqui, 2004)
- ❖ **Estereograma.** - Representación circular que ilustra las diversas estructuras encontradas en el terreno, manteniendo su orientación tal como se observa en la realidad. Este diagrama posibilita la observación y estudio del comportamiento estructural de los macizos rocosos.
- ❖ **Bloque.** - Fragmento de roca con dimensiones superiores a 20 cm de diámetro.
- ❖ **Muestra.** – Trozo de roca o mineral, con un tamaño y peso adecuado que puede servir de elemento del cual se pueda obtener toda la información necesaria para realizar un estudio propuesto. (Torres Yupanqui, 2004)
- ❖ **Galerías en minería.** - Las galerías se definen como un sistema que recoge agua subterránea, similar a un túnel o mina excavado horizontalmente en el subsuelo.
- ❖ **Caracterización del macizo rocoso.** - La caracterización de un macizo rocoso constituye la fase inicial de estudio geomecánico, el cual implica la descripción de las características particulares que intervienen y juegan un papel importante en el comportamiento geomecánico del macizo frente a procesos de desestabilización. (Torres Yupanqui, 2004)

- ❖ **Clasificación geomecánica.** - Calificación del macizo rocoso está en función a las características que presentan ciertos parámetros del terreno, y la influencia que representan estos en la estabilidad de las excavaciones, determinando así, la calidad del macizo rocoso. (Torres Yupanqui, 2004)
- ❖ **Geomecánica.** - La geomecánica implica el análisis geológico del comportamiento de la tierra y las formaciones rocosas. Estas dos disciplinas principales en geomecánica son la mecánica de suelos y la mecánica de rocas. La primera se centra en el comportamiento del suelo, desde una escala pequeña hasta una escala de talud.
- ❖ **Geotecnia.** - La geotecnia, conocida como mecánica de suelos, involucra la aplicación de principios científicos e ingenieriles para obtener, comprender y aplicar el conocimiento de los materiales terrestres.
- ❖ **Factor de Seguridad.** – La relación entre fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras define la estabilidad de una estructura. Cuando el cociente es igual a 1.0, significa un equilibrio entre estas fuerzas, pero para asegurar la estabilidad, este valor debe ser superior a 1.0 (más de 1.3 para estructuras permanentes y más de 1.2 para estructuras temporales). Si el valor es menor a 1.0, señala un posible colapso inminente de la estructura minera.
- ❖ **Macizo rocoso.** - conjunto de matriz rocosa y discontinuidades, presenta carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo, consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico. (Ferrer, Gonzales de Vallejo, Ortuño, & Oteo, 2007)
- ❖ **Macizo.** – Término empleado en geotecnia para describir áreas rocosas que incluyen una mezcla de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas en su núcleo.

- ❖ **Mapeo geomecánico.** - Es la recolección de la información de las características de las discontinuidades de un macizo rocoso. (Gonzales Aguilar, 2002)
- ❖ **Parámetros.** - Un parámetro se refiere comúnmente a cualquier atributo que pueda contribuir a definir o categorizar un sistema específico. Se trata de un componente dentro de un sistema que resulta significativo o esencial al identificarlo o al evaluar su desempeño, estado, condición, entre otros aspectos.
- ❖ **Pernos de sostenimiento.** - Estos pernos están hechos de acero con una alta capacidad para recuperar su forma original luego de haber sido deformado. Estos pernos consisten en un tubo que contiene un pliegue interno y se sella en ambos extremos. Una vez insertado en el orificio, se infla utilizando una bomba que aplica una presión de 300 bares.
- ❖ **Riesgo alto en minería.** - Son todas aquellas tareas que, debido a su naturaleza o al entorno en el que se llevan a cabo, conllevan una exposición o niveles de riesgo superiores a los habituales en las actividades diarias, lo que podría ocasionar accidentes laborales graves e incluso, en muchos casos, fatales.
- ❖ **Rumbo.** – Es la dirección que sigue la línea de intersección formada entre el plano horizontal y el plano del estrato o estructura geológica, con respecto al norte o sur. (Torres Yupanqui, 2004)
- ❖ **Shotcrete (hormigón proyectado).** - Es un procedimiento mediante el cual se expulsa con gran velocidad hormigón hacia una superficie utilizando una manguera que se impulsa mediante aire comprimido, con el propósito de moldear diferentes componentes de construcción en edificaciones.
- ❖ **Sostenimiento en minería.** - El sostenimiento de roca es el término empleado para describir los procedimientos y los materiales utilizados para mejorar la

estabilidad y mantener la capacidad portante de la roca circundante a una excavación subterránea. (Lira Pérez, 2021)

- ❖ **Sostenimiento Activo.** - También denominado reforzamiento del sostenimiento, ya que este método mejora las características mecánicas del macizo al interactuar directamente con él.
- ❖ **Sostenimiento Pasivo.** - También referido como sostenimiento pasivo, designado de esta manera porque el elemento no altera las propiedades mecánicas del macizo rocoso al no tener interacción directa con él.
- ❖ **Sostenimiento vía húmeda.** – Es cuando al método por vía húmeda se agrega el agua en la planta dosificadora de concreto. (Gonzalo, 2017)
- ❖ **Sostenimiento vía seca.** – En el método de vía seca, se añade el agua requerida para la hidratación del cemento directamente en la boquilla.
- ❖ **Split set.** - Es un nuevo tipo de barra de anclaje que está anclada en toda su longitud y refuerza activamente la roca circundante. Es un tubo de acero de alta resistencia con ranuras longitudinales. (Kelleg, 2022)
- ❖ **Subniveles (minería subterránea).** - Un nivel secundario creado a una corta distancia por encima o por debajo de un nivel principal, con el fin de simplificar la extracción de una cámara de explotación.
- ❖ **Túnel.** - proyecto minero subterráneo, pues permite llegar al lugar donde se encuentra el mineral.

## 2.1.3. Fundamentación teórica

### 2.1.3.1. Geomecánica

La geomecánica es la disciplina que estudia las características mecánicas de los materiales geológicos (suelo, roca) que conforman las rocas de formación, esta disciplina está basada en los conceptos y teorías de mecánica de rocas y mecánica de suelos, que relacionan el comportamiento de la formación bajo los cambios de esfuerzos. (Cook, 2016).

Es la ciencia teórica y práctica que estudia las propiedades y el comportamiento mecánico de los materiales rocosos, ante la presencia de las fuerzas internas y externas que se realizan sobre ellos con la finalidad de predecir y controlar su comportamiento, basándose en los principios de la ingeniería mecánica y orientada al diseño de las estructuras de rocas en la actividad minera. (BSG Institute, 2022)

El modelo geomecánico evalúa las propiedades mecánicas de la roca intacta, de las discontinuidades, y del macizo rocoso como tal, las propiedades mecánicas de los macizos rocosos deben incluir el estudio de los parámetros de deformabilidad y de resistencia, a fin de estudiar el comportamiento del macizo rocoso frente a los procesos de desestabilización por efecto de la construcción de la obra. (Gavilanes Jimenez & Andrade Haro, 2004)

(Torres Yupanqui, 2004) La implementación de un sistema de información geomecánica en las diferentes actividades mineras; para su aplicación en el diseño de labores mineras, comprenderá realizar los siguientes estudios:



- Caracterización del macizo rocoso: Levantamiento litológico – estructural. (Torres Yupanqui, 2004)
- Caracterización del comportamiento mecánico de la masa rocosa y sus componentes: Ensayos de laboratorio y ensayos in-situ. (Torres Yupanqui, 2004)
- Clasificación geomecánica del macizo rocoso: RMR, Q de Barton y GSI. (Torres Yupanqui, 2004)
- Zoneamiento de la masa rocosa. (Torres Yupanqui, 2004)

### **2.1.3.2. Caracterización del macizo rocoso**

La caracterización de un macizo rocoso constituye la fase inicial en todo estudio geomecánico e implica la descripción de las características particulares que intervienen y juegan un papel importante en el comportamiento geomecánico del macizo frente a procesos de desestabilización. Es importante mencionar que el comportamiento del macizo rocoso, esta fundamentalmente basada en las observaciones y descripciones hechas a partir de afloramientos y sondajes de perforación. (Gavilanes Jimenez & Andrade Haro, 2004)

El levantamiento litológico – estructural consiste en registrar información Litológica-estructural de la masa rocosa, este trabajo debe ser ejecutado; mediante las observaciones de campo, utilizando normas sugeridas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas - ISRM (Society International For Rock Mechanic's), en las diferentes labores de acceso, desarrollo y preparación para la explotación futura de la operación minera.

La información entre otras estará constituida por litología, meteorización, alteraciones, presencia de agua, tipo, forma de superficie de las discontinuidades, espaciado, continuidad y frecuencia de las diaclasas, dominio estructural, la orientación y rumbo de las estructuras y/o discontinuidades. (Torres Yupanqui, 2004)

### **2.1.3.3. Caracterización del comportamiento geomecánico de la masa rocosa y sus componentes**

- **Ensayos de laboratorio:** Comprenderá determinar las propiedades físicas (Densidad, Porosidad Aparente, Peso Específico Aparente, Absorción en peso) y mecánicas (Ensayo de Compresión Uniaxial, ensayo de Carga Puntual, Ensayo de Corte Directo. Ensayo para la determinación de Constantes Elásticas, ensayo de Compresión Triaxial. Ensayo de Tracción Indirecta – brasilero) de los diferentes materiales rocosos, entre roca y mineral a partir de un muestreo selectivo y representativo en sectores característicos de la operación minera, incluyendo rocas de la diversidad de formaciones geológicas. (Torres Yupanqui, 2004)
- **Ensayos In-Situ:** En la operación minera se debe implementar un sistema de control instrumental para garantizar la estabilidad de las labores mineras subterráneas y superficiales, a través de: Convergencia, subsidencia, rebote, nivel y/o caudal de agua y el Índice de la calidad de la Roca – RQD. (Torres Yupanqui, 2004)

#### 2.1.3.4. Clasificación geomecánica del macizo rocoso

Las clasificaciones geomecánicas determinan la sistemática del diseño empírico en la Ingeniería de Rocas y relacionan la experiencia práctica ganada en los diferentes proyectos con las condiciones existentes en determinados sitios. El propósito de la clasificación geomecánica, es proporcionar un índice numérico que nos indica la calidad del macizo rocoso, para luego recomendar el sostenimiento más adecuado. (Gavilanes Jimenez & Andrade Haro, 2004)

Una vez que tengamos los resultados de la caracterización del macizo rocoso y la caracterización del comportamiento mecánico, daremos paso a la clasificación geomecánica. El objetivo de la clasificación geomecánica es evaluar las propiedades de un macizo rocoso, establecer su calidad cuantitativamente y poder inferir lo siguiente:

- El comportamiento del macizo rocoso frente a una excavación. (Gavilanes Jimenez & Andrade Haro, 2004)
- El tipo de sostenimiento. (Gavilanes Jimenez & Andrade Haro, 2004)

La clasificación geomecánica de los macizos rocosos, se realiza a través de los diferentes métodos, las clasificaciones más utilizadas se detallan a continuación:

### a) Clasificación de Deere (Rock Quality Designation - RQD)

(Bongiorno T., 2016) La clasificación fue propuesta por Deere, la calidad de la roca RQD, se puede determinar a partir de trozos de roca testigos mayores de 10 cm recuperados en sondeos (**Ver Fig. N° 03**) o a partir de juntas  $J_v$  que indican el número de juntas por m<sup>3</sup> observadas en un afloramiento.

**Para el primer caso se utiliza la siguiente formula:**

$$RQD (\%) = [\Sigma (\text{longitud de núcleos } > 100\text{mm}) / (\text{largo del barreno})]$$

**Para el segundo caso se utiliza la siguiente formula:**

$$RQD = 115 - 3.3x J_v$$

Donde:

$J_v = J_x + J_y + J_z = N^\circ$  discontinuidades por metro cúbico

**Además, el RQD también se calcula usando la siguiente expresión matemática:**

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

Donde:

$\lambda = N^\circ$  discontinuidades por metro lineal

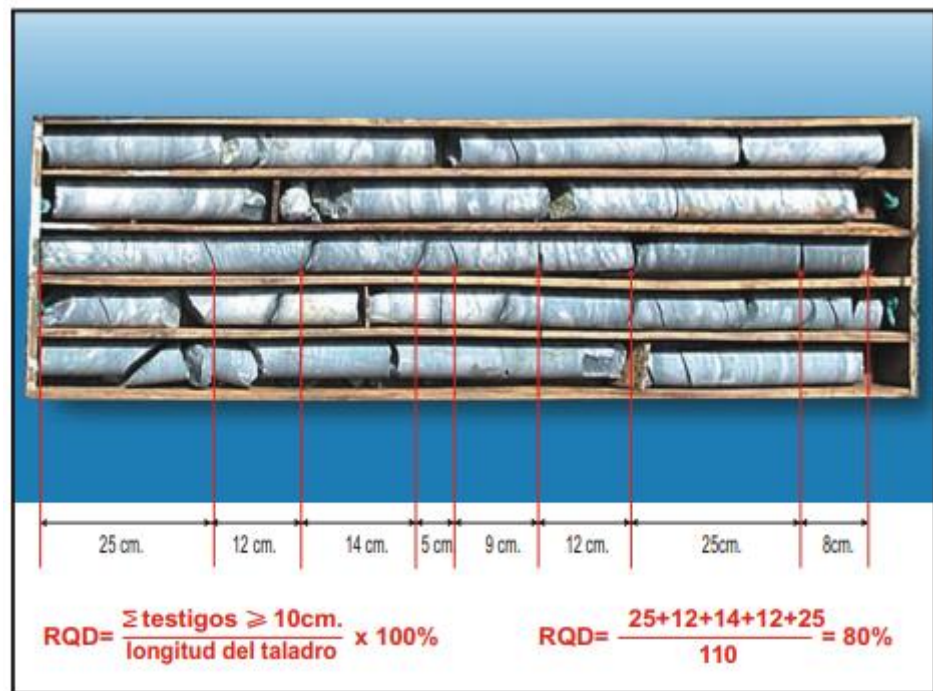
El valor obtenido del RQD, es comparado con la siguiente tabla de valoración del RQD que nos indica el índice de calidad de la roca. (**Ver Tabla N° 01**).

**Tabla N° 01:** Índice de Calidad de la Roca (RQD)

<i>Índice de Calidad R.Q.D. (%)</i>	<i>Calidad</i>
0 -25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Regular
75 - 90	Buena
90 - 100	Excelente.

**Fuente:** Prof. Francisco Bongiorno.

**Figura N° 03:** Estimación del RQD a partir de testigos de sondeo.



**Fuente:** Manual de geomecánica - SNMPE

### b) Clasificación de Bieniawski 1989 (Rock Mass Rating – RMR)

(Bongiorno T., 2016) Este sistema de clasificación se ha desarrollado en base a otras clasificaciones existentes, la mayor limitación de esta clasificación está en su aplicación en rocas expansivas y fluyentes. El

parámetro que define la clasificación es el denominado índice RMR (ROCK MASS RATING), que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros (Bongiorno T., 2016):

- **Resistencia a la compresión simple de la roca intacta**, es decir de la parte de la roca que no presenta discontinuidades estructurales. (Bongiorno T., 2016)
- **Rock Quality Designation - RQD**, este parámetro se considera de gran interés, para seleccionar el revestimiento de los túneles. (Bongiorno T., 2016)
- **Espaciado de las diaclasas o discontinuidades**, que es la distancia medida entre los planos de discontinuidad de cada familia. (Bongiorno T., 2016)
- **Condición de las discontinuidades**, el cual consiste en considerar los siguientes parámetros (Bongiorno T., 2016):
  - ✓ Apertura. (Bongiorno T., 2016)
  - ✓ Persistencia de las Diaclasas o discontinuidad según su rumbo y buzamiento. (Bongiorno T., 2016)
  - ✓ Rugosidad. (Bongiorno T., 2016)
  - ✓ Alteración.
  - ✓ Relleno de las Juntas.
- **Presencia del Agua**, en un macizo rocoso con fisuras tiene un impacto significativo en su comportamiento.
- **Orientación de las discontinuidades**, se considera un factor desfavorable según esta clasificación.

Para calcular el índice RMR de Bieniawski 1989, se deben seguir los siguientes pasos:

- I) Evaluar las características del macizo rocoso para cada parámetro y luego sumar los valores calculados de los primeros cinco parámetros. Esto da un valor inicial de RMR. Para calcular el RMR según Bieniawski (1989), utilizaremos la tabla de criterios asociados. (Ver **Tabla N° 02**)

**Tabla N° 02:** Criterios para calcular el RMR (Según Bieniawski 1989)

A. PARÁMETROS DE CLASIFICACION Y SUS VALORACIONES									
Parámetro			Rango de valores						
1	Resistencia de roca intacta	Índice de carga puntual	>10MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para este rango bajo, es preferible el ensayo de compresión uniaxial		
		Resistencia compresiva uniaxial	>250MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
<b>Valoración</b>			<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
2	Calidad de testigo de perforación RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
<b>Valoración</b>			<b>20</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>3</b>		
3	Espaciamiento de discontinuidades		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	60-200 mm	<60mm		
<b>Valoración</b>			<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>		
4	Condiciones de las discontinuidades		Superficies muy rugosas no continuas Cerradas sin apertura Paredes rocosas sanas	Superficies ligerament e rugosas Apertura<1 mm Paredes ligerament e intemper.	Superficies ligeram. rugosas Apertura<1 mm Paredes altamente intemper	Espejo de falla o panizo <5mm de espesor Apertura de 1-5mm juntas continuas	panizo suave >5mm de espesor o apertura >5mm Juntas continuas		
<b>Valoración</b>			<b>30</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>0</b>		
5	Agua subterránea	Flujo de 10m de longitud de túnel(l/m)presión de agua / principal máximo	Ninguno	< 10	10-25	25-125	>125		
		Condición general	0 Completamente seco	<0.1 Húmedo	<0.1 Mojado	0.1-0.2 Goteo	>0.5 Flujo		
<b>Valoración</b>			<b>15</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0</b>		

Fuente: Prof. Francisco Bongiorno.

II) El sexto parámetro se considera desfavorable y se evalúa utilizando la tabla de criterios basada en la orientación de las discontinuidades. (Ver Tabla N° 03)

**Tabla N° 03:** Parámetro según la orientación de las discontinuidades

Rumbo Perpendicular al Eje de la obra				Rumbo Paralelo al Eje de la obra		Buzamiento 0 -20° Independiente del Rumbo.
Dirección según buzamiento		Dirección contra buzamiento				
Buzam 45° - 90°	Buzam 20° - 45°	Buzam 45° - 90°	Buzam 20° - 45°	Buzam 45° - 90°	Buzam 20° - 45°	
Muy favorable	favorable	regular	desfavorable	Muy desfavorable	Regular	desfavorable

**Fuente:** Prof. Francisco Bongiorno.

Una vez que se ha realizado la evaluación de la inclinación y el rumbo de la roca en relación con el eje de la estructura, se determina el valor RMR según el tipo de construcción que se llevará a cabo.. (Ver Tabla N° 04)



**Tabla N° 04:** Rango RMR según la orientación de las discontinuidades

<b>Obras tipo túneles y minas</b>	
<b>Calificativo</b>	<b>Rango RMR</b>
Muy favorable	0
Favorable	-2
Regular	-5
Desfavorable	-10
Muy desfavorable	-12

<b>Obras de tipo fundaciones</b>	
<b>Calificativo</b>	<b>Rango RMR</b>
Muy favorable	0
Favorable	-2
Regular	-7
Desfavorable	-15
Muy desfavorable	-25

<b>Obras de tipo taludes</b>	
<b>Calificativo</b>	<b>Rango RMR</b>
Muy favorable	0
Favorable	-5
Regular	-25
Desfavorable	-50
Muy desfavorable	-60

**Fuente:** Prof. Francisco Bongiorno.

**III)** Una vez calculados el RMR básico y la valoración según la orientación de las discontinuidades, restaremos este último valor al RMR básico para así obtener el RMR ajustado. Haremos uso de la tabla de clasificación geomecánica RMR para determinar la calidad y el tipo de roca según Bieniawski 1989. **(Ver Tabla N° 05)**

**Tabla N° 05:** Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

CLASE	CALIDAD	VALORACIÓN RMR	COHESIÓN	ÁNGULO DE ROZAMIENTO
I	Muy buena	100-81	4 Kg/cm <sup>2</sup>	> 45°
II	Buena	80-61	3 – 4 Kg/cm <sup>2</sup>	35° - 45°
III	Media	60-41	2 – 3 Kg/cm <sup>2</sup>	25° - 35°
IV	Mala	40-21	1 – 2 Kg/cm <sup>2</sup>	15°- 25°
V	Muy mala	< 20	< 1 Kg/cm <sup>2</sup>	<15°

Fuente: Prof. Francisco Bongiorno.

**Bieniawski (1989)** publicó un conjunto de pautas para la selección del sostenimiento de túneles rocosos de 10 m de ancho de acuerdo con el sistema RMR. (Ver Tabla N° 06)

**Tabla N° 06:** Guía de excavación y sostenimiento en túneles (Bieniawski; 1989)

Clase de macizo rocoso	Excavación	Pernos (20 mm de diámetro, inyectados).	Soporte con concreto armado	costillas
I. Roca muy Buena, RMR: 81- 100	A sección completa. 3 mts. de avance.	Generalmente no se requiere.		Ninguno
II. Roca Buena, RMR: 61 - 80	A sección completa 1-1.5 mts de avance. Soporte completo a 20 mts del frente.	Pernos en la corona de 3 mts. de longitud espaciados a 2.5 mts. malla ocasional	50 mm en la corona donde se requiera	Ninguno
III. Roca regular, RMR: 41 - 60	Frente superior y destroza, 1.5-3 mts de avance en media sección. Inicio del soporte después de cada voladura. Soporte completo a 10 mts del frente.	Pernos sistemáticos, 4 mts de longitud, espaciados 1.5-2 mts en la corona y hastiales con malla en la corona.	50 – 100 mm en la corona y 30 mm por los lados	Ninguno
IV. Roca Pobre, RMR: 21 - 40	Frente superior y destroza, 1 – 1.5 mts de avance en la media sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación 10 mts del frente.	Pernos sistematicos , 4- 5 mts de longitud, espaciados 1 – 1.5 mts en la corona y hastiales con malla.	100 – 150 mm en la corona y 30 mm por los lados	Costillas ligeras a medias espaciadas 1.5 mts a donde se requiera.
V. Roca muy pobre RMR:< 20	Múltiples galerías 0.5-1.5 mts.de avance en la sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación. Concreto proyectado tan pronto como sea posible después de las voladuras.	Pernos sistemáticos , 5-6 mts de longitud, espaciados 1 – 1.5 mts en la corona y hastiales con malla. Pernos invertidos.	150- 200 mm en la corona, 150 mm en los lados y 50 mm al frente	Costillas medianas a resistentes, espaciadas a 0.75 mts con planchas de acero y tablestacas si se requiere.

Fuente: Prof. Francisco Bongiorno.

### c) Clasificación de Barton (Índice Q)

Desarrollada por Barton, Lien y Lunden en 1974, a partir del estudio de un gran número de túneles, que permite estimar parámetros geotécnicos del macizo y diseñar sostenimientos para túneles y cavernas subterráneas. Estos autores consideran esta clasificación tomando en cuenta el RQD relacionándola con diversos parámetros, que serán considerados a continuación y que están relacionados con la siguiente fórmula (Bongiorno T., 2016):

$$Q = \frac{R.Q.D}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

**Donde:**

**RQD** = Índice de Calidad de la Roca

**J<sub>n</sub>** = Describe el número de familias de discontinuidad o diaclasas

**J<sub>r</sub>** = Parámetro que representa la rugosidad de las juntas

**J<sub>a</sub>** = Alteración de juntas

**J<sub>w</sub>** = Parámetro o factor que se asocia al agua en juntas

**SRF** = Factor de reductor de esfuerzo, asociada al estado tensional de las zonas de corte, expansividad, fluencia, tensiones “in situ”

El primer coeficiente (RQD/J<sub>n</sub>), representa en la fórmula el tamaño de los bloques. El segundo coeficiente (J<sub>r</sub>/J<sub>a</sub>) representa en la fórmula la resistencia al corte de los bloques. El tercer y último coeficiente (J<sub>w</sub>/SRF) representa en la fórmula el estado tensional del macizo rocoso. (Nina, 2019)

Para calcular el índice Q primero debemos determinar la valoración de cada parámetro y remplazarlas en la formula principal que los relaciona; Para ello, haremos uso de las tablas de cálculo del RQD, cálculo de Jn, cálculo de Jr, cálculo de Ja, cálculo de Jw y cálculo del SRF.  
(Ver Tablas N° 07, 08, 09, 10, 11 y 12)

**Tabla N° 07:** Calculo del RQD

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

**Fuente:** Prof. Francisco Bongiorno.

**Tabla N° 08:** Calculo de la familia de diaclasas Jn.

<i>Descripción</i>	<i>Jn</i>
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.	9
Tres familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	12
Cuatro o más familias de Diaclasas, roca muy fracturada.	15
Roca triturada terrosa.	20
En boquillas, se utiliza 2 Jun y en Túneles 3 Jun	

**Fuente:** Prof. Francisco Bongiorno.

**Tabla N° 09:** Calculo de la rugosidad de las juntas Jr.

❖ Contacto entre las 2 caras de las diaclasas con poco desplazamiento lateral de menos de 10 cm.	<b>Jr</b>
▪ Juntas discontinuas.	4
▪ Juntas Rugosa o irregular ondulada.	3
▪ Suave ondulada.	2
▪ Espejo de falla, ondulada,	1.5
▪ Rugosa o irregular, plana.	1.5
▪ Suave plana.	1
▪ Espejo de Falla, plano.	0.5
❖ No existe contacto entre las 2 caras de las diaclasas cuando ambas se desplazan lateralmente.	<b>Jr</b>
▪ Zona de contenido de minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de las Diaclasas.	1
▪ Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las 2 caras de las diaclasas.	1
Nota: si el espaciado de la familia de las diaclasas es mayor de 3 m hay que aumentar el Jn en una unidad.	
Para diaclasas con espejos de falla provisto de lineaciones, si están orientadas favorablemente, se puede usar Jr=0.5	

**Fuente:** Prof. Francisco Bongiorno.

**Tabla N° 10:** Aguas en las juntas Jw.

<i>Descripción</i>	<b>Jw</b>	<b>Presión del agua Kg/cm<sup>2</sup></b>
- 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 presión 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-.01*	>10
Los valores presentados con el Signo * son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar Jw		

**Fuente:** Prof. Francisco Bongiorno.

**Tabla N° 11:** Alteración de las juntas Ja.

<i>Descripción</i>	<i>Ja</i>	<i>θ°</i>
<b>Contacto entre las 2 caras de las diaclasas</b>		
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
<b>Contacto entre las 2 caras de las diaclasa con &lt; de 10cm desplazamiento lateral</b>		
Partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla	4	25-30
Fuertemente sobre consolidados rellenos de minerales arcillosos no blandos, los recubrimientos son continuos de menos de 5mm de espesor	6	16-24
Sobre consolidación media a baja, blandos, rellenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos de < de 5mm de espesor.	8	12-16
Rellenos de arcilla expansiva, de espesor continuo de 5mm. El valor de Ja dependerá del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva	8-12	6-12
<b>No existe contacto entre las 2 caras de la diaclasa cuando esta cizallada.</b>		
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: Prof. Francisco Bongiorno

**Tabla N° 12:** Tensiones en las excavaciones S.R.F.

<b>1.- zona débil que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques</b>		<b>S.R.F</b>
A. Varias zonas débiles contenido arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta al rededor		10
B. Solo una zona débil contenido arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50m).		5
C. Solo una zona débil contenido arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50m).		2.5
D. Varias zonas de fractura en roca competente libre de arcilla, roca suelta alrededor (cualquier profundidad).		7.5
E. Solo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (profundidad de excavación < 50m).		5
F. Solo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (profundidad de excavación < 50m).		2.5
G. Diaclasas abiertas sueltas, muy fracturadas. Cualquier profundidad.		5
<b>2.- rocas competentes con problemas tensionales en las rocas</b>	<b><math>\sigma_c / \sigma_1</math>    <math>\sigma_1 / \sigma_2</math></b>	<b>S.R.F</b>
H. Tensiones pequeñas cerca de la superficie.	>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
<b>3.- rocas fluyentes, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostática.</b>		<b>S.R.F</b>
M. Presión de flujo suave		5-10
N. Presión de flujo intensa		10-20
<b>4.- roca expansiva, actividad expansiva química dependiendo de la presencia del agua</b>		<b>S.R.F</b>
O. Presión expansiva suave		5-10
P. Presión expansiva intensa		10-15
Observaciones: reducir los valores de SRF en unos 25 a 50% si las zonas de rotura solo influyen pero no interceptan a la excavación. En los casos que la profundidad de las claves del túnel sea inferior a la altura del mismo se sugiere aumentar el SRF de 2.5 a 5. Para campos de tensiones muy anisótropos cuando $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$ , reducir el $\sigma_c$ y $\sigma_1$ a $0.8\sigma_c$ y $0.8\sigma_1$ .		

Fuente: Prof. Francisco Bongiorno

Finalmente, obtenido el índice Q procedemos hacer uso de la tabla de clasificación de Barton de los macizos rocosos. (Ver Tabla N° 13)

**Tabla N° 13:** Clasificación de Barton de los macizos rocosos, Índice Q.

TIPO DE ROCA	VALOR DE Q
Excepcionalmente mala.	$10^{-3} - 10^{-2}$
Extremadamente mala.	$10^{-2} - 10^{-1}$
Muy mala.	$10^{-1} - 1$
Mala.	1 - 4
Media.	4 - 10
Buena.	10 - 40
Muy buena.	40 - 100
Extremadamente Buena.	100 - 400
Excepcionalmente Buena.	400 - 1000

Fuente: Prof. Francisco Bongiorno

### **Diámetro equivalente (De):**

Para poder relacionar el valor del índice de calidad Q, la estabilidad y las necesidades de sostenimiento, Barton, Lien y Lunde introdujeron una magnitud cuantitativa adicional que llamaron la Dimensión Equivalente “De” de la excavación. (Gavilanes Jimenez & Andrade Haro, 2004)

Este valor se obtiene de la siguiente relación:

$$De = \frac{\text{Ancho de la excavación, diámetro o altura (m)}}{\text{Relación de soporte de la excavación ESR}}$$

La relación de soporte de la excavación “ESR” tiene que ver con el uso que se pretende dar a la excavación y hasta donde se le puede permitir cierto



grado de inestabilidad. Barton da los siguientes valores supuestos para ESR.  
(Gavilanes Jimenez & Andrade Haro, 2004) (**Ver Tabla N° 14**)

**Tabla N° 14:** Valores superpuestos de ESR según Barton.

Tipo de excavación	ESR
A: excavación mineras provisionales	3-5
B: excavación mineras permanentes, túneles de conducción de agua para obras hidroeléctricas (con la excepción de las cámaras de alta presión para compuertas), túneles piloto (exploración), excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes.	1.6
C: cámaras de almacenamiento, plantas subterráneas para el tratamiento de aguas, túneles carreteros y ferrocarriles pequeños, cámaras de alta presión, túneles auxiliares.	1.3
D: cámaras de máquinas, túneles carreteros y ferrocarriles mayores, refugios de defensa civil, portales y cruces de túnel.	1.0
E: estaciones nucleoelectricas subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones para deportes y reuniones, fabricas.	0.8

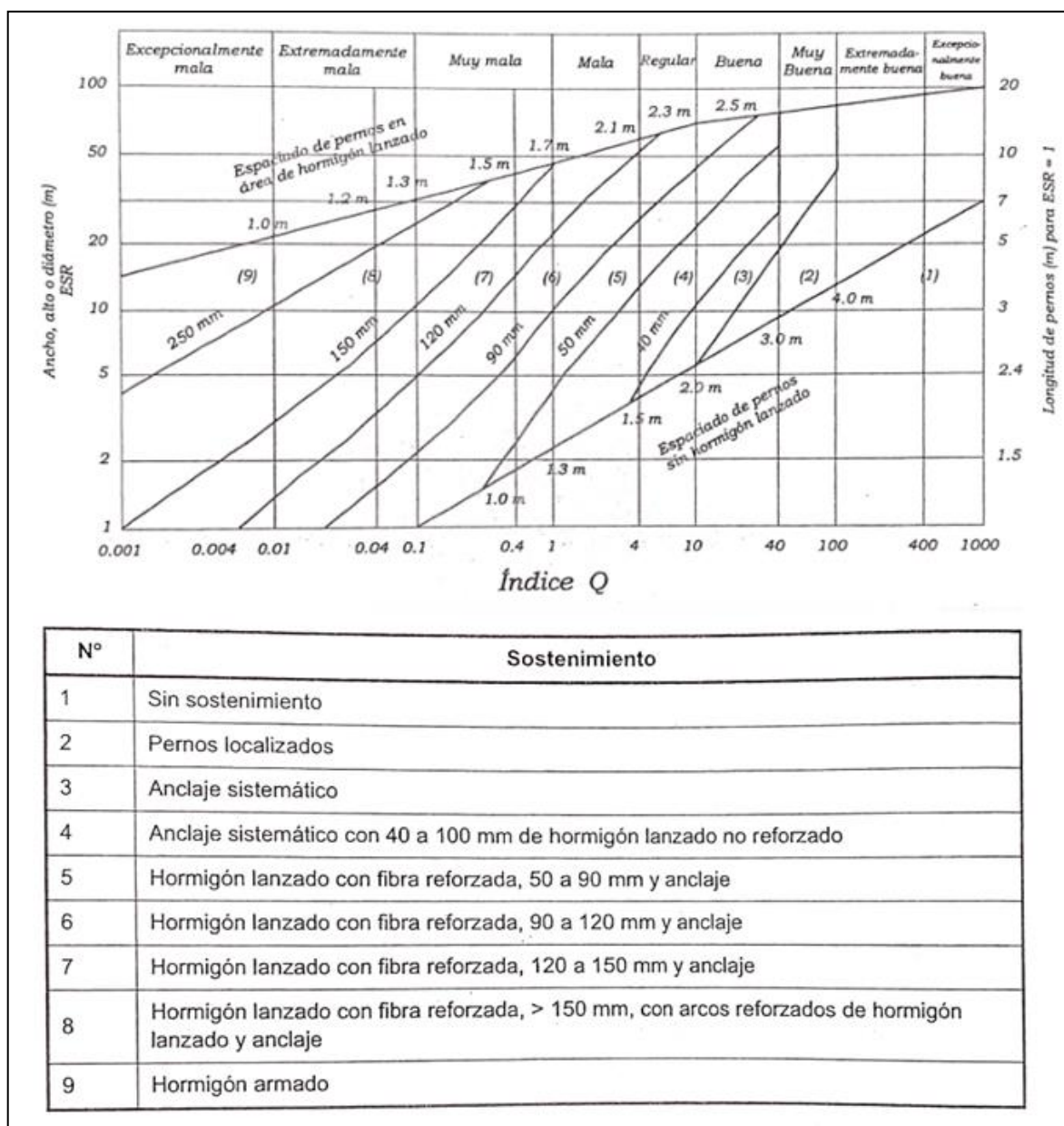
**Fuente:** Torres Yupanqui.

### **Recomendaciones de sostenimiento por Q de Barton:**

Inicialmente Barton propuso una guía de sostenimiento que presentaba 38 tipos de sostenimiento; pero en 1993 Grimstad y Barton, propusieron una nueva guía de sostenimiento la cual recomienda 9 tipos de sostenimiento. (Gavilanes Jimenez & Andrade Haro, 2004)

Para determinar el tipo de sostenimiento según Q de Barton, se tiene que conocer dos parámetros: El índice Q y el diámetro equivalente ( $D_e$ ), luego se procedera a trazar las lineas horizontaler y verticales respecto a los valores y en la zona donde se intersecte estas líneas indicará el tipo de sostenimiento recomendado. (**Ver Tabla N° 15**)

**Tabla N° 15:** Guía de sostenimiento para el índice Q (1993).



N°	Sostenimiento
1	Sin sostenimiento
2	Pernos localizados
3	Anclaje sistemático
4	Anclaje sistemático con 40 a 100 mm de hormigón lanzado no reforzado
5	Hormigón lanzado con fibra reforzada, 50 a 90 mm y anclaje
6	Hormigón lanzado con fibra reforzada, 90 a 120 mm y anclaje
7	Hormigón lanzado con fibra reforzada, 120 a 150 mm y anclaje
8	Hormigón lanzado con fibra reforzada, > 150 mm, con arcos reforzados de hormigón lanzado y anclaje
9	Hormigón armado

Fuente: Gavilanes Jimenez & Andrade Haro

**d) Correlación entre el RMR y el Índice Q**

De acuerdo con la aplicación de los diferente tipo de excavaciones, se ha propuesto diferentes tipos de correlaciones entre el RMR y el Índice Q, con la finalidad de estimar el sostenimiento a partir del índice Q. (Huaynate, 2018) (Ver Tabla N° 16)



**Tabla N° 16:** Correlaciones entre el RMR y el Índice Q

Correlaciones	Origen	Aplicación
$RMR = 13,5 \log Q + 43$	Nueva Zelanda	Túneles
$RMR = 9 \ln Q + 44$	Diverso	Túneles
$RMR = 12,5 \log Q + 55,2$	España	Túneles
$RMR = 5 \ln Q + 60,8$	Sudáfrica	Túneles
$RMR = 43,83 - 9,19 \ln Q$	España	Minería, roca débil
$RMR = 10,5 \ln Q + 41,8$	España	Minería, roca débil
$RMR = 12,11 \log Q + 50,81$	Canadá	Minería, roca resistente
$RMR = 8,7 \ln Q + 38$	Canadá	Túneles, roca sedimentaria
$RMR = 10 \ln Q + 39$	Canadá	Minería, roca resistente

**Fuente:** Gavilanes Jimenez & Andrade Haro

### 2.1.3.5.Sostenimiento

En toda explotación minera, el sostenimiento de las labores es un trabajo adicional de alto costo que reduce la velocidad de avance y/o producción pero que a la vez es un proceso esencial para proteger de accidentes a personal y al equipo. El término “sostenimiento” es usado aquí para cubrir los diversos aspectos relacionados con los pernos de roca (de anclaje mecánico, de varillas de fierro corrugado o barras helicoidales ancladas con cemento o con resina, split sets y swellex), cables, malla, cintas de acero (straps), concreto lanzado (shotcrete) simple y con refuerzo de fibras de acero, cimbras de acero, gatas, madera (puntales, paquetes, cuadros y conjuntos de cuadros), relleno y algunas otras técnicas de estabilización de la masa rocosa. Todos estos elementos son utilizados para minimizar las inestabilidades de la roca alrededor de las aberturas mineras. (Huaynate, 2018)

El sistema de sostenimiento o entibación consiste en adosar tablas en contacto con el terreno que transmiten los esfuerzos del terreno a unos elementos más rígidos llamados tresillones y que a su vez descansan sobre puntales, también de madera, cuya misión es apuntalar la estructura de sostenimiento. (Estructuralia, 2021).

#### **2.1.3.6. Diseño de sostenimiento y sus características**

El diseño del sostenimiento se realiza con métodos empíricos y clasificaciones geomecánicas, así mismo también mediante métodos numéricos asistidos por ordenador, finalmente mediante la revisión del mecanismo de funcionamiento y especificaciones técnicas de los principales sostenimientos para minería y obras civiles. (Centro Geotécnico Internacional, 2021).

#### **2.1.3.7. Túneles**

Se trata de una vía subterránea que, por lo general, se abre de modo artificial con el objetivo de permitir la comunicación entre dos lugares y se crean por acción el hombre o la naturaleza. (Pérez, 2015)

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. El Problema

##### 3.1.1. Descripción de la realidad problemática

En la Unidad Minera Carahuacra, se busca llevar a cabo labores de sostenimiento en las galerías pasivas del Túnel Victoria Nv. 820 para asegurar la estabilidad de dichas áreas y prevenir incidentes o accidentes debido a caídas de rocas. Estos incidentes podrían afectar los equipos, procesos y la seguridad de las personas involucradas. Por esta razón, se considera esencial realizar una evaluación geomecánica previa para entender la naturaleza del macizo rocoso y determinar apropiadamente el tipo de sostenimiento requerido.

En el año 2020, se registró un Incidente de Alto Riesgo Potencial (High Potential Risk Incident - HPRI) debido al desprendimiento de rocas en el Túnel Victoria Nv. 820. Afortunadamente, este incidente no causó daños personales, pero sí afectó algunos equipos. Este túnel es esencial para la extracción de minerales de las minas de Carahuacra y San Cristóbal. A pesar de ser una estructura permanente, no se había llevado a cabo una evaluación geomecánica previa para determinar y ejecutar un sostenimiento adecuado que garantizara la seguridad en el Túnel Victoria.

La Caracterización Geomecánica para Determinar el Sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A-2022, busca definir el tipo de sostenimiento necesario. Se realizará a través del análisis litológico-estructural, caracterización de la

conducta mecánica de la roca y la aplicación de las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski RMR (1989) y Q de Barton (1993).

### **3.1.2. Planteamiento y Formulación del Problema**

En la actividad minera subterránea, uno de los aspectos más destacados es la amenaza de desprendimiento o caída de rocas, consecuencia de la inestabilidad del macizo rocoso. Por tanto, resulta crucial asegurar la estabilidad del Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra de Volcan Compañía Minera S.A.A. Esto es vital para prevenir potenciales incidentes o accidentes derivados de tales caídas de rocas, dada la importancia de esta labor en la extracción mineral, la cual se realiza mediante una locomotora a batería. La investigación se llevará a cabo en la comunidad de Yauli, provincia de Yauli, departamento de Junín, donde el área abarca aproximadamente 424.2 km<sup>2</sup> y las altitudes oscilan entre los 4,100 y 4,700 metros sobre el nivel del mar.

#### **3.1.2.1. Formulación Interrogativa del Problema**

¿Cómo realizar la Caracterización Geomecánica para Determinar el Sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra – Volcán Compañía Minera SAA - 2022?

#### **3.1.2.2. Formulación de problemas específicos**

- ¿Cómo realizar la evaluación de la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el Túnel Victoria Nv.820 en Unidad Minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A. - 2022?

- ¿Cómo determinar el tipo de sostenimiento en el Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. - 2022?
- ¿Cuál será el resultado de la caracterización geomecánica y la aplicación determinada del tipo de sostenimiento en el Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan compañía Minera S.A.A. - 2022?

### **3.1.3. Objetivos de la investigación**

#### **3.1.3.1. Objetivo General**

Realizar la Caracterización Geomecánica para Determinar el Sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A - 2022.

#### **3.1.3.2. Objetivos Específicos**

- Realizar la evaluación de la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. – 2022.
- Determinar el tipo de sostenimiento en el Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. - 2022.
- Obtener resultados de la caracterización geomecánica y la aplicación determinada del tipo de sostenimiento en el Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. - 2022.

### 3.1.4. Justificación e importancia

La investigación actual, que se enfoca en la Caracterización Geomecánica para Determinar el Sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A - 2022, tiene una justificación sólida; Esto se debe a que el Túnel Victoria Nv. 820 es una infraestructura permanente para la extracción de mineral que carece de un sistema de sostenimiento. Por lo tanto, resulta viable realizar una caracterización geomecánica para determinar un método de sostenimiento adecuado, con el propósito de prevenir el riesgo de desprendimiento o caída de rocas debido a la inestabilidad del macizo rocoso. Este enfoque garantizará la seguridad de las personas, la protección de los equipos y la continuidad de los procesos. Además, la conclusión y la selección del tipo de sostenimiento serán aspectos de gran interés derivados de la investigación. Asimismo, será significativo debido a la escasez de aplicaciones de sostenimiento basadas en la caracterización geomecánica del macizo rocoso, lo que beneficiará directamente a la Unidad Minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A. para asegurar la estabilidad del Túnel Victoria Nv. 820.

### 3.1.5. Limitaciones

Entre las limitaciones puedo describir:

- Información bibliográfica y estudio geomecánica actual del Túnel Victoria Nv. 820.
- Aplicación de softwares de mecánica de rocas.



- Tiempo para la realización del trabajo de investigación, recopilación de datos, etc.

### **3.1.6. Alcances**

El estudio previsto tendrá un impacto positivo en Volcán Compañía Minera S.A.A, ya que se enfocará en caracterizar la parte geomecánica del Túnel Victoria Nv. 820 y definir el tipo de sostenimiento más adecuado para mejorar la estabilidad del macizo rocoso. Este enfoque busca prevenir posibles incidentes o accidentes derivados del desprendimiento o caída de rocas, al mismo tiempo que busca optimizar los costos en lo que respecta a la seguridad de los trabajadores y los equipos mineros; Además, también tiene un alcance académico, ya que permitirá ampliar los conocimientos teóricos y prácticos de los futuros profesionales dentro de la ingeniería de minas.

## **3.2. Hipótesis**

### **Hipótesis General**

La Caracterización geomecánica del macizo rocoso determina el sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A. – 2022

### **Hipótesis Específicos**

- La evaluación de la caracterización geomecánica del macizo rocoso influye en el sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. - 2022.

- El tipo de sostenimiento en el Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan compañía Minera S.A.A. – 2022 es determinado por la caracterización geomecánica.
- Los resultados de la caracterización geomecánica y la aplicación determinan el tipo de sostenimiento en el Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. – 2022.

### 3.3. Variables

#### **Variable Independiente (x)**

Caracterización Geomecánica

#### **Variable dependiente (y)**

Determinar el Sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820

## Operacionalización de variables

Tipo de variable	Nombre de la variable	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente	Caracterización geomecánica	Propiedades de la roca intacta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistencia compresiva (Martillo Schmidt y carga puntual)</li> <li>Características físicas.</li> </ul>
		Propiedades de las discontinuidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>Condición de las discontinuidades (Apertura, relleno y alteración)</li> <li>R.Q.D. (cálculo de <math>J_v</math>)</li> <li>Espaciado</li> </ul>
		Clasificación y resistencia de la masa rocosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>R.M.R. (RMR ajustado)</li> <li>Q de Barton</li> </ul>
Variable Dependiente	Determinar el sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820	Tipo de estabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recomendación RMR</li> <li>Recomendación Q Barton</li> </ul>
		Sistema de estabilización	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sostenimiento Pasivo</li> <li>Sostenimiento Activo</li> </ul>
		Factor de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analítico</li> <li>Software</li> </ul>

**Fuente:** Adaptación propia.

### 3.4. Diseño de la investigación

#### 3.4.1. Tipo de investigación

La investigación a desarrollar será de tipo APLICADA, porque se contribuirá como una alternativa de solución en la caracterización geomecánica del macizo rocoso para determinar el sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A. (Sampieri Hernandez, 2014)

#### 3.4.2. Nivel de la investigación

Para desarrollar la investigación se propone considerar el nivel de investigación DESCRIPTIVA, porque describe situaciones y eventos para

decir como es y cómo se manifiesta determinado fenómeno. Se centran en medir con la mayor precisión posible. (Sampieri Hernández, 2014)

### **3.4.3. Diseño de Investigación**

El diseño de la investigación será NO EXPERIMENTAL - TRANSVERSAL, porque en el desarrollo de este no se manipularán las variables y se recopilan datos de campo en un determinado periodo para realizar los cálculos previo análisis y comparación de estándares. (Sampieri Hernandez, 2014).

### **3.4.4. Población y muestra**

#### **Población**

La población de estudio está compuesta por la longitud total del Túnel Victoria Nv. 820 de la Unidad Minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A.

#### **Muestra**

La muestra que se considera para el desarrollo de la investigación en el Túnel Victoria Nv. 820, será desde la Progresiva 3+250 a la Progresiva 3+300, tramo crítico de 50 metros. (**Ver Anexo N° 02**)

### **3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

#### **Técnicas**

Las técnicas para recoger, validar y analizar la información necesaria que permita lograr los objetivos de la investigación, son las siguientes:

- Análisis de documentos y bibliografía.
- Observación directa en campo.

- Mapeo geomecánico por celda de detalle.
- Levantamiento litológico – estructural.
- Clasificación geomecánica RMR, Q Barton.
- Uso de internet.

### **Instrumentos**

Los instrumentos que se emplearán en la investigación serán:

- Software's de Microsoft Office (Word y excel)
- Cartilla de mapeo geomecánico RMR. (**Ver Anexo N° 03**)
- Recursos de oficina
- Acceso a internet
- Brújula, picota de geólogo, etc.

### **3.4.6. Forma de tratamiento y análisis de los datos**

El tratamiento de los datos se realizará a través de diversos cálculos, elaboración de tablas, diagramas y/o graficas mediante el uso del Microsoft Excel y otros programas. El Análisis e interpretación de las informaciones se realizará mediante un trabajo en gabinete, según los resultados obtenidos y el procesamiento de los datos, considerando los objetivos de la investigación.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.1. Descripción de la realidad y Procesamiento de Datos

En el periodo del año 2020 se tuvo un Incidente de Alto Riesgo Potencial por causa del desprendimiento de rocas en el Túnel Victoria Nv. 820, el hecho no causo pérdidas humanas; pero si daños de algunos equipos, ya que este túnel es utilizado para la extracción de mineral de las minas de Carahuacra y San Cristóbal; Sin embargo, a pesar de ser una labor permanente, no se había realizado la evaluación geomecánica para determinar y ejecutar un adecuado sostenimiento y garantizar los trabajos en el Túnel Victoria.

La caracterización geomecánica es de vital importancia ya que nos permitirá determinar el tipo de sostenimiento de las labores mineras; Es por ello, que me he propuesto a desarrollar la presente investigación titulado **“Caracterización geomecánica para determinar el sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A. – 2022”**,

##### 4.1.1. Mapeo geomecánico por celda de detalle

Se realizó el mapeo geomecánico por celda de detalle desde la progresiva 3+250 a 3+300, una longitud total de 50 metros, en la cual se tomaron en cuenta 4 estaciones geomecánicas de 12 a 13 metros de longitud y 2.8 metros de ancho, ubicados en las siguientes progresivas: 3+258, 3+270, 3+285 y 3+296; Para ello, se utilizó el formato de mapeo geomecánico por celdas, que incluye los parámetros de valoración desarrollas por Bieniawski 1989, las

cuales están indicadas en las Tablas N° 02, 03 y 04 del presente trabajo de investigación. **(Ver Anexo N° 04 y 05)**

De esta forma se obtuvo los siguientes valores calculados según los parámetros para la clasificación RMR 1989 de Bieniawski, determinándose así, el RMR básico y el RMR ajustado. **(Ver Cuadro N° 02)**

**Cuadro N° 02:** Valoraciones calculados según los parámetros para la clasificación RMR (Bieniawski, 1989)

Prog. (Estación Geomecánica)	Resistencia a la compresión	RQD	Espaciamiento	Condición de las discontinuidades					Agua Subterránea	RMR Básico	Orientación de Discontinuidades	RMR Ajustado
				Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Meteorización				
3258	4	13	8	4	4	3	1	3	10	50	-5	45
3270	4	13	8	4	4	3	1	1	10	48	-5	43
3285	4	8	8	4	4	3	1	1	7	40	-5	35
3296	4	13	8	4	4	3	1	1	7	45	-5	40

Fuente: Elaboración Propia.



#### 4.1.2. Parámetros del Índice Q de Barton

Mediante el mapeo geomecánico realizado desde la progresiva 3+250 a 3+300, una longitud total de 50 metros, se calculó los parámetros del índice Q de Barton, mediante la utilización de las tablas N° 07, 08, 09, 10, 11 y 12 del presente trabajo de investigación. Obteniéndose así, los siguientes valores calculados según los parámetros para la clasificación Q de Barton. (**Ver Cuadro N° 03**)

Además, de acuerdo con el mapeo estructural, se evidencia en la progresiva 3+270 una falla perpendicular 30/182

**Cuadro N° 03:** Valores calculados de los parámetros del índice Q.

INDICE Q DE BARTON	
RQD	66
Jn	12
Jr	3
Ja	3
Jw	0.66
SRF	5
ESR	1.6
Span	3.8

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.1.3. Levantamiento litológico – estructural

La litología predominante corresponde a volcánicos andesíticos, presencia de alteración en halos finos de ceritización haciendo un macizo ligeramente alterado en algunos tramos, como también se evidencian Fallas con relleno de arcilla y discontinuidades con superficie alteradas y rellenas de limo, según lo encontrado en el mapeo de campo.

También se registró el buzamiento y dirección de buzamiento de las estructuras (Discontinuidades), desde la progresiva 3+250 hasta la progresiva 3+300 del Túnel Victoria Nv. 820, con un total de 27 estructuras registradas, con el objetivo de identificar el domino y configuración estructural presente, la estimación se realizó mediante uso de técnicas de proyección estereográfica (Dips). Además de identifica una falla perpendicular con DIP/ DIP DIRECTION de 30/182. (Ver Cuadro N° 04)

**Cuadro N° 04:** Registro del DIP / DIP DIRECTION de las discontinuidades  
 presentes en el mapeo realizado de la progresiva 3+250 a la progresiva 3+300  
 (Tramo crítico de 50 metros)

ITEM	DIP	DIP DIRECTION	OBSERVACIÓN
1	65	16	
2	48	78	
3	52	239	
4	50	26	
5	83	324	
6	51	235	
7	55	31	
8	41	322	
9	43	90	
10	63	12	
11	36	85	
12	49	320	
13	69	238	
14	58	114	
15	52	96	
16	41	94	
17	30	182	Falla Perpendicular
18	67	35	
19	52	37	
20	54	88	
21	41	71	
22	66	205	
23	59	198	
24	51	86	
25	60	242	
26	35	33	
27	56	121	
<b>Datos del Túnel Victoria NV. 820</b>			
Azimut del Túnel:		N156°	<b>Longitud de mapeo</b>
Dimensión de la sección:		3.8 m x 2.9 m	50 Metros

**Fuente:** Elaboración propia

## 4.2. Análisis e Interpretación de la Información

### 4.2.1. Clasificación Geomecánica RMR del Macizo Rocoso

Para la determinación de la calidad del macizo rocoso y el tipo de roca en el Túnel Victoria Nv. 820 (Progresiva 3+250 a 3+300), se realizó el mapeo geomecánico por celda de detalle, y el resultado obtenido del RMR en cada estación geomecánica se comparó con los valores de la tabla N° 06 de clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989) del presente trabajo de investigación.

(Ver Cuadro N° 05)

**Cuadro N° 05:** Clasificación Geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

PROGRESIVA (Estación Geomecánica)	RMR	CALIDAD	TIPO
3+258	45	REGULAR	III-B
3+270	43	REGULAR	III-B
3+285	35	MALA	IV-A
3+296	40	MALA	IV-A

Fuente: Elaboración propia

### 4.2.2. Tipo de sostenimiento estimado en base al RMR (Bieniawski, 1989)

Se determinó el tipo de sostenimiento de acuerdo con el RMR de Bieniawski (1989) calculado en cada estación geomecánica; Para obtener este resultado es necesario hacer uso de la Tabla N° 06 Guía de excavación y sostenimiento en túneles (Bieniawski; 1989) del presente trabajo de

investigación. El siguiente cuadro muestra el tipo de sostenimiento en base al RMR calculado. (Ver Cuadro N° 06)

**Cuadro N° 06:** Tipo de sostenimiento en base al RMR (Bieniawski, 1989)

PROGRESIVA	RMR	CALIDAD	TIPO DE SOSTENIMIENTO
3+258	45	REGULAR	Pernos sistemáticos de 4 metros de longitud, espaciados de 1.5 a 2 metros, con malla en el techo. Shotcrete de 50 a 100 mm en el techo y 30 mm en las paredes.
3+270	43	REGULAR	
3+285	35	MALA	Pernos sistemáticos de 4-5 metros de longitud, espaciados de 1 – 1.5 metros, con malla. Shotcrete de 100 a 150 mm en el techo y 30 mm en las paredes.
3+296	40	MALA	

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3. Clasificación Geomecánica Q de Barton del Macizo Rocoso

Se realizó la estimación del valor del índice Q; Para ello, se calcularon los valores de los parámetros de este índice y se reemplazaron en la fórmula general para obtener este valor.

$$Q = \frac{R.Q.D}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

$$Q = \frac{66}{12} \times \frac{3}{3} \times \frac{0.66}{5}$$

$$Q = 0.726$$

El resultado obtenido del índice Q de Barton, se comparó con los valores de la tabla N° 13 de clasificación de Barton de los macizos rocosos, Índice Q, del presente trabajo de investigación.

(Ver Cuadro N° 07)

**Cuadro N° 07:** Clasificación Geomecánica Q (Barton, 1993)

INDICE Q	TIPO DE ROCA
0.726	MUY MALA

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.4. Tipo de sostenimiento estimado en base al índice Q (Barton, 1993)

Para determinar el tipo de sostenimiento según Q de Barton, se tiene que conocer dos parámetros: El índice Q y el diámetro equivalente (De). Para ello, vamos a calcular el diámetro equivalente (De) mediante la fórmula general para obtener este valor.

##### Cálculo del diámetro equivalente (De)

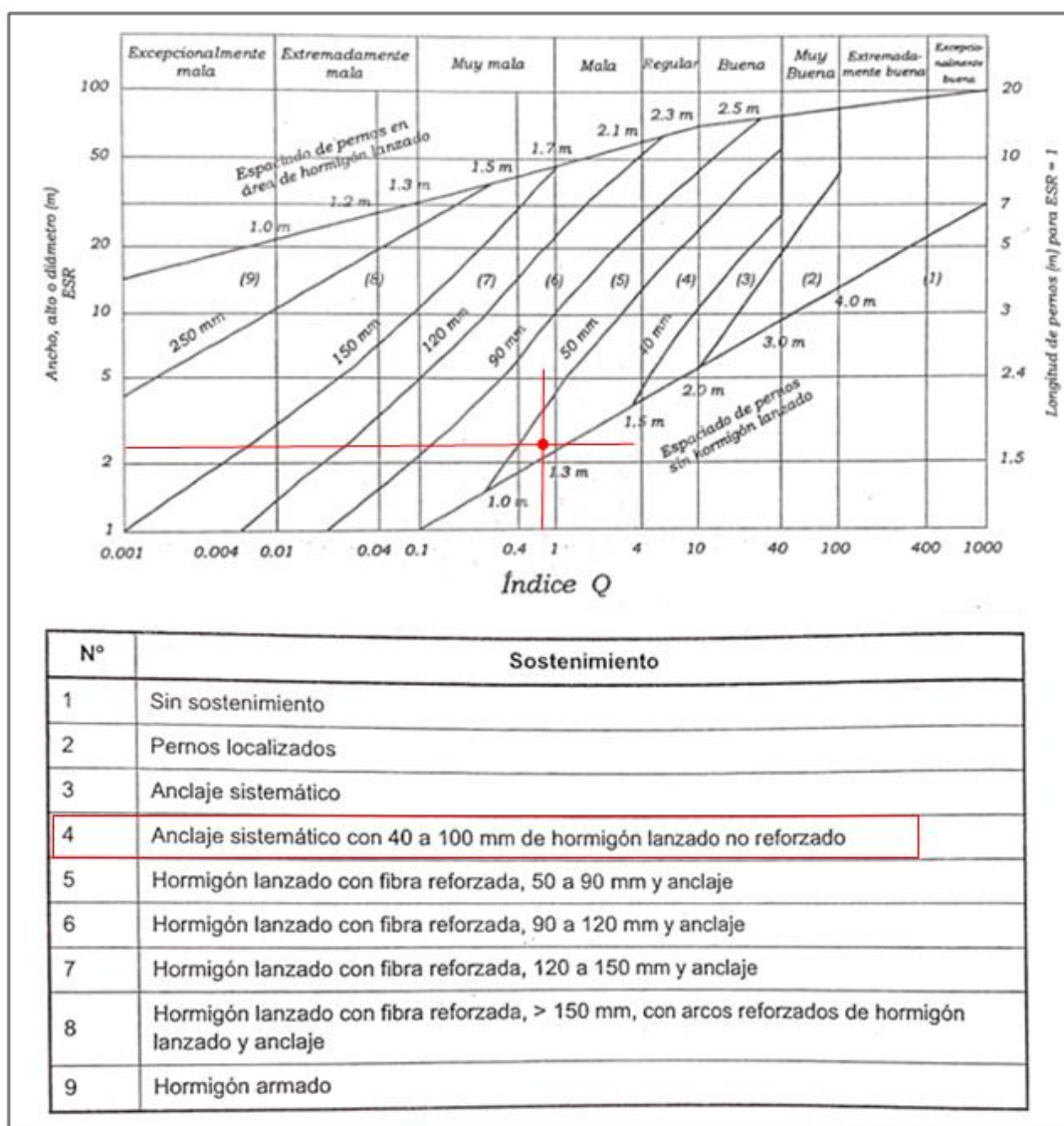
$$De = \frac{\text{Ancho de la excavación}}{ESR}$$

$$De = \frac{3.8}{1.6}$$

$$De = 2.375$$

De acuerdo con los valores obtenidos del índice Q y el diámetro equivalente (De), se utilizará la tabla N° 15 Guía de sostenimiento para el índice Q (Barton, 1993); Para ello, vamos a trazar las líneas horizontales y verticales respecto a los valores, la zona donde se cruzan ambos valores nos indicará una categoría para el tipo de sostenimiento. En nuestro caso, la zona de intersección es el 4. (Ver Fig. N° 04)

Figura N° 04: Tipo de sostenimiento según el Índice Q



Según el análisis el tipo de sostenimiento será lo indicado en la zona 4.

(Ver Cuadro N° 08)

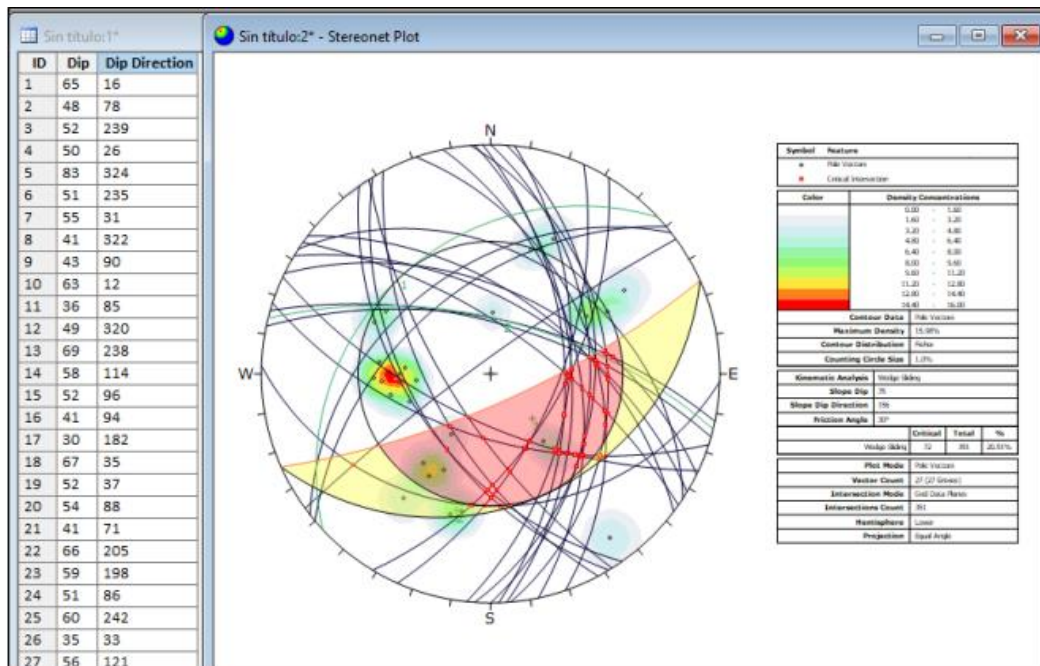
Cuadro N° 08: Tipo de sostenimiento en base al Índice Q y el De.

Q	TIPO	De	TIPO DE SOSTENIMIENTO
0.726	MUY MALA	2.375	Pernos sistemáticos espaciados a 1.3 m, con shotcrete sin refuerzo de 40 a 100 mm de espesor

#### 4.2.5. Análisis Estructural y de Cuñas Progresiva 3+250 a 3+300

En este tramo de 50 metros de longitud, se tomaron 27 datos estructurales, los cuales fueron importados al software Dips, según el análisis estereográfico en el Dips, se presentan discontinuidades que forman cuñas con una probabilidad de caída de 20.51 %. esto debido al tipo de roca, alteración, presencia de arcillas y ensanchamiento de la labor. (Ver Fig. N° 05)

Figura N° 05: Análisis estructural con Dips.

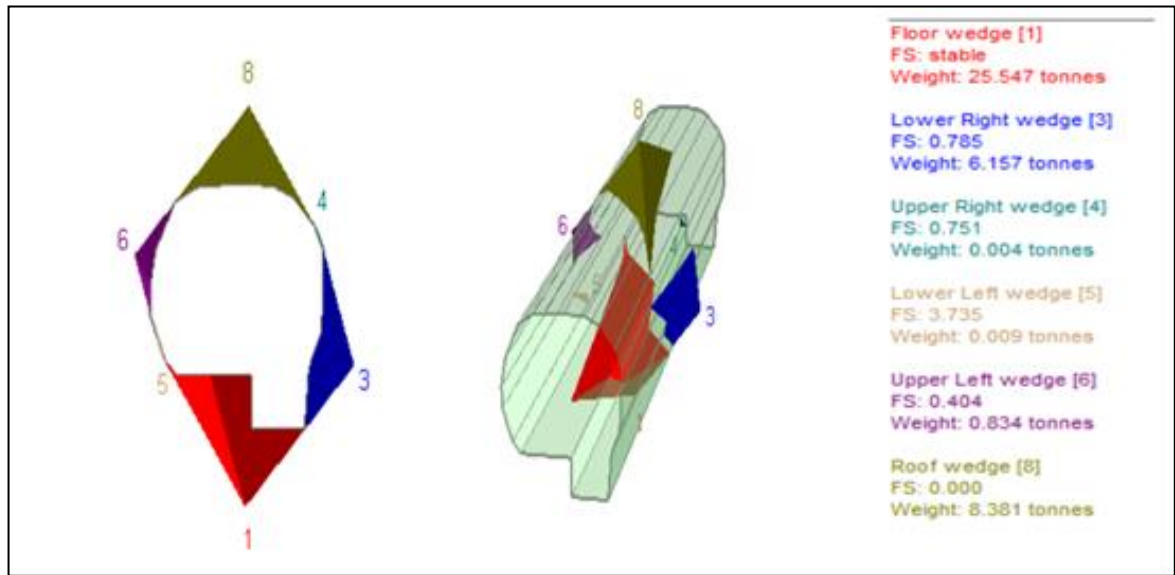


Fuente: Dips Versión 6, elaboración propia

En la siguiente figura, se muestra el análisis de cuñas y bloques, en base al dibujo a mano alzada de la geometría del túnel y los datos de orientación de las discontinuidades. (Ver Fig. N° 06)



**Figura N° 06:** Análisis de Cuñas con Unwedge



**Fuente:** Unwedge, elaboración propia

La progresiva evidencia cuñas en corona, hastial izquierdo y derecho, con pesos de las cuñas de entre 8.3, 0.8 y 6.1 toneladas respectivamente.

### 4.3. Discusión de los Resultados

- De acuerdo con el levantamiento litológico – estructural, el mapeo geomecánico, el análisis de los datos de campo y gabinete se determinó que la litología predominante son los volcánicos andesíticos, el **RMR ajustado** para la Progresiva 3+258 es 45 (Tipo III-B Regular), Progresiva 3+270 es 43 (Tipo III-B Regular), Progresiva 3+285 es 35 (Tipo IV-A Mala) y Progresiva 3+296 es 40 (Tipo IV-A Mala).
- De acuerdo con el criterio científico de Palmstrom la ecuación para la correlación del **RMR y Q (Bieniawski – Barton)**, es  **$RMR = 9\ln Q + 44$** , dicho valor se encuentra dentro del rango establecido por esta teoría y cumple con los valores aproximados para el cálculo del RMR mediante el índice Q.
- De acuerdo con la clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989) y la clasificación Q de Barton, se determinó el tipo de sostenimiento que se debería aplicar para garantizar la estabilidad del macizo rocoso. Según el tipo de sostenimiento estimado en base al RMR (Bieniawski, 1989): Pernos sistemáticos de 4 metros de longitud, espaciados de 1.5 a 2 metros, con malla en el techo. Shotcrete de 50 a 100 mm en el techo y 30 mm en las paredes para terrenos de tipo III-B Regular; y Pernos sistemáticos de 4-5 metros de longitud, espaciados de 1 – 1.5 metros, con malla. Shotcrete de 100 a 150 mm en el techo y 30 mm en las paredes para terrenos de tipo IV-A Malo; Además, según el tipo de sostenimiento estimado en base al Índice Q (Barton, 1993): Pernos sistemáticos

- espaciados a 1.3 m, con shotcrete sin refuerzo de 40 a 100 mm de espesor.
- De acuerdo con los resultados obtenidos por ambas clasificaciones y al análisis que conlleva la aplicación de un adecuado sostenimiento se resuelve considerar un tipo de sostenimiento mediante pernos sistemáticos espaciados a 1.3 metros y shotcrete de 2 pulgadas de espesor reforzado con fibra sintética; Además, **mediante la aplicación de la fórmula de Barton para calcular la longitud de pernos nos da como resultado 7 pies espaciados a 1.3 m**, lo que refuerza la elección del tipo de sostenimiento a aplicarse.
  - Estos resultados se están validando con la tesis titulada ***“GEOMECANICA PARA EL DISEÑO DEL SOSTENIMIENTO DE LAS LABORES MINERAS EN LA CORPORACIÓN MINERA TOMA LA MANO – CORMITOMA S.A. – AÑO 2018”*** del Ing. OSCAR JUNIOR LOARTE TRUJILLO.

#### 4.4. Aportes de la tesista

Al realizar el trabajo de investigación se obtuvo los siguientes aportes:

- Es fundamental determinar el valor corregido de la calidad geomecánica RMR de Bieniawski y el Q de Barton, a fin de tener una clasificación geomecánica más exacta y confiable, para poder seleccionar un adecuado tipo de sostenimiento que garantice la estabilidad del macizo rocoso con un factor de seguridad óptimo.

- Se obtuvieron buenos resultados durante el estudio geomecánico para la **CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL TÚNEL VICTORIA Nv. 820 EN UNIDAD MINERA CARAHUACRA – VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A**, que especialmente ha sido estudiada para realizar la clasificación geomecánica y determinar el tipo de sostenimiento según el tipo de sostenimiento estimado en base al RMR (Bieniawski, 1989) y el tipo de sostenimiento en base al Índice Q (Barton, 1993)
- Una vez conocido la calidad del macizo rocoso mediante las clasificaciones geomecánicas, y trabajarlas mediante las tablas elaboradas por Bieniawski y Barton, es posible saber qué tipo de sostenimiento es el más adecuado.

## CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización Geomecánica para Determinar el Sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A - 2022.
- Se realizó la evaluación de la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. – 2022. Se obtuvo la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski 1989 y la clasificación Q de Barton, determinándose una calidad del macizo rocoso de regular a mala, de tipo III-B y IV-A respectivamente, con un RMR promedio de 41 que varía de 35 a 45 y un índice Q de 0.726 (Roca muy mala).
- Se determinó el tipo de sostenimiento en el Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. – 2022, mediante la Guía de excavación y sostenimiento en túneles (Según Bieniawski, 1989) y la Guía de sostenimiento para el índice Q (Barton, 1993), siendo este sostenimiento mediante pernos sistemáticos espaciados a 1.3 metros y shotcrete de 2 pulgadas de espesor reforzado con fibra sintética.
- Se obtuvo los resultados de la caracterización geomecánica y la aplicación determinada del tipo de sostenimiento en el Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. - 2022.

## RECOMENDACIONES

- Es necesario que, durante la caracterización del macizo rocoso, se tenga mucho cuidado con los datos de entrada que se recogen de campo y laboratorio, estos deben ser de calidad y los más exactos posibles para obtener los resultados deseados y no proporcionar errores al momento de su procesamiento.
- Realizar el monitoreo del comportamiento del macizo rocoso, de acuerdo con un programa definido, como por ejemplo el monitoreo de convergencia, para tener una información real de la estabilidad del macizo rocoso.
- Se recomienda realizar un estudio más detallado para el análisis de cuñas con la ayuda de los Software de ingeniería como los de RocScience; Además, aplicar efectivamente el tipo de sostenimiento seleccionado.
- Se recomienda realizar una voladura controlada en los trabajos que se vienen realizando en el Túnel Integración Carahuacra; a fin de evitar la inestabilidad del macizo rocoso del Túnel Victoria.
- Se recomienda que luego de la aplicación del tipo de sostenimiento, se hagan pruebas de arranque de los pernos y pruebas al shotcrete, para garantizar la estabilidad del túnel y verificar la efectividad de los elementos de sostenimiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ **Acuña Soto, S., & Cajachagua Z., V. (2010).** Proyecto tajo Carahuacra Norte Domo de Yauli - Junin. Cusco, Perú.
- ✓ **Alfaro Olascuaga, V. J., & Muguera Anduaga, S. (2021).** Caracterización Geomecánica Para El Diseño de Sostenimiento del Nv.2, Mina Nueva Esperanza, Consorcio Minero HNS – Algamarca, 2021. *Tesis para optar el título profesional de: Ingeniero Geólogo.* Cajamarac, Perú.
- ✓ **Bongiorno T., F. (2016).** Índice de la calidad de la roca RQD & Clasificaciones de los macizos rocosos. Barcelona, España.
- ✓ **Consulting, A. G. (2022).** ¿Que es un macizo rocoso? Y Clasificación Geomecánica de Rocas. Chile, Chile.
- ✓ **Cook, J. (2016).** Geomecánica. Lima, Perú.
- ✓ **Coronel De la Cruz, J. P. (2018).** Ventajas técnico económicas del shotcrete reforzado con fibras de acero comparado con el sostenimiento estructural, en labores mineras de tipo de roca IVA-IVB, según RMR en la unidad minera Carahuacra, E.U.A. Yauli, Volcan Compañía Minera S.A.A. Huancayo, Perú.
- ✓ **Cotrado Laura, M., & Amado Romero, D. A. (2022).** Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de un sostenimiento adecuado en mina Chaparra, Caravelí, Arequipa - 2021. *Tesis: Para optar el Título Profesional de: Ingeniero de Minas.* Arequipa, Perú.
- ✓ **Curi Blanco, J. K. (2018).** “Caracterización Geomecánica para el Análisis de Pernos Hydrabolt en el Sostenimiento de Labores Subterráneas Compañía Minera

- Casapalca”. *Tesis para optar el título profesional de: Ingeniero de Minas*. Cerro de Pasco, Perú.
- ✓ **DCR Ingenieros S.R.L. (2015)**. Estudio Geomecánico del Minado Subterráneo Unidad Minera San Cristobal. Lima, Perú.
  - ✓ **Eadic. (2022)**. Estructuras, Materiales Y Geotecnia. Madrid, España.
  - ✓ **Estructuralia. (2021)**. Construcción de túneles: mecanismos de sostenimiento del terreno. Madrid, España.
  - ✓ **Ferrer, M., Gonzales de Vallejo, L., Ortuño, L., & Oteo, C. (2007)**. Caracterización De Macizos Rocosos. Madrid, España.
  - ✓ **Gavilanes Jimenez, H., & Andrade Haro, B. (2004)**. Introducción a la Ingeniería de Túneles: Caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizos rocosos. Quito, Ecuador.
  - ✓ **Gomez, J. G. (2014)**. Discontinuidades de los macizos rocosos. Madrid, España.
  - ✓ **Gonzales Aguilar, C. (2002)**. Mapeo Geomecánico. Huarón, Perú.
  - ✓ **González Díez, A., & Martínez Cedrún, P. (2002)**. Caracterización geomecánica de suelos y rocas. Cantabria, España.
  - ✓ **Gonzalo, L. P. (2017)**. Uso de shotcrete vía húmeda con fibra metálica y su influencia en la caída de rocas en Socienda Minera Corona S.A. - Yauricocha. Huancayo, Perú.
  - ✓ **Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014)**. Metodología de la investigación. México, México.



- ✓ **Hizo Jamanca, J. (2020).** Evaluación geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en la rampa principal de la mina "Flor de Lirio" Sociedad Comercial Importadora y Exportadora Dicave Limitada - 2020. *Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas.* Huaraz, Perú.
  
- ✓ **Huamán Aparicio, A., & Ardiles Velasco, R. (2017).** Guía de Criterios Geomecánicos para Diseño, Construcción, Supervisión y Cierre de Labores Subterráneas. Lima, Perú.
  
- ✓ **Internacional, C. G. (2021).** Diseño de Sostenimiento para Tuneles y/o Excavaciones Ssubterraneas. Chile, Chile.
  
- ✓ **Kelleg. (2022).** Pernos Split set. Shanghai, China.
  
- ✓ **Lazaro Maguiña, J. (2018).** Geomecánica aplicada al diseño del sostenimiento para mejorar la estabilidad de las labores mineras en la mina Caridad de la Compañía Minera Lincuna S.A. – 2017. *tesis para optar título profesional de Ingeniero de Minas.* Huaraz, Perú.
  
- ✓ **Lira Pérez, F. J. (2021).** Mecanización del sostenimiento de roca en minería subterránea. *Minería y Canteras.*
  
- ✓ **Lira., F. J. (2021).** Mecanización del sostenimiento de roca en minería subterránea. Lima, Perú.
  
- ✓ **Marquez olivera, G. (2018).** Geomecánica Aplicada al Diseño del Sostenimiento para Mejorar la Estabilidad del Nivel 730 - Unidad Minera San Cristóbal – Volcan 2016. Huaraz, Perú.

- ✓ **Redrobán Velasco, E. M. (2016).** Diseño de Sostenimiento en Base a la Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso en el Sector Vetilla 1 Subniveles 1 y 2 de Sociedad Minera Liga de Oro. *Proyecto integrador presentado para obtener el Título de Ingeniero de Minas.* Quito, Ecuador.
- ✓ **Salazar Lucas, M. A. (2019).** Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A. *Para optar el título profesional de:Ingeniero de Minas.* Cerro de Pasco, Perú.
- ✓ **Sampieri Hernandez, R. (2014).** Metodología de la Investigación. México, México.
- ✓ **Timoteo Rojas, C. (2016).** Geomecánica en el diseño de sostenimiento para mejorar la estabilidad de labores mineras de la Unidad Minera El Porvenir de la Empresa Minera Milpo - 2016. *Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas.* Huaraz, Perú.
- ✓ **Torres Yupanqui, L. (2004).** Determinación de las propiedades Físico- Mecánicas de las rocas y monitoreo de la masa rocosa. Huaraz, Perú.
- ✓ **Vallejo T., C. (2017).** Evaluación para la Optimización del Sostenimiento de las Minas San Cristóbal y Carahuacra. Lima, Perú.

# ANEXOS



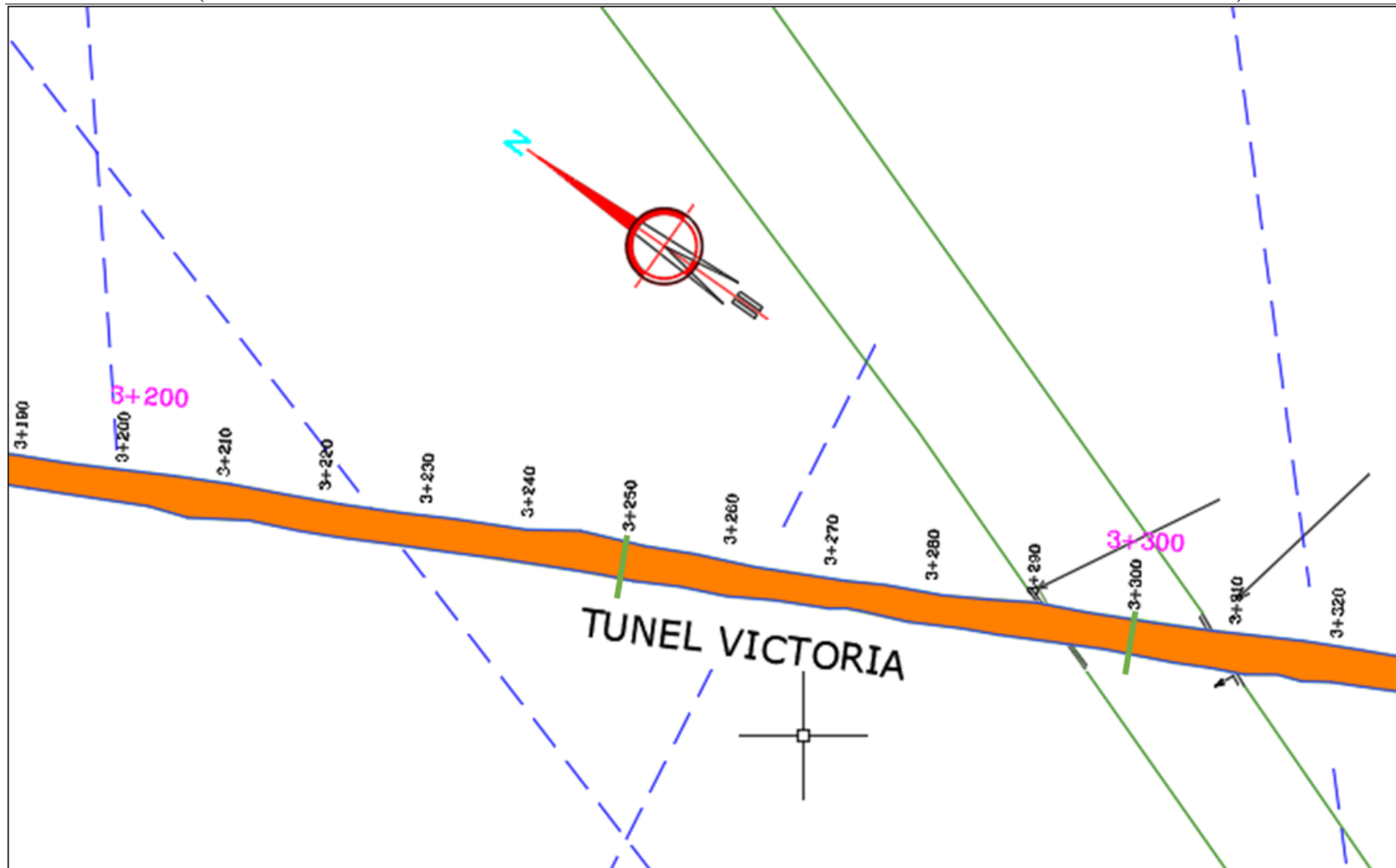
**ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIAS**  
**CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR EL SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL VICTORIA Nv. 820 EN UNIDAD MINERA CARAHUACRA – VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A - 2022**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGIA	POBLACION
<p><b>Formulación Interrogativa del Problema General</b>                      ¿Cómo realizar la Caracterización Geomecánica para Determinar el Sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. - 2022?</p> <p><b>Formulación Interrogativa de Problemas específicos</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>¿Cómo realizar la evaluación de la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. - 2022?</li> <li>¿Cómo determinar el tipo de sostenimiento en el Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. - 2022?</li> <li>¿Cuál será el resultado de la caracterización geomecánica y la aplicación determinada del tipo de sostenimiento en el Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. - 2022?</li> </ol>	<p><b>Objetivo General</b>                      Realizar la Caracterización Geomecánica para Determinar el Sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A - 2022.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Realizar la evaluación de la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. - 2022.</li> <li>2) Determinar el tipo de sostenimiento en el Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. - 2022.</li> <li>3) Obtener resultados de la caracterización geomecánica y la aplicación determinada del tipo de sostenimiento en el Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. - 2022.</li> </ol>	<p><b>Hipótesis general</b>                      La caracterización geomecánica del macizo rocoso determina el sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A. - 2022</p> <p><b>Variables</b></p> <p><b>Variable Independiente</b>                      Caracterización Geomecánica</p> <p><b>Variable Dependiente</b>                      Determinar el Sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820</p>	<p><b>Tipo de Investigación</b>                      La investigación a desarrollar será de tipo APLICADA, porque se contribuirá como una alternativa de solución en la caracterización geomecánica del macizo rocoso para determinar el sostenimiento del Túnel Victoria Nv. 820 en Unidad Minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A. (Sampieri Hernandez, 2014)</p> <p><b>Nivel de Investigación</b>                      Para desarrollar la investigación se propone considerar el nivel de investigación DESCRIPTIVA, porque describe situaciones y eventos para decir como es y cómo se manifiesta determinado fenómeno. Se centran en medir con la mayor precisión posible. (Sampieri Hernández, 2014)</p> <p><b>Diseño de Investigación</b>                      El diseño de la investigación será NO EXPERIMENTAL - TRANSVERSAL, porque en el desarrollo de este no se manipularán las variables y se recopilan datos de campo en un determinado periodo para realizar los cálculos previo análisis y comparación de estándares. (Sampieri Hernandez, 2014).</p>	<p><b>Población</b>                      La población de estudio está compuesta por la longitud total del Túnel Victoria Nv. 820 de la Unidad Minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A.</p> <p><b>Muestra</b>                      La muestra que se considera para el desarrollo de la investigación en el Túnel Victoria Nv. 820, será desde la Progresiva 3+250 a la Progresiva 3+300, tramo crítico de 50 metros.</p>



Fuente: Elaboración propia



**ANEXO N° 02: PLANO DE UBICACIÓN DE LA MUESTRA DEL TUNEL VICTORIA NV. 820  
(SE CONSIDERA PARA LA INVESTIGACIÓN DESDE LA PROGRESIVA 3+250 A 3+300)**



ANEXO N° 03: FORMATO DE MAPEO GEOMECÁNICO POR CELDAS SEGÚN RMR (BIENIAWSKI, 1989)

 		Registro N°:	Labor:			Nivel:																																																																																																																																																																																																																																																													
		Refer. Topográfica:			Fecha:																																																																																																																																																																																																																																																														
<b>DATOS DE MAPEO GEOMECÁNICO RMR</b>					Litología		# Familia de Discontinuidades	Azimut de la Labor																																																																																																																																																																																																																																																											
					Condición de Exposición: Fresca, Decolorada, Descompuesta, Desintegrada (Subrayar)				Buzamiento Veta:																																																																																																																																																																																																																																																										
Hecho por:					Dimensión de la labor:		Buzamiento Veta:																																																																																																																																																																																																																																																												
Parámetro	dc		Espaciamiento entre Discontinuidades	CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES						Orientación de Discontinuidades	RMR Básico	RMR Ajustado																																																																																																																																																																																																																																																							
	Resistencia a la Compresión			RQD	Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Meteorización				Agua Subterránea																																																																																																																																																																																																																																																						
Valores	15	12	20	0	0	0	0	0	15	0	0																																																																																																																																																																																																																																																								
Tramo de mapeo (m)	1-> 250 Mpa 2- 100 - 250 Mpa 3- 50 - 100 Mpa 4- 25 - 50 Mpa 5- 5 - 25 Mpa 6- 1.5 - 5 Mpa		17 13 9 5	20 15 10 8 5	4 2 1 0	0 5 4 1 0	0 5 3 1 0	0 5 3 1 0	15 10 7 4 0	<b>RMR Básico</b> 0 - Muy favorable 1 - Favorable 2 - Regular 3 - Desfavorable 4 - Muy desfavorable 5 - Muy desfavorable																																																																																																																																																																																																																																																									
CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES					<b>RMR Ajustado</b> 0 - Muy favorable 1 - Favorable 2 - Regular 3 - Desfavorable 4 - Muy desfavorable 5 - Muy desfavorable																																																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO RMR</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">TIPO DE ROCA</th> <th rowspan="2">RMR</th> <th rowspan="2">DESCRIPCION</th> <th rowspan="2">TAS</th> <th colspan="2">L = 5 m.</th> <th colspan="2">L = 1 m.</th> </tr> <tr> <th>Fract.</th> <th>RQD</th> <th>Fract.</th> <th>RQD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">I</td> <td rowspan="2">91 - 100</td> <td>MUY BUENA "A"</td> <td rowspan="2">1 año aprox.</td> <td>40</td> <td>81</td> <td>1</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>MUY BUENA "B"</td> <td>41</td> <td>80</td> <td>2</td> <td>98</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">II</td> <td rowspan="2">71 - 80</td> <td>BUENA "A"</td> <td rowspan="2">3 meses aprox.</td> <td>42</td> <td>79</td> <td>3</td> <td>96</td> </tr> <tr> <td>BUENA "B"</td> <td>43</td> <td>78</td> <td>4</td> <td>94</td> </tr> <tr> <td>61 - 70</td> <td>BUENA "B"</td> <td>44</td> <td>78</td> <td>5</td> <td>91</td> </tr> <tr> <td>III - A</td> <td>51 - 60</td> <td>REGULAR "A"</td> <td>1 mes aprox.</td> <td>45</td> <td>77</td> <td>6</td> <td>88</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">III - B</td> <td rowspan="2">41 - 50</td> <td rowspan="2">REGULAR "B"</td> <td rowspan="2">2 semanas aprox.</td> <td>46</td> <td>77</td> <td>7</td> <td>84</td> </tr> <tr> <td>47</td> <td>76</td> <td>8</td> <td>81</td> </tr> <tr> <td>IV - A</td> <td>31 - 40</td> <td>MALA "A"</td> <td>1 semana aprox.</td> <td>48</td> <td>75</td> <td>9</td> <td>77</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">IV - B</td> <td rowspan="2">21 - 30</td> <td rowspan="2">MALA "B"</td> <td rowspan="2">1 día aprox.</td> <td>49</td> <td>74</td> <td>10</td> <td>74</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>74</td> <td>11</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>0 - 20</td> <td>MUY MALA</td> <td>8 horas aprox.</td> <td>51</td> <td>73</td> <td>12</td> <td>66</td> </tr> <tr> <td colspan="4">OBSERVACIONES</td> <td>52</td> <td>72</td> <td>13</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>53</td> <td>71</td> <td>14</td> <td>59</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>54</td> <td>71</td> <td>15</td> <td>56</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>55</td> <td>70</td> <td>16</td> <td>52</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>56</td> <td>69</td> <td>17</td> <td>49</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>57</td> <td>68</td> <td>18</td> <td>46</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>58</td> <td>68</td> <td>19</td> <td>43</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>59</td> <td>67</td> <td>20</td> <td>41</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>60</td> <td>66</td> <td>21</td> <td>38</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>61</td> <td>66</td> <td>22</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>62</td> <td>65</td> <td>23</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>63</td> <td>64</td> <td>24</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>64</td> <td>63</td> <td>25</td> <td>29</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>65</td> <td>63</td> <td>26</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>66</td> <td>62</td> <td>27</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>67</td> <td>61</td> <td>28</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>68</td> <td>61</td> <td>29</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>69</td> <td>60</td> <td>30</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>70</td> <td>59</td> <td>31</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>												CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO RMR				TIPO DE ROCA	RMR	DESCRIPCION	TAS	L = 5 m.		L = 1 m.		Fract.	RQD	Fract.	RQD	I	91 - 100	MUY BUENA "A"	1 año aprox.	40	81	1	100	MUY BUENA "B"	41	80	2	98	II	71 - 80	BUENA "A"	3 meses aprox.	42	79	3	96	BUENA "B"	43	78	4	94	61 - 70	BUENA "B"	44	78	5	91	III - A	51 - 60	REGULAR "A"	1 mes aprox.	45	77	6	88	III - B	41 - 50	REGULAR "B"	2 semanas aprox.	46	77	7	84	47	76	8	81	IV - A	31 - 40	MALA "A"	1 semana aprox.	48	75	9	77	IV - B	21 - 30	MALA "B"	1 día aprox.	49	74	10	74	50	74	11	70	V	0 - 20	MUY MALA	8 horas aprox.	51	73	12	66	OBSERVACIONES				52	72	13	63					53	71	14	59					54	71	15	56					55	70	16	52					56	69	17	49					57	68	18	46					58	68	19	43					59	67	20	41					60	66	21	38					61	66	22	35					62	65	23	33					63	64	24	31					64	63	25	29					65	63	26	27					66	62	27	25					67	61	28	23					68	61	29	21					69	60	30	20					70	59	31	20
CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO RMR																																																																																																																																																																																																																																																																			
TIPO DE ROCA	RMR	DESCRIPCION	TAS	L = 5 m.		L = 1 m.																																																																																																																																																																																																																																																													
				Fract.	RQD	Fract.	RQD																																																																																																																																																																																																																																																												
I	91 - 100	MUY BUENA "A"	1 año aprox.	40	81	1	100																																																																																																																																																																																																																																																												
		MUY BUENA "B"		41	80	2	98																																																																																																																																																																																																																																																												
	II	71 - 80	BUENA "A"	3 meses aprox.	42	79	3	96																																																																																																																																																																																																																																																											
			BUENA "B"		43	78	4	94																																																																																																																																																																																																																																																											
		61 - 70	BUENA "B"	44	78	5	91																																																																																																																																																																																																																																																												
III - A	51 - 60	REGULAR "A"	1 mes aprox.	45	77	6	88																																																																																																																																																																																																																																																												
III - B	41 - 50	REGULAR "B"	2 semanas aprox.	46	77	7	84																																																																																																																																																																																																																																																												
				47	76	8	81																																																																																																																																																																																																																																																												
IV - A	31 - 40	MALA "A"	1 semana aprox.	48	75	9	77																																																																																																																																																																																																																																																												
IV - B	21 - 30	MALA "B"	1 día aprox.	49	74	10	74																																																																																																																																																																																																																																																												
				50	74	11	70																																																																																																																																																																																																																																																												
V	0 - 20	MUY MALA	8 horas aprox.	51	73	12	66																																																																																																																																																																																																																																																												
OBSERVACIONES				52	72	13	63																																																																																																																																																																																																																																																												
				53	71	14	59																																																																																																																																																																																																																																																												
				54	71	15	56																																																																																																																																																																																																																																																												
				55	70	16	52																																																																																																																																																																																																																																																												
				56	69	17	49																																																																																																																																																																																																																																																												
				57	68	18	46																																																																																																																																																																																																																																																												
				58	68	19	43																																																																																																																																																																																																																																																												
				59	67	20	41																																																																																																																																																																																																																																																												
				60	66	21	38																																																																																																																																																																																																																																																												
				61	66	22	35																																																																																																																																																																																																																																																												
				62	65	23	33																																																																																																																																																																																																																																																												
				63	64	24	31																																																																																																																																																																																																																																																												
				64	63	25	29																																																																																																																																																																																																																																																												
				65	63	26	27																																																																																																																																																																																																																																																												
				66	62	27	25																																																																																																																																																																																																																																																												
				67	61	28	23																																																																																																																																																																																																																																																												
				68	61	29	21																																																																																																																																																																																																																																																												
				69	60	30	20																																																																																																																																																																																																																																																												
				70	59	31	20																																																																																																																																																																																																																																																												
CROQUIS LATERAL O EN PLANTA					DISCONTINUIDADES			EFECTO DE LA ORIENTACIÓN DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACIÓN DE TÚNELES																																																																																																																																																																																																																																																											
					DIR.	BUZI	BUZ	ESP MEDIO		Rumbo perpendicular al eje del túnel		Rumbo paralelo al eje del túnel																																																																																																																																																																																																																																																							
					BET1					Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 45-90°	Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 20-45°	Buzamiento 45-90°	Buzamiento 20-45°																																																																																																																																																																																																																																																						
					BET2					Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Regular																																																																																																																																																																																																																																																						
					BET3					Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 45-90°	Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 20-45°	Buzamiento 0-20° Independiente del rumbo																																																																																																																																																																																																																																																							
					BET4					Regular	Desfavorable	Regular																																																																																																																																																																																																																																																							
CROQUIS DEL FRENTE					ESTRUCTURA MAYOR			GRADO																																																																																																																																																																																																																																																											
					DIR.	BUZI	BUZ	POTENCIA		INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO		RESIS. COMP. Mpa																																																																																																																																																																																																																																																							
									R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla (Se indenta profundamente).		1.5 - 5.0																																																																																																																																																																																																																																																							
									R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta).		5.0 - 25																																																																																																																																																																																																																																																							
					OBSERVACIONES			R3																																																																																																																																																																																																																																																											
								No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo.																																																																																																																																																																																																																																																											
								R4																																																																																																																																																																																																																																																											
								La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo.																																																																																																																																																																																																																																																											
								R5																																																																																																																																																																																																																																																											
								Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra.																																																																																																																																																																																																																																																											
								R6																																																																																																																																																																																																																																																											
								Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo																																																																																																																																																																																																																																																											
								> 250																																																																																																																																																																																																																																																											
								Observaciones:																																																																																																																																																																																																																																																											

ANEXO N° 04: REGISTRO DEL MAPEO GEOMECÁNICO RMR 1989 (PROGRESIVA 3+250 A 3+300)

		Registro N°: 0015	Labor: Túnel Victoria		Nivel: 820																								
DATOS DE MAPEO GEOMECÁNICO RMR		Refer. Topográfica: 3250 - 3300	Fecha: 10/04/22		CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO RMR																								
Hecho por: Max Arcebiga Trinidad		Litología: Volcánica Andesítico	# Familia de Discontinuidades: 3	Azimut de la Labor: N 156°																									
Condición de Exposición: Fresca, Decolorada, Descompuesta, Desintegrada (Subrayar)		Dimensión de la labor: 3.8m x 2.9m		Buzamiento Veta:																									
Parámetro	oc	CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea	Orientación de Discontinuidades	RMR Básico	RMR Ajustado	TIPO DE ROCA	RMR	DESCRIPCION	TAS	L = 5 m.				L = 1 m.										
	Resistencia a la Compresión	RQD	Espaciamiento entre Discontinuidades	Persistencia	Apertura	Rugosidad									Releno	Meteforización	Fract.	RQD	Fract.	RQD									
Valores	15 12 7 4 2 1	20 17 13 8 5 3	3 2 1 0	6 4 2 1 0	6 5 4 3 2 1 0	6 5 4 3 2 1 0	6 5 4 3 2 1 0	15 10 5 3 1 0	10 7 4 1 0	0 -2 -5 -10 -12	I	91 - 100	MUY BUENA "A"	1 año aprox.	40	81	1	100	41	80	2	98							
Tramo de mapeo (m)	1.- > 250 Mpa 2.- 100 - 250 Mpa 3.- 50 - 100 Mpa 4.- 25 - 50 Mpa 5.- 5 - 25 Mpa 6.- 1.5 - 5 Mpa 1.- 90 - 100% 2.- 75 - 90% 3.- 50 - 75% 4.- 25 - 50% 5.- < 25% 1.- > 2 m 2.- 0.6 - 2 m 3.- 200 - 600 mm 4.- 60 - 200 mm 5.- < 60 mm 1.- < 1 m 2.- 1 - 3 m 3.- 3 - 10 m 4.- 10 - 20 m 5.- > 20 m 1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta < 0.1 mm 3.- Angosta 0.1 - 1.0 mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0 mm 5.- Muy Abierta > 5.0 mm 1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligera y Rugosa 4.- Lisa 5.- Muy Lisa 1.- Ninguna 2.- Relleno duro < 5 mm 3.- Relleno duro > 5 mm 4.- Relleno blando < 5 mm 5.- Relleno blando > 5 mm 1.- No meteorizada 2.- Ligemente 3.- Moderadamente 4.- Altiamente meteorizada 5.- Descompuesta 1.- Completamente seco 2.- Húmedo 3.- Mojado 4.- Goteo 5.- Flujo																												
3258	4	13	8	4	4	3	1	3	10	50	-5	45	III - A	51 - 60	REGULAR "A"	1 mes aprox.	51	73	12	66	52	72	13	63					
3270	4	13	8	4	4	3	1	1	10	48	-5	43	III - B	41 - 50	REGULAR "B"	2 semanas aprox.	53	71	14	59	54	71	15	56					
3285	4	8	8	4	4	3	1	1	7	40	-5	35	IV - A	31 - 40	MALA "A"	1 semana aprox.	55	70	16	52	56	69	17	49					
3296	4	13	8	4	4	3	1	1	7	45	-5	40	IV - B	21 - 30	MALA "B"	1 día aprox.	57	68	18	46	58	68	19	43					
OBSERVACIONES														59	67	20	41	60	66	21	38	61	66	22	35	62	65	23	33
Presencia de fujos 30/182														63	64	24	31	64	63	25	29	65	63	26	27	66	62	27	25
														67	61	28	23	68	61	29	21	69	60	30	20	70	59	31	20

CROQUIS LATERAL O EN PLANTA				
CROQUIS DEL FRENTE				
① 65/16 ④ 78/78 ⑤ 52/239 ⑦ 50/26 ⑧ 83/324	⑥ 51/285 ⑦ 55/31 ⑧ 41/322 ⑨ 43/90 ⑩ 63/12	⑪ 36/85 ⑬ 49/320 ⑭ 64/238 ⑮ 58/114 ⑯ 52/96	⑫ 41/94 ⑭ 24/182 ⑮ 64/35 ⑰ 52/37 ⑱ 54/88 ⑲ 41/71	⑳ 66/205 ㉑ 59/198 ㉒ 51/86 ㉓ 66/242 ㉔ 35/33 ㉕ 55/121

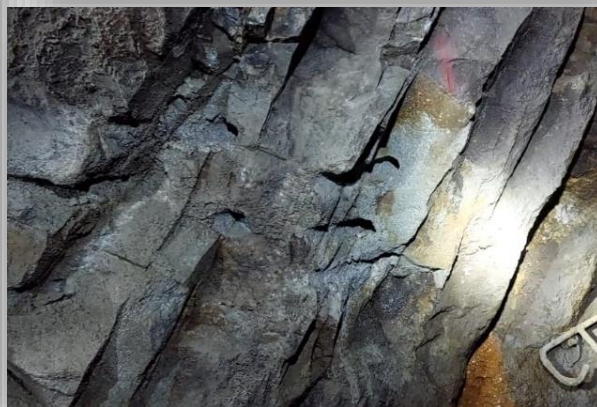
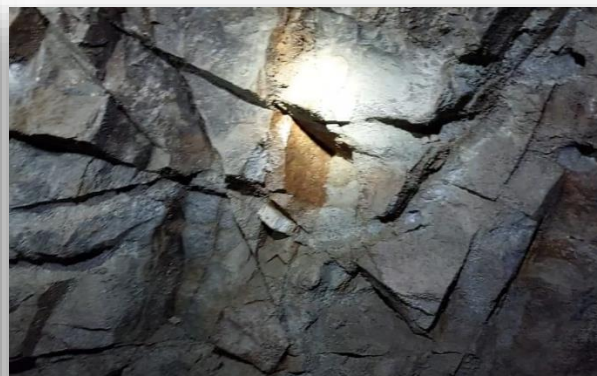
  

DISCONTINUIDADES	
DIR. BUZ/ BUZ	ESP. MEDIO
SET1	
SET2	
SET3	
SET4	
ESTRUCTURA MAYOR	
DIR. BUZ/ BUZ	POTENCIA
OBSERVACIONES	

EFECTO DE LA ORIENTACIÓN DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACIÓN DE TÚNELES			
Rumbo perpendicular al eje del túnel		Rumbo paralelo al eje del túnel	
Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 45-90°	Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 20-45°	Buzamiento 45-90°	Buzamiento 20-45°
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Regular
Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 45-90°		Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 20-45°	
Regular		Regular	
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO		RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla (Se indenta profundamente).		1.5 - 5.0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta).		5.0 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo.		25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo.		50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra.		100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo		> 250
Observaciones:			

**ANEXO N° 05: MAPEO GEOMECÁNICO DEL TÚNEL VICTORIA NV. 820  
(PROGRESIVA 3+250 A 3+300 TRAMO DE 50 METROS)**





ANEXO N° 06: ESTADO IN-SITU DEL MACIZO ROCOSO

