

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

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

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**“Evaluación geomecánica para el diseño de sostenimiento de las  
zonas de producción Norte Unidad Minera Acumulación Parcoy, La  
Libertad, 2023”**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. Carlos Ygnacio Marin Peña**

**Asesor:**

**Dr. Ing. Johnny Henry Ccatamayo Barrios**

**Tesis para optar el título profesional de:**

**INGENIERO DE MINAS**

**AYACUCHO - PERÚ**

**2023**

## **DEDICATORIA**

A mi familia, en especial a mis padres y seres queridos, les agradezco por su amor incondicional, paciencia y constante apoyo. Mi gratitud también se extiende a mis profesores y asesores, cuyo conocimiento y guía han sido invaluable.

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, mi más profundo agradecimiento a la Unidad Minera Acumulación Parcoy por brindarme la oportunidad de llevar a cabo este estudio. Su apoyo, recursos y conocimientos compartidos han sido imprescindibles para el desarrollo de esta investigación y para comprender la importancia de la evaluación geomecánica en el diseño de sostenimiento en las zonas de producción.

Agradezco especialmente a los expertos y profesionales de la Unidad Minera Acumulación Parcoy que han colaborado conmigo durante este proyecto. Su valiosa orientación, experiencia y disponibilidad han sido fundamentales para el éxito de esta investigación y para enriquecer mi formación en el campo de la geomecánica.

Mi gratitud también se extiende a mis profesores y asesores, cuyo conocimiento y guía han sido invaluable. Agradezco su dedicación y paciencia para brindarme las herramientas necesarias y orientarme en cada paso de este proceso de investigación.

A mis compañeros de estudio, quienes han compartido esta travesía académica conmigo, les agradezco su apoyo, colaboración y motivación constante. Su compañerismo y discusiones han sido una fuente de inspiración y enriquecimiento para este trabajo.

A mi familia, en especial a mis padres y seres queridos, les agradezco por su amor incondicional, paciencia y constante apoyo. Han sido mi pilar en los momentos difíciles y mi mayor motivo de orgullo en los logros alcanzados. Este trabajo es también un tributo a su esfuerzo y dedicación en mi formación académica.

Por último, agradezco a todas las personas que, directa o indirectamente, han contribuido a mi desarrollo académico y personal. Su aliento, consejos y palabras de ánimo han sido un estímulo constante para superar los desafíos y alcanzar este objetivo.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento. Esta tesis es el resultado de un esfuerzo colectivo y refleja el apoyo invaluable que recibí. Espero que este trabajo sea un aporte significativo en el campo de la geomecánica y un tributo a cada uno de ustedes.

## RESUMEN

Se llevó a cabo una investigación titulada "EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO DE LAS ZONAS DE PRODUCCIÓN NORTE UNIDAD MINERA ACUMULACIÓN PARCOY, LA LIBERTAD 2023" con el propósito de analizar cómo la evaluación geomecánica influye en el diseño de sostenimiento de las áreas de producción norte en la mina Parcoy. Se tomaron en consideración los problemas identificados en la veta Lourdes y se realizaron diversas actividades, tales como el mapeo geomecánico y el registro geotécnico. Para procesar los datos y determinar la calidad y el tipo de roca, se utilizó software especializado. El objetivo principal fue evitar o prever la caída de bloques de roca mediante la aplicación de un sostenimiento apropiado. Las evaluaciones geomecánicas se realizaron en tramos, empleando el método de mapeo por celda para delimitar las áreas de trabajo. Los resultados obtenidos concluyen que la evaluación geomecánica ejerce un impacto significativo en el diseño de sostenimiento de las zonas de producción norte en la unidad minera Parcoy.

**Palabras clave:** Sostenimiento – propiedades de la roca – factor de seguridad.

## **ABSTRAC**

A research titled "GEOMECHANICAL EVALUATION FOR THE SUSTAINABILITY DESIGN

OF THE NORTH PRODUCTION AREAS MINING UNIT ACCUMULATION PARCOY, LA

LIBERTAD 2023" was carried out with the purpose of analyzing how

The geomechanical evaluation influences the sustainment design of the northern production areas at the Parcoy mine. The problems identified in the Lourdes vein were taken into consideration and various activities were carried out, such as geomechanical mapping and geotechnical recording. To process the data and determine the quality and type of rock, specialized software was used. The main objective was to prevent or prevent the fall of rock blocks by applying appropriate support. The geomechanical evaluations were carried out in sections, using the cell mapping method to delimit the work areas. The results obtained conclude that the geomechanical evaluation has a significant impact on the support design of the northern production zones in the Parcoy mining unit.

Keywords: Sustainability – rock properties – safety factor.

## INTRODUCCIÓN

La evaluación geomecánica desempeña un papel fundamental en el diseño de sostenimiento de las zonas de producción norte en la unidad minera Acumulación Parcoy, ubicada en La Libertad. En el contexto de la industria minera, el diseño de un sostenimiento efectivo y seguro es de vital importancia para garantizar la estabilidad de las excavaciones subterráneas y prevenir accidentes que puedan poner en riesgo tanto a los trabajadores como a la productividad de la operación.

En este sentido, el presente trabajo de investigación titulado "Evaluación Geomecánica para el Diseño de Sostenimiento de las Zonas de Producción Norte en la Unidad Minera Acumulación Parcoy, La Libertad 2023" tiene como objetivo principal analizar cómo la evaluación geomecánica influye en la implementación de un sostenimiento adecuado en las áreas de producción norte de la mina. Se busca comprender la interacción entre las características geomecánicas de las formaciones rocosas, los esfuerzos inducidos por la actividad minera y la necesidad de adoptar medidas de precisión y soporte eficientes.

Para alcanzar este objetivo, se llevó a cabo una serie de actividades de mapeo geomecánico y registro geotécnico, utilizando herramientas y software especializados para el procesamiento de datos. Mediante estas técnicas, se obtuvo información relevante sobre la calidad y el tipo de roca presente en las zonas de producción norte, lo cual se identificó problemas potenciales, como la caída de bloques de rocas, y diseñar un sostenimiento acorde a las necesidades de la mano de obra minera.

El presente estudio busca contribuir al mejoramiento de las prácticas de diseño de sostenimiento en la unidad minera Acumulación Parcoy, aprovecha conocimientos y directrices

basadas en una evaluación geomecánica exhaustiva. Los resultados y conclusiones obtenidos en esta investigación serán de gran utilidad para optimizar la seguridad y eficiencia de operaciones las mineras, asegurando una explotación responsable de los recursos minerales en la región de La Libertad.



## Índice general

PORTADA .....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	v
ABSTRAC .....	vi
INTRODUCCIÓN.....	vii
Índice general .....	ix
Índice de cuadros o tablas .....	xi
Glosario .....	0
Capítulo I.....	1
Planteamiento del problema .....	1
1.1.        Descripción del problema .....	1
1.1.1. Realidad problemática .....	1
1.2.        Delimitación del problema.....	4
1.2.1. Espacial (geográfica). .....	4
1.2.2. Temporal.....	4
1.3.        Formulación del problema .....	5
1.3.1. Formulación del problema general .....	5
1.3.2. Formulación del problema específico.....	5
1.4.        Justificación e importancia.....	5
Justificación teórica .....	5
Justificación practica .....	6
Justificación metodológica .....	6
Importancia .....	7
1.5.        Limitaciones de la investigación.....	7
1.6.        Objetivo.....	7
1.6.1. Objetivos generales.....	7
1.6.2. Objetivos específicos .....	7
Capitulo II .....	8
Marco teórico .....	8

2.1.	Antecedentes del problema .....	8
2.2.	Bases teóricas .....	13
2.2.1.	Metodología de diseño y principios de la ingeniería de rocas.....	13
2.2.1.1.	Geomecánica .....	14
2.2.1.2.	Evaluación geomecánica del macizo rocoso.....	15
2.2.1.3.	Propiedades geomecánicas de las discontinuidades de la masa rocosa .....	16
2.2.2.	Clasificación Geomecánica .....	22
2.2.2.1.	Clasificación de Deere (RQD) .....	23
2.2.2.2.	Clasificación de Barton, Lien y Lunde. (Índice Q).....	24
2.2.2.2.1.1.	Clasificación de bieniawski sistema RMR.....	26
2.2.3.	Diseño de sostenimiento.....	28
2.2.4.	Análisis de Factor de Seguridad para el autosostenimiento .....	29
2.2.5.	Mapeo por celdas .....	30
2.2.6.	Sostenimiento .....	31
2.2.6.1.	Tipos de sostenimientos .....	31
2.2.6.1.1.	Sostenimiento activo .....	32
2.2.6.1.2.	Sostenimiento Pasivo .....	32
2.2.6.2.	Tiempo de autosostenimiento .....	34
2.3.	Definición de términos básicos .....	35
Capitulo III .....		36
Metodología.....		36
3.1.	Enfoque .....	37
3.2.	Alcance .....	37
3.3.	Diseño de la investigación .....	38
3.4.	Población y muestra .....	38
3.5.	Hipótesis .....	39
3.5.1.	Hipótesis general .....	39
3.5.2.	Hipótesis específica .....	39
3.6.	Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional .....	40
3.7.	Técnicas e instrumentos .....	41
3.8.	Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información. ....	41
3.9.	Desarrollo de la investigación.....	42
3.9.1.	La clasificación del macizo rocoso.....	42

Capítulo IV.....	45
Resultados y Discusión .....	45
4.1.    Presentación de resultados .....	45
4.1.1. Resultados descriptivos de la variable Evaluación Geomecánica .....	46
4.1.1.1.    Características de la Masa Rocosa.....	46
4.1.1.2.    Características Estructurales .....	50
4.1.2. Clasificación geomecánica .....	56
4.1.3. Resistencia de la Roca .....	59
4.2.    Análisis de estabilidad .....	61
4.2.1. Estabilidad Estructuralmente Controlada .....	61
4.2.2. Estabilidad Controlada por Esfuerzos .....	65
4.3.    Discusión de trabajos preliminares .....	70
4.4.    Prueba de hipótesis .....	72
CONCLUSIONES.....	75
RECOMENDACIONES .....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78
ANEXOS.....	80
Anexo 1: Matriz de consistencia .....	80
Anexo 2: valoración y clasificación geo mecánica de RMR de bieniewski.....	82
Anexo 3: matriz de caracterización geo mecánica y geológico del macizo rocoso .....	83
Anexo 4: Tipos de sostenimiento .....	83
Anexo 5: Mapeo geomecanico del macizo rocoso .....	88

### Índice de cuadros o tablas

<b>Tabla 1:</b> Índice de calidad RQD .....	24
<b>Tabla 2:</b> Parámetros de clasificación RMR .....	27
<b>Tabla 3:</b> Sistema de Discontinuidades Estructuras menores (sistema de diaclasas).....	46
<b>Tabla 4:</b> Sistema de Discontinuidades Estructuras Mayores .....	46
<b>Tabla 5:</b> Rangos de Clasificación RMR y colores establecidos en PARCOY .....	55
<b>Tabla 6:</b> Resumen de Calidad RMR de la masa rocosa – Unidad Minera PARCOY .....	56
<b>Tabla 7:</b> Resultados de ensayos en laboratorio de mecánica de rocas.....	57
<b>Tabla 8:</b> Propiedades de la Resistencia de la masa rocosa .....	59

<b>Tabla 9:</b> Prueba de normalidad.....	71
<b>Tabla 10:</b> Prueba T para comparar una muestra a un valor.....	72

## **Glosario**

RMR : Rock Mass Rating

GSI : Índice de Resistencia Geológica

ISRM : Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas

Osinergmin : Organismo supervisor de la inversión en energía y minería

DIP : Buzamiento

DIP DIRECTION : Dirección del Buzamiento

NV : Nivel de excavación

DS : Decreto Supremo EM : Energía y Minas

Nº : Número

TN : Tonelada

Mpa : Mega Pascal

Cx : Crucero

## **Capítulo I**

### **Planteamiento del problema**

#### **1.1. Descripción del problema**

##### **1.1.1. Realidad problemática**

El sostenimiento en la industria minera, y en general en otras ramas de la ingeniería, ha experimentado avances significativos y se ha convertido en una herramienta tecnológica importante. Esta investigación se centra en la aplicación del sostenimiento en la minería subterránea. Sin embargo, para que el sostenimiento sea efectivo en esta área, es necesario que las actividades geomecánicas se realicen en un entorno organizacional que fomente la integración de conceptos, información y análisis por parte de todo el personal involucrado en la operación minera.

La industria minera en el Perú se enfrenta a una serie de desafíos, muchos de los cuales están relacionados con la falta o la insuficiencia de estudios geomecánicos en la explotación de los tajos. Esta carencia resulta en un modelo inadecuado del comportamiento del macizo rocoso. En los estudios de campo, no se considera de manera adecuada la deformación del macizo debido a factores como afectaciones estructurales, la estabilidad de las obras subterráneas, los impactos

dinámicos en las minas subterráneas, las afectaciones en los terrenos y las obras de superficie debido a las actividades subterráneas, así como los problemas de diseño que pueden surgir.

Estos problemas se evidencian en varias minas, donde se experimentan interrupciones en los procesos de explotación de los tajos y una disminución en la recuperación del mineral debido a la dilución causada por desprendimientos de material tanto en los hastiales como en el techo. En este contexto, es crucial actualizar y mejorar el enfoque geomecánico en las minas, con el objetivo de abordar estos desafíos de manera más eficiente y efectiva.

La unidad de producción Acumulación Parcoy N° 01, perteneciente al Consorcio Minero Horizonte SA, opera utilizando el método de corte y relleno ascendente en una mina subterránea. Actualmente, se enfrenta al desafío de contar con información desactualizada en cuanto al aspecto geológico estructural, lo cual dificulta una caracterización adecuada del macizo rocoso. Las labores mineras se desarrollan principalmente en una formación de roca granodiorita altamente fracturada, parte del batolito de Pataz, y se ven afectadas por la presencia de siete sistemas de fallas que definen el comportamiento estructural de la mina.

Con el fin de abordar y mejorar esta situación, se sugiere realizar una evaluación geomecánica exhaustiva que incluya la descripción de las propiedades ingenieriles-geológicas del macizo rocoso. Para esto, se propone utilizar clasificaciones internacionales ampliamente reconocidas en la actualidad, como la clasificación de Bieniawski (RMR), el índice Q de Barton y el GSI. Estas clasificaciones proporcionan información valiosa sobre la calidad y la estabilidad del macizo rocoso.

Además, se recomienda complementar esta evaluación mediante técnicas de Over Coring para analizar los esfuerzos y las deformaciones en la mina. Estas técnicas permitirán obtener datos

precisos sobre la respuesta del macizo rocoso bajo diferentes condiciones de carga y ayudar a comprender mejor su comportamiento.

Al llevar a cabo esta evaluación geomecánica detallada y utilizar diversas herramientas y técnicas, se podrá contar con información sólida y precisa para tomar decisiones informadas en



relación con el diseño y la estabilidad de las obras mineras. Esto contribuirá a mejorar la eficiencia operativa, prevenir interrupciones y maximizar la recuperación del mineral en las minas.

Además, se realizará un análisis de los datos obtenidos de las estaciones de convergencia, las pruebas de Pull test de pernos de anclaje, los ensayos de laboratorio de shotcrete y las pruebas de rocas. También se emplearán modelamientos numéricos utilizando software especializado en zonas específicas de la mina, con el fin de definir con mayor precisión las características del macizo rocoso y determinar el tipo de sostenimiento adecuado.

Se ha observado que la calidad del macizo rocoso en la mina es variable. Según el logueo y mapeo geomecánico realizado, se estima que más del 60% de la roca presenta una calidad deficiente, mientras que las rocas de mejor desempeño se encuentran alejadas del halo mineralógico.

Con esta evaluación geomecánica más completa y actualizada, se espera mejorar la comprensión del comportamiento del macizo rocoso en la mina y tomar decisiones más adecuadas en cuanto al tipo de sostenimiento a utilizar.

## **1.2. Delimitación del problema**

### **1.2.1. Espacial (geográfica).**

El desarrollo de esta investigación se llevará a cabo en la mina Parcoy, que pertenece a Consorcio Minero Horizonte, en la provincia de la Libertad

### **1.2.2. Temporal.**

Los datos que serán considerados para la realización del trabajo de investigación propuesto serán enmarcados dentro del periodo 2023 considerando únicamente la temática de trabajo

asociadas con la investigación geomecánica del minado subterráneo para mejorar los estándares de sostenimiento de la unidad minera Parcoy.

El alcance temporal de esta investigación abarca el año 2023. Durante este período, se llevarán a cabo estudios detallados de evaluación geomecánica en las zonas de producción norte de la Unidad Minera Acumulación Parcoy. Se recolectarán datos, se realizarán análisis y se diseñarán estrategias de sostenimiento basadas en los resultados obtenidos. El enfoque se centra en el presente año, considerando las condiciones y circunstancias actuales de la operación minera.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Formulación del problema general**

¿En qué medida la evaluación geomecánica influye en el diseño de sostenimiento de las zonas de producción norte y sur, unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023?

#### **1.3.2. Formulación del problema específico**

- ❖ ¿Cuáles son las características geomecánicas del macizo rocoso de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023?
- ❖ ¿Cuál es el tipo de sostenimiento a diseñar de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023?
- ❖ ¿Cual es el factor de seguridad óptimo para garantizar el sostenimiento de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023?

### **1.4. Justificación e importancia**

#### **Justificación teórica**

La evaluación geomecánica es un campo fundamental en la ingeniería geotécnica y minera, que permite comprender y predecir el comportamiento de las rocas y terrenos en un entorno minero. La aplicación de técnicas y metodologías geomecánicas en el diseño de

sostenimiento es esencial para garantizar la seguridad de las operaciones mineras y prevenir riesgos geotécnicos como desprendimientos, hundimientos y fallas.

Este estudio tiene una sólida justificación teórica, ya que se basa en los principios y conocimientos de la geomecánica para evaluar las condiciones geológicas y geotécnicas de las zonas de producción norte de la Unidad Minera Acumulación Parcoy. La comprensión de los comportamientos mecánicos de las rocas y su interacción con las estructuras de sostenimiento es esencial para diseñar estrategias de sostenimiento eficientes y seguras.

### **Justificación practica**

La Unidad Minera Acumulación Parcoy es una operación minera de importancia estratégica en la región de La Libertad, Perú. La evaluación geomecánica para el diseño de sostenimiento de las zonas de producción norte tiene una alta relevancia práctica, ya que busca mejorar la eficiencia y seguridad de las operaciones mineras en esta área específica.

El diseño de un sostenimiento adecuado basado en la evaluación geomecánica permitirá prevenir accidentes, minimizar los riesgos de colapso y maximizar la productividad en las zonas de producción norte. Al implementar medidas de sostenimiento adecuadas, se garantiza la estabilidad de las excavaciones mineras y se reducen los costos asociados a reparaciones y mantenimiento posteriores.

### **Justificación metodológica**

La metodología utilizada en este estudio se basa en la recopilación de datos geomecánicos, el análisis de la información geológica y geotécnica disponible, así como en la aplicación de técnicas de modelado y simulación numérica. Se emplearán herramientas y software especializado para llevar a cabo la evaluación geomecánica y el diseño de sostenimiento.

La metodología permitirá obtener resultados confiables y precisos para la toma de decisiones en el diseño de sostenimiento. Se considerarán variables como la resistencia de las rocas, la deformabilidad del terreno, las condiciones de esfuerzos y la interacción entre las estructuras de sostenimiento y el macizo rocoso. El enfoque metodológico garantizará la calidad y la aplicabilidad de los resultados obtenidos.

### **Importancia**

La importancia de la investigación radica en su capacidad para generar conocimiento, fomentar la innovación, resolver problemas, mejorar la calidad de vida y contribuir al desarrollo académico y profesional. A través de la investigación, se impulsan avances en diferentes áreas y se promueve el progreso de la sociedad en su conjunto.

### **1.5. Limitaciones de la investigación**

Esta investigación se limita a establecer los efectos asociadas con el diseño de sostenimiento en labores mineras de la unidad minera Parcoy.

### **1.6. Objetivo**

#### **1.6.1. Objetivos generales**

Determinar en qué medida la evaluación geomecánica influye en el diseño de sostenimiento de las zonas de producción norte y sur, unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023.

#### **1.6.2. Objetivos específicos**

- ✦ Conocer las características geomecánicas del macizo rocoso de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023.

- ✦ Determinar el tipo de sostenimiento a diseñar de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023.
- ✦ Evaluar el factor de seguridad óptimo para garantizar el sostenimiento de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023.

## Capítulo II

### Marco teórico

#### 2.1. Antecedentes del problema

Cayao, (2021). En la tesis *“Evaluación geomecánica de los niveles 1665 y 1720 de la mina Esperanza de minera Croacia E.I.R.L”*. El estudio se llevó a cabo en la galería GAL 455E del nivel 1720 y la galería GAL 486E del nivel 1665 de la veta Miriam, ubicadas en la unidad minera Esperanza, en el distrito de Ático, provincia de Caravali, departamento de Arequipa, Perú. Estas galerías tienen una longitud total de 220,0 m. El objetivo principal de la investigación fue determinar la inestabilidad geomecánica presente en ambas galerías, para lo cual se producirán 6 estaciones geomecánicas. En primer lugar, se realizó una evaluación geológica mediante el mapeo geológico subterráneo. Este mapeo permitió obtener datos como el rumbo y buzamiento de las estructuras geológicas, lo que ayudó a comprender el comportamiento de las familias de diaclasas y el tipo de litología presente en los túneles (complejo Bella Unión). Además, se llevó a cabo una evaluación geomecánica utilizando una matriz para recopilar datos sobre el macizo rocoso. Con estos datos, se clasificó geomecánicamente el macizo en cada estación, determinando que era una roca de tipo IV, lo que indica una calidad deficiente. Para analizar la formación de cuñas y su comportamiento en relación con la dirección del túnel en las estaciones geomecánicas, se produjo el software Dips V6 y Unwedge V3. Tras realizar todos estos estudios, se llegó a la conclusión de que las galerías de la veta Miriam presentan inestabilidad geomecánica, lo que indica la necesidad

de implementar medidas adecuadas de sostenimiento y alcanzar para garantizar la seguridad en las minas.

Fernández et al. (2017). En el artículo titulado "*Relación entre el Índice RMR de Bieniawski y el Índice Q de Barton en formaciones sedimentarias de grano fino*", el objetivo principal es establecer una conexión entre el Índice RMR y el Índice Q de Barton para formaciones sedimentarias de grano fino en la zona de Bilbao, España. Esto se debe a que, aunque existen numerosas relaciones entre ambos índices, hay una alta dispersión de datos. Sin embargo, se ha observado que las correlaciones específicas para litologías particulares son más precisas. En este estudio se analizan los parámetros del sistema de RMR en diferentes versiones, así como las principales correlaciones propuestas por 11 autores que han utilizado datos de distintas fuentes. Los resultados muestran una gran dispersión debido a las diferencias en los parámetros utilizados por los dos sistemas. Por lo tanto, se sugiere que se deben establecer correlaciones específicas para litologías similares. La propuesta presentada en este artículo puede ser aplicada en futuros proyectos que se lleven a cabo en la misma litología del área metropolitana de Bilbao, especialmente en aquellos que involucren la construcción de infraestructuras subterráneas. Al relacionar litologías similares, se espera obtener resultados más precisos y confiables para el diseño y la planificación de dichos proyectos.

Cisterna (2018). En su trabajo de investigación geológica presentado a la Universidad de Concepción - Chile, titulado "*Caracterización geomecánica en faenas subterráneas de pequeña minería: caso de estudio mina Los Pequeños, Región de Coquimbo - Chile*", el objetivo principal fue realizar una caracterización geomecánica del macizo rocoso en un yacimiento de pequeña minería en la Región de Coquimbo, específicamente de tipo vetas magnetita-apatito, utilizando el Índice Q de Barton (2000). Además, se propusieron modificaciones en el uso aplicando a esta zona, se propusieron un mapa de zonificación geomecánica y se propusieron medidas correctivas. Las

conclusiones obtenidas fueron las siguientes: la determinación de la calidad del macizo rocoso en una faena subterránea ha sido considerada una actividad exclusiva de profesionales, y los conocimientos básicos no llegan a aquellos que no tienen los recursos para contratar este tipo de servicios. Aunque es un área que no se puede tomar a la ligera debido a sus implicaciones en la seguridad de la explotación y la vida de los trabajadores, es importante contar con métodos que pueden aplicar de manera sencilla, tratando de reducir al máximo la subjetividad que suelen tener la mayoría de los métodos simplificados, como el conocido GSI (Geological Strength Index). Esto permite que los productores mineros puedan monitorear el estado de la roca y prevenir accidentes relacionados con la caída de rocas, derrumbes y "planchoneos", que son las principales causas de accidentes y muertes en la pequeña minería. Por lo tanto, resulta lógico poder aplicar la metodología utilizada por Barton para determinar la calidad del macizo rocoso de manera simple y sin costosos estudios o herramientas. Aunque la subjetividad no puede eliminarse por completo, ya que se basa en descripciones visuales, este estudio propone simplificar aún más el método de Barton. En lugar de las siete clasificaciones de roca usadas por Barton, se redujo a tres (buena, mala y regular), lo cual es suficiente para que los mineros tomen las medidas necesarias cuando sea necesario. Además, mientras Barton aplica los resultados en un gráfico que proporciona recomendaciones para el sostenimiento mediante pernos, hormigón proyectado, entre otros, este estudio simplificó la recomendación utilizando enmaderación, el sistema de fortificación común más en la pequeña minería, que permite sostener la roca con costes menores. Es importante destacar que la madera tiene una resistencia a la compresión y tensión menor que el acero y el hormigón, lo que implica que su vida útil será más corta y será reemplazada periódicamente, dependiendo del tipo de roca y del sistema de fortificación implementado. Además, existen compuestos químicos como  $\text{FNa}$ ,  $\text{Cl}_2\text{Zn}$  y  $\text{Na}_2\text{SF}_6$  que pueden utilizarse para prolongar la vida útil de la madera.

Calderón (2018) . En la tesis titulada *"Caracterización geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento en la galería Gavilán de Oro de la UEA Ana María"*, se llevó a cabo una caracterización geomecánica con el objetivo de determinar el tipo de sostenimiento adecuado para la galería Gavilán de Oro de la UEA Ana María. La metodología de investigación utilizada fue de tipo investigación de campo, la cual consiste en recolectar datos directamente de los sujetos investigados o de la realidad en la que ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variables. En otras palabras, el investigador obtiene información sin alterar las condiciones existentes, lo que le confiere un carácter no experimental. Los resultados obtenidos indicaron que, en general, el techo y el piso de los tajeos coinciden con los estratos geológicos, y los métodos de minado utilizados implican el ingreso del personal dentro de la excavación, por lo que es fundamental asegurar la estabilidad de dicha excavación, especialmente del techo. Los problemas que pueden surgir en estos casos están relacionados con la separación o desprendimiento de los bloques tabulares del techo inmediato y su carga y deflexión (pandeo) hacia la excavación debido a la fuerza de la gravedad. Por lo tanto, es crucial implementar un sistema de sostenimiento adecuado que garantice la estabilidad de la excavación y prevenga los posibles problemas mencionados. Esta investigación proporciona información valiosa para determinar qué tipo de sostenimiento se requiere en la galería Gavilán de Oro de la UEA Ana María, lo que contribuye a mejorar la seguridad y eficiencia de las operaciones mineras en dicha área.

Nina (2017). Realizo un estudio de investigación presentado en la Universidad Nacional del Altiplano titulado *"Evaluación geomecánica y estabilidad de labores en el proyecto San Gabriel CIA de Minas Buenaventura"*. El objetivo de este estudio fue evaluar las características geomecánicas y la estabilidad de las labores en el proyecto San Gabriel de Minas Buenaventura. A partir de este análisis, se adquirieron las siguientes conclusiones: Se desarrolló una metodología que combinó técnicas de campo, laboratorio y análisis de gabinete para evaluar la geomecánica y



la estabilidad de las labores. Los resultados obtenidos fueron óptimos y proporcionaron información importante para el proceso constructivo de las labores de exploración en el Proyecto San Gabriel. Se realizaron ensayos de laboratorio y mapeo de campo en cuatro estaciones geomecánicas utilizando el método de celdas o ventanas para evaluar las características geomecánicas del sitio. Se identificaron cinco familias de discontinuidades relevantes, con un valor medio a bueno de RQD (Rock Quality Designation), espacios muy juntos a extremadamente juntos, persistencia media a alta, superficies rugosas, apertura angosta, relleno típico de óxido y condiciones de humedad. La clasificación geomecánica revela que el Proyecto San Gabriel presenta un tipo de roca de calidad regular a buena. Se llevó a cabo la evaluación de la estabilidad utilizando métodos empíricos, lo que determinó determinar las condiciones de estabilidad, el tiempo de autosostenimiento y el tipo de sostenimiento requerido. Se encontró que las excavaciones con una sección de 3.5 x 3.5 metros, como las Cortadas de exploración, en su mayoría no requerían sostenimiento, aunque en caso de encontrar terreno de mala calidad, se recomendaría evaluar la necesidad de implementar sostenimiento. Por otro lado, las excavaciones con una sección de 4,5 x 4,5 metros, como la Rampa San Gabriel, requerían un sostenimiento permanente, el cual podría consistir en la instalación sistemática de pernos helicoidales. Además, las excavaciones con una sección de 7,0 x 7,0 metros destinadas a ser Cámaras de perforación diamantina requerían un sostenimiento más robusto, como el uso de Shotcrete combinado con una distribución sistemática de pernos. Finalmente, se llevaron a cabo modelamientos numéricos utilizando el método de esfuerzo-deformación para validar la estabilidad de las excavaciones y confirmar las recomendaciones de sostenimiento propuestas. Estos resultados son de gran relevancia para garantizar la seguridad y estabilidad de las labores en el proyecto San Gabriel de Minas Buenaventura, y pueden servir como guía para futuros proyectos similares que requieren una evaluación geomecánica y de estabilidad adecuada.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Metodología de diseño y principios de la ingeniería de rocas**

El diseño de túneles no debe basarse exclusivamente en una sola herramienta, como las clasificaciones geomecánicas, los modelos numéricos o los datos de la instrumentación. Cada una de estas aproximaciones tiene sus limitaciones y no proporciona una imagen completa por sí sola.

Las clasificaciones geomecánicas son útiles para comprender las características generales del macizo rocoso y su comportamiento esperado. Sin embargo, no ofrecemos detalles precisos sobre las condiciones específicas en un lugar determinado.

Los modelos numéricos permiten simular el comportamiento del macizo rocoso y evaluar el rendimiento del túnel ante diferentes condiciones. Sin embargo, su precisión está sujeta a la calidad y cantidad de datos disponibles, así como a la elección adecuada de los parámetros de entrada.

La instrumentación en el terreno proporciona datos en tiempo real sobre el comportamiento del macizo rocoso durante la construcción y la operación del túnel. Estos datos son valiosos para validar y ajustar los modelos y las clasificaciones, así como para tomar decisiones en tiempo real para garantizar la seguridad y la estabilidad del túnel.

Por lo tanto, en el diseño de túneles, es fundamental combinar estas tres aproximaciones de manera integrada. Las clasificaciones geomecánicas pueden servir como punto de partida para entender el comportamiento general del macizo rocoso, los modelos numéricos pueden proporcionar una evaluación detallada y permitir la exploración de diferentes escenarios, y los datos de la instrumentación en el terreno son necesarios para validar y mejorar los modelos y clasificaciones.

Al integrar estas tres herramientas, se puede lograr un diseño de túneles más completo, preciso y seguro. Es importante evitar el error de confiar exclusivamente en una de ellas y reconocer que todas son complementarias y necesarias para un diseño de ingeniería sólida.

#### **2.2.1.1. Geomecánica**

La geomecánica es una disciplina que se centra en el estudio del comportamiento mecánico de los materiales geológicos, incluyendo tanto las rocas como los suelos. Es una fusión de ideas y conocimientos que proporciona una comprensión más profunda de las características y la estructura de la roca. (Guzmán, 2017).

En el contexto de los túneles, la geomecánica busca analizar y comprender cómo los materiales geológicos se comportan frente a las cargas aplicadas, especialmente en el entorno de un túnel.

En el ámbito minero, la geomecánica desempeña un papel crucial, ya que incorpora un enfoque científico en el diseño de explotaciones mineras. A diferencia de la ingeniería civil, donde los factores económicos suelen ser el criterio principal, en la geomecánica minera se busca encontrar un equilibrio entre la seguridad y la economía. Esto implica considerar la estabilidad de las excavaciones mineras y garantizar un diseño que maximice la seguridad de los trabajadores y los recursos, al tiempo que optimice los aspectos económicos. (Guzmán, 2017).

La geomecánica es una ciencia que se ocupa de investigar las propiedades mecánicas de los materiales geológicos, intensa en los conceptos y teorías de la mecánica de rocas y la mecánica de suelos. Su objetivo es comprender y predecir el comportamiento de estas formaciones en relación

con las fuerzas y los esfuerzos presentes, necesitará así fundamentos para el diseño y la ejecución seguros y eficientes de proyectos geotécnicos. (Ramírez, 2004 pp. 31).

La Geomecánica es una disciplina que se basa en la mecánica clásica y se utiliza para estudiar el comportamiento de los materiales geológicos bajo distintas circunstancias de esfuerzo. Su enfoque abarca escalas geométricas amplias, como la tectónica global, y su objetivo es comprender y predecir cómo los materiales geológicos se deforman y responden a las fuerzas aplicadas, proporcionando así fundamentos para la ingeniería geotécnica y la gestión de riesgos geológicos. (López, Pérez & Reyes, 2007).

#### **2.2.1.2. Evaluación geomecánica del macizo rocoso.**

##### **Características de la roca.**

La roca, en comparación con otros materiales utilizados en ingeniería, presenta características distintivas que deben tenerse en cuenta al realizar evaluaciones y trabajos en el ámbito minero. Estas características se derivan de su estructura discontinua, que está compuesta por fracturas y discontinuidades de diferentes tipos. Además, debido a los procesos geológicos a los que ha estado expuesto a lo largo del tiempo, la roca puede presentar heterogeneidades y propiedades variables.

Es importante diferenciar dos conceptos clave: el "material rocoso" o "roca intacta" y la "masa rocosa" o "macizo rocoso". El material rocoso se refiere a la roca en su estado original, sin alteraciones ni perturbaciones significativas. Por otro lado, la masa roca se refiere a la roca en su estado natural, considerando las discontinuidades, heterogeneidades y variaciones en las propiedades que pueden estar presentes en el macizo rocoso.

Estas discontinuidades y necesidades en el macizo rocoso tienen implicaciones importantes en la estabilidad de las excavaciones mineras y otros trabajos subterráneos. Es necesario evaluar y monitorear de manera continua estas características durante la operación minera, ya que pueden influir en la resistencia y comportamiento de la roca, así como en la seguridad de los trabajadores y las estructuras.

Para comprender adecuadamente la respuesta de la roca en un entorno minero, es esencial llevar a cabo estudios geomecánicos que consideren las características específicas del macizo rocoso, incluyendo la identificación y clasificación de las discontinuidades, la determinación de sus propiedades geotécnicas y la evaluación de la estabilidad de las excavaciones en función de estas características. (SNMPE, 2023).

### **Discontinuidades de la masa rocosa.**

Según (SNMPE, 2023). Los principales tipos de discontinuidades presentes en la masa rocosa son:

- Planos de estratificación.
- Falla.
- Diaclasas.
- Planos de foliación o esquistosidad.
- Contactos litológicos.

#### **2.2.1.3. Propiedades geomecánicas de las discontinuidades de la masa rocosa**

Se proporcionan detalles sobre las propiedades geomecánicas de las fracturas que son más relevantes en el comportamiento de la roca. Se describen los diferentes tipos de discontinuidades y se especifican los factores físicos y geométricos que influyen en las propiedades y el

comportamiento mecánico de las mismas. Estas discontinuidades poseen propiedades como rugosidad, persistencia, apertura y relleno, las cuales desempeñan un papel crucial en el comportamiento mecánico tanto de la roca como de las propias discontinuidades. (SNMPE, 2023).

### **Propiedades de las discontinuidades.**

Según (SNMPE, 2023). Cada una de las discontinuidades exhibe propiedades geomecánicas significativas que las definen y afectan el comportamiento de la masa rocosa. Estas características incluyen principalmente:

#### **a) Orientación.**

Es la posición de una discontinuidad en el espacio se describe mediante su rumbo y buzamiento. Cuando un conjunto de discontinuidades muestra una orientación similar y es aproximadamente paralelo, se considera que estas forman un "sistema" o una "familia" de discontinuidades.

#### **b) Espaciado.**

Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes se conoce como espaciado. Este parámetro determina el tamaño de los bloques de roca intacta. Si el espaciado es menor, los bloques serán más pequeños, mientras que, si el espaciado es mayor, los bloques serán más grandes.

#### **c) Persistencia.**

Es la extensión en área o tamaño de una discontinuidad se conoce como persistencia. La persistencia de una discontinuidad puede influir en la estabilidad de la masa rocosa. Cuando la persistencia es menor, la masa rocosa tiende a ser más estable,

mientras que una mayor persistencia puede resultar en una menor estabilidad de la masa rocosa.

**d) Rugosidad.**

La rugosidad se refiere a la aspereza o irregularidad de la superficie de una discontinuidad en el macizo rocoso. La rugosidad de una discontinuidad juega un papel importante en el comportamiento mecánico de la masa rocosa. Cuando una discontinuidad presenta una rugosidad menor, es decir, una superficie más lisa, la masa rocosa tiende a ser menos competente en términos de resistencia y estabilidad. Por otro lado, cuando una discontinuidad presenta una rugosidad mayor, con una superficie más áspera e irregular, la masa rocosa tiende a ser más competente, es decir, más resistente y estable. La rugosidad de las discontinuidades es un factor importante a considerar en la evaluación geomecánica, ya que puede influir en la propagación de grietas, la resistencia al deslizamiento y otros fenómenos relacionados con la estabilidad del macizo rocoso.

**e) Apertura.**

La apertura de una discontinuidad se refiere a la separación entre las paredes rocosas que la componen. Indica el grado de abertura o la distancia entre las superficies de la discontinuidad. La apertura es un parámetro importante en la caracterización geomecánica de las discontinuidades, ya que influye en el comportamiento mecánico de la masa rocosa. En general, cuanto menor sea la apertura de una discontinuidad, mejores serán las condiciones de la masa rocosa en términos de estabilidad y resistencia. Esto se debe a que una menor apertura indica una mayor cohesión entre las paredes rocosas y una menor posibilidad de infiltración de agua u otros materiales. Por otro lado, a medida que

la apertura de una discontinuidad aumenta, las condiciones de la masa rocosa se vuelven más desfavorables, ya que puede haber una reducción en la resistencia estructural, mayor posibilidad de deformaciones y mayor permeabilidad a los fluidos. La apertura de las discontinuidades es un factor crucial a considerar en el análisis geomecánico, ya que puede afectar la estabilidad de las excavaciones subterráneas, el diseño de sistemas de sostenimiento y otros aspectos relacionados con la ingeniería de rocas.

**f) Relleno.**

El relleno se refiere a los materiales que se encuentran dentro de una discontinuidad en el macizo rocoso. Puede consistir en diferentes tipos de materiales, como fragmentos de roca, suelo, arcilla, óxidos, minerales, entre otros. La presencia de relleno en una discontinuidad es un factor importante a considerar, ya que puede influir significativamente en el comportamiento mecánico de la masa rocosa.

El relleno puede afectar la resistencia, la rigidez y la capacidad de deformación de la discontinuidad. Por ejemplo, si el relleno es competente y se adhiere bien a las paredes rocosas, puede proporcionar cierto grado de estabilidad y resistencia adicional. Sin embargo, si el relleno está suelto, débil o presenta desprendimientos, puede reducir la resistencia de la discontinuidad y aumentar el riesgo de deslizamientos o colapsos.

Es importante reconocer y describir las propiedades y el estado del relleno en las discontinuidades durante los estudios geomecánicos. Esto implica evaluar su cohesión, densidad, permeabilidad, resistencia al corte y otras características relevantes. Estos datos son fundamentales para comprender y predecir el comportamiento de las



discontinuidades y, en consecuencia, para diseñar medidas de sostenimiento y estabilidad adecuadas en proyectos de ingeniería, como túneles, excavaciones mineras o construcciones subterráneas en general. (Cerdas, 2013).

### **Condiciones de la masa rocosa**

cuando la roca intacta es compacta y dura, es decir, presenta una alta resistencia y cohesión, las discontinuidades que se encuentran en ella tienden a tener propiedades favorables. Esto significa que las fracturas o discontinuidades en la roca son menos extendidas, tienen una apertura reducida y una rugosidad moderada. Además, es probable que estas discontinuidades estén menos llenas de relleno.

En este escenario, la matriz rocosa en sí misma es resistente y presenta condiciones favorables para la excavación. La presencia de discontinuidades con características favorables permite una mayor estabilidad de las excavaciones, ya que la roca intacta proporciona un soporte sólido y cohesivo. Esto facilita las labores de minería y construcción subterránea, ya que se requiere menos sostenimiento adicional y se reduce los riesgos de desprendimientos o colapsos.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que estas características pueden variar en diferentes áreas o sectores de la masa rocosa. Por lo tanto, es fundamental realizar estudios geomecánicos detallados y evaluaciones específicas para cada proyecto con el fin de comprender las propiedades y el comportamiento del material rocoso en la zona de excavación. Esto permitirá tomar las medidas adecuadas de diseño y sostenimiento para garantizar la seguridad y estabilidad de las obras subterráneas.

- Cuando la roca intacta es débil las discontinuidades presentaran características desventajosas, la matriz rocosa será frágil, y presentará condiciones desfavorables para la excavación.
- Se tendrá situaciones intermedias de las antes mencionadas donde la matriz presentará condiciones regulares para la excavación.

#### **A. Criterios según la resistencia de la roca**

Clasificación de la roca según su resistencia a fracturar o indentarse:

Roca muy blanda: La roca se puede cortar con facilidad usando la uña o con golpes muy ligeros de la barretilla. Es altamente friable y poco resistente.

Roca blanda: La roca puede ser cortada con la uña o con golpes ligeros de la barretilla. Tiene una resistencia baja y se fractura con relativa facilidad.

Roca de dureza media: La roca requiere golpes moderados de la barretilla para ser fracturada. Es más resistente que las rocas blandas, pero aún puede ser trabajada con herramientas manuales.

Roca dura: La roca exige golpes fuertes de la barretilla para ser fracturada. Es resistente y requiere de herramientas más potentes para su trabajo.

Roca muy dura: La roca es extremadamente resistente y difícil de fracturar con herramientas manuales. Se necesitan herramientas mecánicas o explosivos para su extracción.

Esta clasificación es una guía práctica que permite tener una idea inicial de la resistencia de la roca antes de realizar estudios geomecánicos más detallados. Es importante tener en cuenta que esta clasificación se basa en la observación y experiencia

en campo, y puede variar dependiendo de la ubicación y condiciones específicas de cada sitio. En proyectos de ingeniería y minería, se utilizan pruebas y ensayos de laboratorio.

### **B. Criterios según las características del fracturamiento**

“Para clasificar la matriz rocosa, es necesario considerar las características del grado de presencia de las discontinuidades. Esta medición se realiza a lo largo de un metro lineal para determinar la cantidad de fracturas presentes en la masa rocosa. Para llevar a cabo esta clasificación, se puede seguir una guía práctica que proporciona directrices y criterios específicos para evaluar y cuantificar las discontinuidades en la roca”.

(SNMPE, 2004).

➤ Masiva o levemente fracturada:

2 a 6 fracturas / metro lineal

➤ Moderadamente fracturada

6 a 12 fracturas / metro lineal

➤ Muy fracturada

12 a 20 fracturas / metro lineal

➤ Intensamente fractura

Más de 20 fracturas / metro lineal

➤ Triturada o brechada:

Disgregada, zona de falla y fragmentada

### **2.2.2. Clasificación Geomecánica.**

Pérez (2008). La clasificación geomecánica es fundamental para evaluar la calidad del macizo rocoso en operaciones mineras tanto subterráneas como superficiales, dado que estos entornos presentan estructuras complejas. Para llevar a cabo estos trabajos mineros de manera segura y efectiva, es crucial contar con un conocimiento exhaustivo del macizo rocoso.

En la actualidad, existen numerosas clasificaciones geomecánicas disponibles, tales como Protodyakonov, Bieniawski, Laubscher and Taylor, Barton, entre otras. Estas clasificaciones similares nos permiten determinar la calidad del macizo rocoso, dividiéndolo en dominios estructurales que comparten características, como litología y espacio de juntas, entre otros factores relevantes. Los límites de estos dominios estructurales pueden coincidir con rasgos geológicos, como fallas o diques.

El objetivo principal de estas clasificaciones geomecánicas es obtener un entendimiento detallado del macizo rocoso, lo cual facilita la planificación y diseño de las labores mineras. Asimismo, estas clasificaciones permiten tomar decisiones informadas sobre el sostenimiento adecuado y las medidas de alcance necesarias para garantizar la seguridad y eficiencia en las operaciones mineras. (Pérez, 2008).

### **2.2.1. Clasificación de Deere (RQD)**

En 1963, Deere definió el RQD (Rock Quality Designation) como una clasificación del macizo rocoso. Este índice se basa en el porcentaje de testigo que se recupera en fragmentos enteros de 100 mm o más de longitud, en relación con la longitud total del testigo. Para obtener el RQD, la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas recomienda utilizar un diámetro de testigo de al menos NX (54,7 mm) y recuperarlo mediante el uso de una perforadora de diamante de doble barril. El cálculo del RQD se realiza utilizando la siguiente expresión:

$$RQD = \frac{100 * \sum \text{longitud de roca} < 10\text{cm}}{\text{longitud del testigo}}$$

La calidad de la roca RQD también se puede determinar utilizando trozos de roca testigos de más de 10 cm de longitud, recuperados durante sondeos. Además, se puede evaluar mediante las juntas  $J_v$ , que indican el número de juntas por metro cúbico observadas en un afloramiento. En el caso de utilizar trozos de roca testigos, se utiliza la siguiente fórmula para calcular el RQD:

$$RQD = 115 - 3.3 * J_v$$

El valor obtenido es comparado con la siguiente tabla:

**Tabla 1:** Índice de calidad RQD

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

Fuente: González 2002.

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

El sistema Q ha sido usado en numerosos proyectos en el mundo desde hace 25 años como un método de caracterización de la calidad de la roca y definición de un sostenimiento que asegure la estabilidad en su tiempo de vida útil en obras de excavaciones subterráneas como túneles civiles (carreteros), centrales hidráulicas y nucleares, cavernas para almacenamiento de petróleo, cavernas para estadios de deportes y excavaciones mineras.

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

Estos autores consideran esta clasificación tomando en cuenta el R.Q.D relacionándola con diversos parámetros, que serán considerados a continuación y que están relacionados con la siguiente formula.

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

La clasificación de Q de Barton se analiza basada en los 6 parámetros:

- 1.- R Q D: índice de calidad de roca.
- 2.- J<sub>n</sub>: número de familias de diaclasas.
- 3.- J<sub>r</sub>: Rugosidad de las superficies de las discontinuidades.
- 4.- J<sub>a</sub>: Alteración de las diaclasas.
- 5.- J<sub>w</sub>: Coeficiente reductor. Presencia del agua.
- 6.- SRF: Factor reductor del esfuerzo.

El primer coeficiente R.Q.D/J<sub>n</sub>, representa en la formula el tamaño de los bloques.

El segundo coeficiente J<sub>r</sub>/J<sub>a</sub> representa en la formula la resistencia al corte de los bloques. El tercer y último coeficiente J<sub>w</sub>/SRF representa en la formula el estado tensional del macizo

rocoso. (Bujaico & Gonzales, 2021, pág. 67).

### 2.2.2.1.1. Clasificación de bieniawski sistema RMR

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.

Bieniawski (1973) presentó un nuevo sistema de clasificación de macizos rocosos mediante un índice RMR (“Rock Mass Rating”). En una segunda versión Bieniawski (1989) estableció la forma actual. El índice numérico del macizo rocoso, RMR básico, es independiente de la estructura a construir y se obtiene sumando seis parámetros:

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

- a) Resistencia a la compresión simple de la roca intacta, es decir de la parte de la roca que no presenta discontinuidades estructurales.
- b) R.Q.D, este parámetro se considera de gran interés, para seleccionar el revestimiento de los túneles.
- c) Espaciado de las diaclasas o discontinuidades, que es la distancia medida entre los planos de discontinuidad de cada familia.
- d) Naturaleza de las diaclasas el cual consiste en considerar los siguientes parámetros:
  - ❖ Apertura de las caras de la discontinuidad

- ❖ Continuidad de las diaclasas o discontinuidad según su rumbo y buzamiento.
  - ❖ Rugosidad
  - ❖ Dureza de las caras de la discontinuidad.
  - ❖ Relleno de las juntas.
- e) Presencia del agua, en un macizo rocoso diaclasado, el agua tiene gran influencia sobre su comportamiento, las descripciones utilizadas para este criterio son: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.
- f) Orientación de las discontinuidades.

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

Clasificación de RMR (oscila entre 0 y 100)

**Tabla 2:** Parámetros de clasificación RMR

Parámetro	A. PARÁMETRO DE ASIFICACION Y SUS CLASIFICACIONES	Rango de valores				
		<b>Resistencia de roca intacta</b>	Índice de carga puntual	>10MPa	10-20 MPa	2-4 MPa
<b>Valoración</b>	Resistencia compresiva uniaxial	>250MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	5-50MPa	25 - 5 MPa MPa
<b>Valoración</b>		<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	
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>
Espaciamiento de discontinuidades		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	60-200 mm	<60mm



Valoración		20	15	10	8	5			
Condiciones de las discontinuidades		Superficies muy rugosas no continuas Cerradas sin apertura Paredes rocosas sanas	Superficies ligeramente rugosas Apertura < 1 mm Paredes ligeramente e intemperizadas	Superficies ligeramente rugosas Apertura < 1 mm Paredes altamente intemperizadas	Espejo >5mm de falla o panizo apertura 5mm de juntas continuas	Pánico suave de espesor o < > 5mm juntas continuas			
	Valoración	3	2	2		0			
agua subterránea	Flujo de 10m de longitud de túnel(l/m) presión de agua /principal máximo	0	5	<	0	0	2	>125	
	Condición general	ningún o 0 Completamente seco	10 0.1	0-25 0.1	0.2			Flujo	
	Valoración	1	Húmedo	1	Mojado	7	Goteo	4	0
		5	0						

### 2.2.3. Diseño de sostenimiento

Según (OSINERMIN, 2017, pág. 71) para poder diseñar el tipo de sostenimiento tener muy en cuenta:

- El comportamiento mecánico del terreno.
- Tipo de labor (Permanente o temporal)

Según (OSINERMIN, 2017, pág. 71) para poder diseñar el tipo de sostenimiento tener muy en cuenta: El comportamiento mecánico del terreno.

- Tipo de labor (Permanente o temporal)
- Identificación de las diferentes cuñas que se pueden producir en la excavación.
- Dimensión de los tajeos según la calidad de roca.
- Tiempo de auto sostenimiento después de la voladura.

#### **2.2.4. Análisis de Factor de Seguridad para el autosostenimiento**

El Factor de Seguridad se aplican en los diseños mineros para el buen control de estabilidad de las excavaciones subterráneas.

“Para determinar el factor de seguridad se tiene que asociar a los tiempos de autosostenimiento de las labores mineras. Es decir, el FS estará en relación inmediata al tiempo de exposición de la excavación subterránea a ejecutarse.

El nivel de seguridad cuestionado para la estabilidad de la excavación subterránea, se tiene que analizarse y controlarse con las alternativas de sostenimiento a fijarse, para no tener un sobredimensionamiento de dichas técnicas de apoyo. Para el cálculo nos apoyaremos de Software Geomecánicos.” (Guzmán., 2017)

“El planteamiento clásico que se emplea en el diseño de estructuras de ingeniería se estima la concordancia entre la fuerza o soporte a la carga del sistema y la demanda computada que actúa sobre el sistema. El factor de seguridad (FS) es determinar la relación entre las fuerzas resistentes y actuantes.” (Osinermin, 2117 pp. 46).

El factor de seguridad de una estructura morfológica se define como:

$$FS = \frac{C}{D}$$

Donde:

FS = Factor de Seguridad

C = Capacidad de soporte de carga

D = Fuerzas actuantes o demanda Existen tres posibles

escenarios:

FS > 1 el sistema es estable.

FS < 1 el sistema es inestable.

FS = 1 el sistema está en equilibrio

### **2.2.5. Mapeo por celdas**

"Aquí se describe un enfoque sistemático para recopilar información sobre el macizo rocoso. Este método se distingue por identificar zonas con características litológicas, geotécnicas o geológicas particulares que son relevantes para el diseño de diversos elementos, como labores, cruceros, pilares, tajos, puentes, chimeneas, galerías, tapones, entre otros" (Quispe, 2021).

"Para llevar a cabo este modelo de trabajo, se requieren los siguientes materiales: un tablero para tomar notas, una cinta métrica, una brújula, un martillo de ge, formularios de mapeo, un lápiz o bolígrafo, spray para marcar en rocas, equipo de carga puntual (opcional), una cámara fotográfica, hojas de mapeo de celdas, bolsas especiales para muestras, marcadores permanentes, reflectores para iluminación, etiquetas para muestras, cintas de señalización y equipo de protección personal" (Quispe, 2021).

"Para evaluar y caracterizar el macizo rocoso, se deben establecer estaciones geomecánicas. Después de limpiar y delimitar el área a evaluar, se toman medidas en un espacio aproximado de 1m x 1m. Se registran datos sobre las principales propiedades de las discontinuidades, como la orientación de los sistemas principales, resistencia a la compresión simple (utilizando técnicas manuales como la picota geológica, barretillas o martillo), RQD, espaciamiento, continuidad, separación, rugosidad, llenado de las discontinuidades, meteorización o deterioro, y condiciones de agua subterránea. Estos datos permiten determinar y cuantificar la calidad del macizo rocoso utilizando tres sistemas de clasificación: RMR, GSI y Q" (Osinermin, 2017, p. 50).

#### **2.2.6. Sostenimiento**

“Desde el punto de vista de la función de un sistema de sostenimiento; se establece la clasificación de los elementos de soporte tales como: Sostenimiento activo y pasivo”. (OSINERMIN, 2017, pp. 85).

##### **2.2.6.1. Tipos de sostenimientos**

"En términos de la función de un sistema de sostenimiento, se realiza una clasificación de los elementos de soporte en dos categorías: sostenimiento activo y pasivo" (OSINERMIN, 2017, pp. 85).

- Pernos de anclaje.
- Cables de acero.
- Revestimiento de concreto.
- Concreto lanzado (simple o reforzado con fibra).
- Puntales de madera.
- Paquetes de madera (Wood pack).
- Cuadros de madera con encribado de madera.

También se clasifican como:

#### **2.2.6.1.1. Sostenimiento activo**

“Denominado como sostenimiento de refuerzo, que mayormente se utiliza para mejorar la estabilidad de las labores mineras o túneles y estos de acuerdo a su capacidad portante de la roca. A continuación, se detalla principales elementos de sostenimiento”. (Guzmán, 2017)

- **Pernos Helicoidales**

- **Split set**

#### **2.2.6.1.2. Sostenimiento Pasivo**

Es un conjunto de elementos de sostenimiento que actúa después de que se haya deformado la roca. (Guzmán I. C., 2017) En la investigación se utilizó tres tipos de sostenimiento activo:

**a. Malla electrosoldada** “Para la instalación de malla electrosoldada se tiene que desatar bien la corona y las paredes de la labor, este tipo de sostenimiento se emplea para retener fragmentos o trozos de roca, evita la caída de bancos del techo. Para el colocado de malla se emplea pernos Split Set o barra helicoidal y para el traslape los mini Split set. Respecto a la fijación de la malla es con la placa de reten. (Osinergmin, 2017) La malla electrosoldada cumple con las funciones de seguridad, de soportar pequeños trozos de roca cuando existe la presión litostática, para su utilización tiene la ventaja económica y son muy efectivas comparada a los otros sistemas de sostenimiento, esta malla funciona conjuntamente con los pernos de 10m x 4m y tiene la capacidad de 3 a 6 KJ/m<sup>2</sup>”. (Navarro, 2004)

- a. Concreto lanzado (shocrete).** “El concreto lanzado es una mezcla de materiales (hormigón fraguado) que es llevado a través de mangueras y luego para lanzar neumáticamente sobre una boquilla a la superficie de la roca, con el pasar del tiempo va endureciendo para adquirir una resistencia considerable.” (Navarro, 2004). “Para el proceso de mezclas se emplea dos métodos vía húmeda y vía seca que estos tienen sus propias ventajas y desventajas, en la actualidad se utilizan para el concreto lanzado las fibras sintéticas y metálicas.” (Osinergmin, 2017 pp. 85).
- b. Cuadros de madera** “Los cuadros de madera se emplean mayormente en minas convencionales y semiconvencionales para rocas de calidad mala y muy mala. Los elementos de cuadros son: sombrero, dos postes y los tirantes. Cumplen principalmente para soportar cargas verticales debido a una presión litostática en el techo de una excavación. El cuadro cojo se emplea en vetas angostas de minerales y caja techo de mala calidad. Estos cuadros empiezan a trabajar cuando la roca se deforma sobre ellas.” (Osinergmin, 2017 pp. 85).

#### **2.2.6.2. Tiempo de autosostenimiento**

“Esto depende del comportamiento de la roca y las características del macizo rocoso, con la clasificación de RMR nos proporciona datos realistas del tiempo que durara el autosostenimiento, o sea sin alguna fijación de una excavación. Mayormente los daños que causan en la excavación es la voladura, que pone en riesgo de debilidad las paredes de la excavación reduciendo el tiempo de estabilidad de soporte natural.” (Osinergmin, 2017 pp. 155-156).

### **2.3. Definición de términos básicos**

**ROCA:** “Agregado natural de partículas de uno o más minerales, con fuerte unión cohesiva permanente, que constituyen masas geológicamente independientes y cartografiables” (Ferrer, 1999).

**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”. (Ramírez, 2004).

**DEFORMACIÓN:** Modificación que sufre una roca o material por acción de una o más esfuerzos. (Ramírez, 2004).

**DESPLAZAMIENTO:** “Es la distancia recorrida por un bloque rocoso a través de un plano de movimiento”. (Arango, 2014).

**ESFUERZO:** Fuerza aplicada sobre un área y/o superficie que tiende a cero. (Osinergmin, 2017).

**ESTRATIFICACIÓN:** Disposición paralela o subparalela que toman las capas de las rocas sedimentarias, durante su sedimentación. (Ramírez, 2004).

**ESTRATO:** Es la roca formada por la sedimentación de fragmentos o partículas provenientes de la desintegración de las rocas pre existentes. (Ramírez, 2004).

**ESTRUCTURA:** “Esta referido a la disposición, arreglo y cohesión de los materiales constituyentes de un determinado cuerpo rocoso”. (Solís, 2016).



## **Capítulo III**

### **Metodología**

La evaluación geomecánica desempeña un papel fundamental en el diseño de sostenimiento de las zonas de producción norte en la unidad minera Acumulación Parcoy, ubicada en La Libertad. En el contexto de la industria minera, el diseño de un sostenimiento efectivo y seguro es de vital importancia para garantizar la estabilidad de las excavaciones subterráneas y prevenir accidentes que puedan poner en riesgo tanto a los trabajadores como a la productividad de la operación.

En este sentido, el presente trabajo de investigación titulado "Evaluación Geomecánica para el Diseño de Sostenimiento de las Zonas de Producción Norte en la Unidad Minera Acumulación Parcoy, La Libertad 2023" tiene como objetivo principal analizar cómo la evaluación geomecánica influye en la implementación de un sostenimiento adecuado en las áreas de producción norte de la mina. Se busca comprender la interacción entre las características geomecánicas de las formaciones rocosas, los esfuerzos inducidos por la actividad minera y la necesidad de adoptar medidas de precisión y soporte eficientes.

Para alcanzar este objetivo, se llevó a cabo una serie de actividades de mapeo geomecánico y registro geotécnico, utilizando herramientas y software especializados para el procesamiento de datos. Mediante estas técnicas, se obtuvo información relevante sobre la calidad y el tipo de roca presente en las zonas de producción norte, lo cual se identificó problemas potenciales, como la caída de bloques de rocas, y diseñar un sostenimiento acorde a las necesidades de la mano de obra minera.

El presente estudio busca contribuir al mejoramiento de las prácticas de diseño de sostenimiento en la unidad minera Acumulación Parcoy, aprovecha conocimientos y directrices

basadas en una evaluación geomecánica exhaustiva. Los resultados y conclusiones obtenidos en esta investigación serán de gran utilidad para optimizar la seguridad y eficiencia de operaciones las mineras, asegurando una explotación responsable de los recursos minerales en la región de La Libertad.

### **3.1. Enfoque**

“Es aplicada, por tratar de resolver un problema específico, como es el diseño de sostenimiento de las zonas de producción norte y sur, unidad minera acumulación Parcoy, por medio de una evaluación geomecánica. En concordancia, refiere; que la investigación aplicada distingue tener propósito práctico e inmediato, en una estructura bien definida y se investiga para poder actuar, transformar, modificar o producir cambios de una determinada realidad”. (Carrasco, 2005, pp. 43–44).

### **3.2. Alcance**

El trabajo de investigación será de nivel explicativo, como señalan Hernández, Fernández y Baptista (2010), “se enfoca en establecer algún tipo de relación, lo cual busca responder por las causas y efectos de fenómenos, entre variables”. (p. 84)

“A través de la investigación existirá capacidad explicativa en la determinación del diseño de sostenimiento, todo ello mediante la práctica de una evaluación geomecánica y la influencia que esta tiene respecto a la aplicación del sostenimiento adecuado de las zonas de producción norte y sur, unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2022”.

### **3.3. Diseño de la investigación**

La investigación corresponde al diseño PRE EXPERIMENTAL

Esta estrategia tiene como bibliografía especializada la graficación que explicamos a continuación: Hernández (2006).

Su esquema es el siguiente.

GE: 01 X 02 Dónde:

G.E. Grupo Experimental.

01: Pre test.

02: Post test.

X: Manipulación o desarrollo de la variable independiente

### **3.4. Población y muestra**

#### **Población**

Es un conjunto de unidades que comparten algunas o muchas características que se desea estudiar. (Hernández, 2001, p. 127)

“En el caso de nuestra investigación, la población estará conformada por las zonas de producción Norte donde la Empresa tiene labores mineras en desarrollo”.

#### **Muestra**

“La muestra es un subconjunto que representa la población y es representativo porque refleja las características de la población al aplicarse las técnicas correctas de muestreo en la cual se determina la cantidad y/o forma de elección del mismo” (Valderrama, 2002, p. 184).

La muestra estuvo conformada por la Galería 2268S – Nivel 1965, la veta Lourdes, Rampa 2705 – Nivel 1665 ya que estos elementos serán analizados geomecánicamente puesto que presentan inestabilidad.

### **3.5. Hipótesis**

#### **3.5.1. Hipótesis general**

¿En qué medida la evaluación geomecánica influye en el diseño de sostenimiento de las zonas de producción norte, unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023?

#### **3.5.2. Hipótesis específica**

- ✦ Las características geomecánicas del macizo rocoso son adecuadas en las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023.
- ✦ El tipo de sostenimiento a diseñar debe ser adecuado en las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023.
- ✦ El factor de seguridad será óptimo para garantizar el sostenimiento de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023.

### 3.6. Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional

		Operacionalización	
Variables	Definición conceptual	Indicadores	Tipo de variables
<b>Variable Independiente</b> Evaluación geomecánica	La evaluación geomecánica es un proceso utilizado en la ingeniería geotécnica y de yacimientos para analizar y comprender el comportamiento mecánico de las formaciones rocosas y su interacción con las actividades humanas o los fluidos presentes en ellas. Se basa en la aplicación de principios de la mecánica de rocas y la geología para evaluar la resistencia de las rocas, su deformación, estabilidad y otras propiedades relevantes (CGI, 2020).	Clasificación RMR	Cuantitativa
		Deformaciones del macizo rocoso	Cuantitativa
		Factor de seguridad	Cuantitativa
<b>Variable Dependiente:</b> Diseño de sostenimiento	El diseño de sostenimiento se refiere al proceso de determinar y seleccionar las medidas de precisión y soporte necesarios para mantener la estabilidad de una excavación subterránea o de una estructura subterránea. El objetivo principal del diseño de sostenimiento es prevenir el colapso de las rocas rodeadas y garantizar la seguridad de las personas y equipos que trabajan en el área.	Tipo de sostenimiento	Cuantitativa
		Eficiencia del sostenimiento	Cuantitativa

### **3.7. Técnicas e instrumentos**

#### **Técnicas de recolección de datos**

Se empleará la observación, como técnica para la recolección y determinación de datos.

Observación.

“Consiste en examinar detenidamente las características de un objeto o proceso de estudio, con la finalidad de obtener información acerca de lo que se quiere saber o los resultados que se quieren conocer y es empleado durante toda la investigación” (Valderrama, 2002, p. 76).

En el presente trabajo de investigación se aplicará la observación directa: Esta técnica permitirá inspeccionar y evaluar los datos del muestreo.

#### **Instrumento**

Los instrumentos usados para la recolección de datos son seleccionados de manera que nos permitió realizar el trabajo en forma ordenada y metódica, se ha considerado los siguientes:

“Ficha de mapeo geomecánico (observación) para la caracterización de las propiedades del macizo rocoso”.

También se utilizaron software especializado para demostrar el grado de estabilidad del macizo rocoso, Phase 2.

### **3.8. Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información.**

“Para el procesamiento de los datos de la información que se obtendrá se hará uso del programa estadístico SPSS versión 25 lo cual se ejecutará a nivel de estadística descriptiva su fin principal será la obtención de tablas de distribución de frecuencias”.

- ❖ Coordinaciones con el residente de la unidad minera Parcoy N°1.
- ❖ Coordinaciones con el jefe de zona
- ❖ Coordinaciones los datos estadísticos
- ❖ Someter los resultados a un procesamiento estadístico.
- ❖ Contrastación de la hipótesis planteada.

Con el objetivo de aprobar o rechazar las hipótesis planteadas en la presente investigación, se utilizará la prueba estadística t de Student. Esta herramienta estadística inferencial permitirá evaluar y comparar los datos recopilados para respaldar o refutar las hipótesis establecidas

### **3.9. Desarrollo de la investigación**

#### **3.9.1. La clasificación del macizo rocoso**

Los estudios geomecánicos realizados en el macizo rocoso en las labores de desarrollo, preparación y explotación de la veta Esperanza se describen a continuación:

##### **Mapeo geo mecánico**

"El mapeo geomecánico es un procedimiento utilizado para obtener información geológica-geotécnica sobre los parámetros que afectan al macizo rocoso y que pueden o no generar inestabilidad en las labores mineras. Este mapeo incluye la caracterización geotécnica de la roca según la clasificación geomecánica correspondiente. Además, debe contener información estructural, información de prospección geomecánica, información de mecánica de rocas, monitoreo, controles, entre otros aspectos relevantes".

"El resultado del mapeo geomecánico tiene como objetivo recomendar un tipo de excavación que no genere inestabilidad. Además, se utiliza para modelar la excavación y diseñar el método de minado adecuado. Por último, el mapeo geomecánico también se utiliza para diseñar un sistema de sostenimiento apropiado para las condiciones geomecánicas de la roca, teniendo en cuenta su calidad y las necesidades específicas del proyecto minero".

### **Caracterización geomecánica**

"La zonificación geomecánica se llevó a cabo utilizando dos metodologías: el RMR (Rock Mass Rating) y el GSI (Geological Strength Index). El RMR asigna valores a cinco parámetros clave: resistencia a la compresión, RQD, espaciamiento de las discontinuidades, condiciones físicas y geométricas de las discontinuidades (abertura, continuidad, rugosidad, estado de las paredes y relleno), así como la presencia de agua. Por otro lado, el GSI es un método práctico y fácil de entender que evalúa dos parámetros: la estructura y la condición superficial del macizo rocoso".

### **Clasificación geomecánica GSI (geological strength index)**

"El índice geológico de resistencia (GSI) evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado de fracturamiento y la condición de las discontinuidades asociadas a la resistencia del macizo rocoso".

El grado de fracturamiento o la cantidad de fracturas por metro lineal se tipifica de acuerdo a los siguientes conceptos

- Masiva (M): Menos de 2 fracturas en un metro (RQD 90-100%).
- Levemente Fracturada (LF): de 2 a 6 fracturas en un metro (RQD 70-90%).



- Moderadamente Fracturada (F): de 6 a 12 fracturas en un metro (RQD 50-70%).
- Muy Fracturada (MF): de 12 a 20 fracturas en un metro (RQD 25-50%).
- Intensamente Fracturada (IF): con más de 20 fracturas en un metro (RQD 0-25%).
- Triturada y brechada en zonas de falla, sin RQD.

La condición de resistencia asociada a la resistencia de la masa rocosa, determinada en forma muy sencilla y práctica con golpes de picota o su indentación o disgregación de la misma se tipifica de acuerdo a los siguientes conceptos:

- Muy Buena (MB), Extremadamente resistente: solo se astilla con golpes de picota.
- Buena (B), Muy resistente: se rompe con varios golpes de picota.
- Regular (R), Resistente: se rompe con uno o dos golpes de picota
- Pobre (P), Pobre, moderadamente resistente: se indenta superficialmente con la picota.
- Muy Pobre (MP), Blanda a Muy Blanda: se indenta profundamente con golpe de picota o se disgrega fácilmente.

De esta manera con el uso del flexómetro y la picota se obtendrá rápidamente la clasificación geomecánica del macizo rocoso que se evalúa, además el sostenimiento a instalar de acuerdo a la sección de la labor y el tiempo oportuno de instalación.

## Capítulo IV

### Resultados y Discusión

#### 4.1. Presentación de resultados

En relación a la caracterización geomecánica de la masa roca en el área de estudio, se aplicarán estándares reconocidos a nivel mundial, específicamente los establecidos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, por sus siglas en inglés). Para llevar a cabo esta caracterización, se obtuvo el método directo por celdas de detalle durante el mapeo geotécnico de campo.

El mapeo geotécnico se realizó de manera sistemática, registrando datos sobre las discontinuidades presentes en el macizo rocoso. Los parámetros registrados incluyen el tipo de roca, los sistemas de discontinuidades presentes, la orientación de las mismas, el espacio entre discontinuidades, la persistencia de las discontinuidades, la apertura, rugosidad y tipo de relleno de las mismas, así como el espesor del relleno, la intemperización y la presencia de agua.

Cada celda de detalle representó una estación de medición (En), y en total se realizaron mapeos en 600 celdas o estaciones de medición. Esto permitió obtener información detallada y completa sobre las características geomecánicas de la masa rocosa en el área de estudio, y fue fundamental para el desarrollo del análisis y diseño de las operaciones en dicho lugar.

Estos datos recolectados en el mapeo geotécnico, junto con otros parámetros como la resistencia de la roca y la densidad de fracturas, fueron utilizados para determinar las propiedades físico-mecánicas de las rocas y monitorear la estabilidad de la masa rocosa durante las operaciones. El cumplimiento de los estándares de la ISRM garantizó la calidad y confiabilidad de los resultados obtenidos en la caracterización geomecánica de la masa rocosa.

#### **4.1.1. Resultados descriptivos de la variable Evaluación Geomecánica**

Al procesar nuestra base de datos de la variable, realizamos la interpretación del mismo para tener definido el comportamiento y así poder realizar la interpretación de los resultados, recalcando que estos resultados previos se interpretan haciendo uso de la estadística descriptiva.

##### **4.1.1.1. Características de la Masa Rocosa**

“En la zona de estudio, se observa que las estructuras mineralizadas generalmente se encuentran dentro del intrusivo, mientras que las rocas encajonantes son principalmente tonalíticas porfiríticas, tonalíticas simples o microdioritas. Esto indica un control favorable para la mineralización, aunque se observa una disminución de la mineralización hacia las rocas más ácidas como cuarzo, monzonitas y granitos”.

“En términos de avances, se han producido modificaciones físico-químicas en las rocas mencionadas anteriormente, lo que ha afectado sus características geomecánicas. Durante la excavación de un macizo rocoso, es importante analizar el tipo litológico presente en la roca y su estado de meteorización, ya que esto determina si el macizo es resistente o presenta una resistencia mecánica baja”.

Mineralógicamente, la roca está compuesta principalmente por cuarzo blanco lechoso y gris, con una mayor proporción de fracturas. También se pueden encontrar bandas de minerales como pirita y marmatita, en menor proporción arsenopirita y galena. La concentración de estos minerales varía en los diferentes niveles de la zona de estudio.

En cuanto a las alteraciones de la roca encajonante, se observa la presencia de silicificación, sericitización, cloritización y caolinización. La potencia de estas alteraciones varía de 0,9 ma 1,30 m.

Estas características geológicas y de son importantes para comprender el comportamiento geomecánico del macizo rocoso, y deben ser consideradas en el diseño de excavaciones y en la selección de métodos de sostenimiento adecuado.

• **Discontinuidades.**

“El estudio referido al análisis estructural de la veta Lourdes, está basado en las orientaciones de las discontinuidades evaluadas mediante técnicas estereográficas, las mismas que son útiles para tener conocimiento del debilitamiento estructuralmente controlado y la verificación de la estabilidad de los paquetes rocosos de geometría tabular en relación a la dirección de minado”.

“Un resumen de estos resultados se presenta en las tablas 4 y 5, el primero relacionado a las estructuras menores (sistema de diaclasamiento) y el segundo relacionado a las estructuras mayores (sistema de fallas), Dichos resultados, fueron analizados estadísticamente mediante técnicas estereográficas (Ver Figura 1 al 5). Para el análisis estadístico de polos se ha utilizado la distribución de Fisher. Cabe resaltar que el agrupamiento realizado para estructuras menores se realizó para los diferentes dominios estructurales asociados a las diferentes vetas en la unidad minera Parcoy”.

**Tabla 3:** Sistema de Discontinuidades Estructuras menores (sistema de diaclasas)

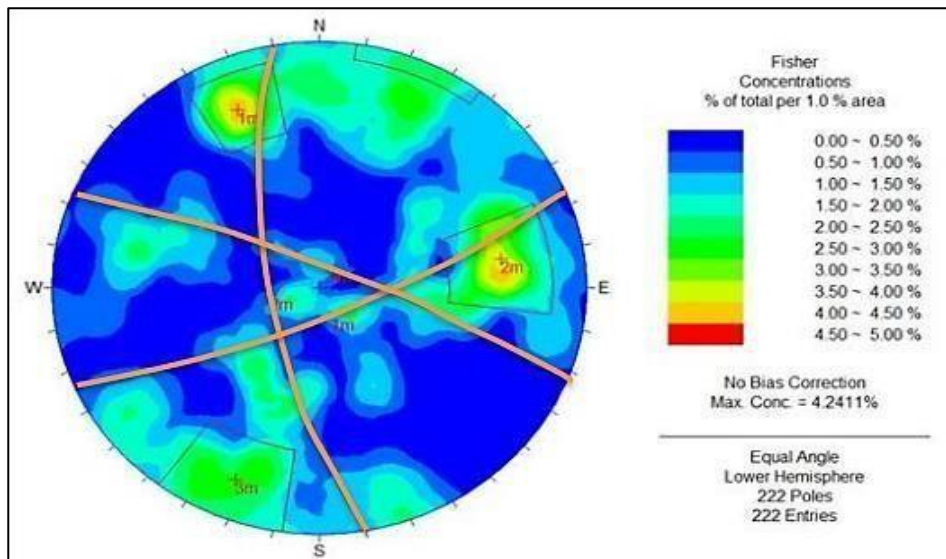
<b>Dominio Estructural</b>	<b>Sistema 1</b>	<b>Sistema 2</b>	<b>Sistema 3</b>	<b>Sistema 4</b>
Veta Lourdes	157/76	260/69	22/80	
Veta Milagros	278/71	239/60	43/85	239/69
Veta Esperanza	160/81	255/78	198/79	57/29
Veta Encanto	265/81	245/64	201/74	235/25
Veta Cabana	156/86	242/61	68/18	207/68

**Tabla 4:** Sistema de Discontinuidades Estructuras Mayores

Descripción	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Dirección de Buz. /Buz	71/23	248/79	113/73
Rumbo / Buzamiento	N19°W / 23°NE	N22°W / 79° SW	N23°E / 73°SE

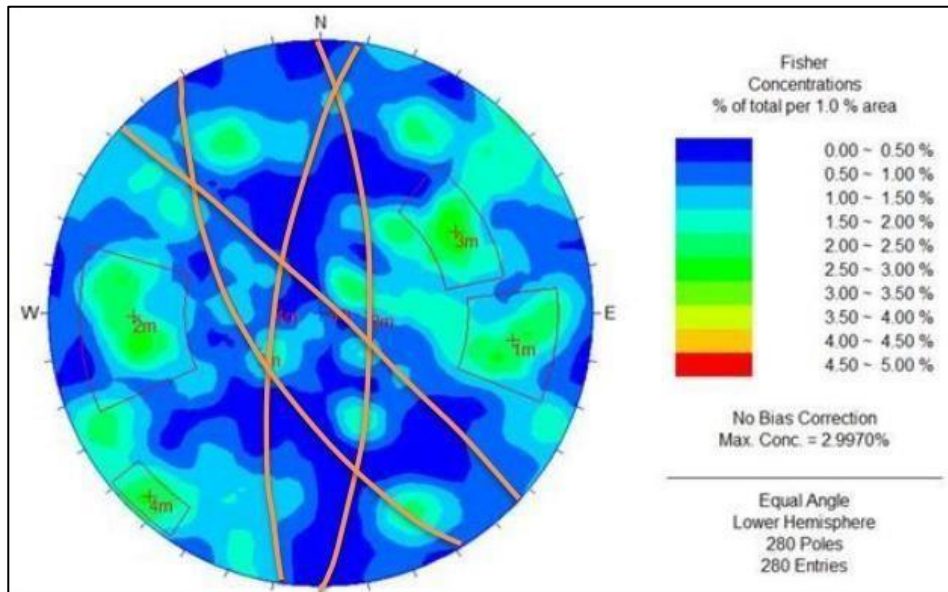
**Figura 1:**

Contorneo estadístico de la concentración de polos del compósito de estructuras menores asociadas al dominio estructural Veta Lourdes (2% del área de la superficie del hemisferio).



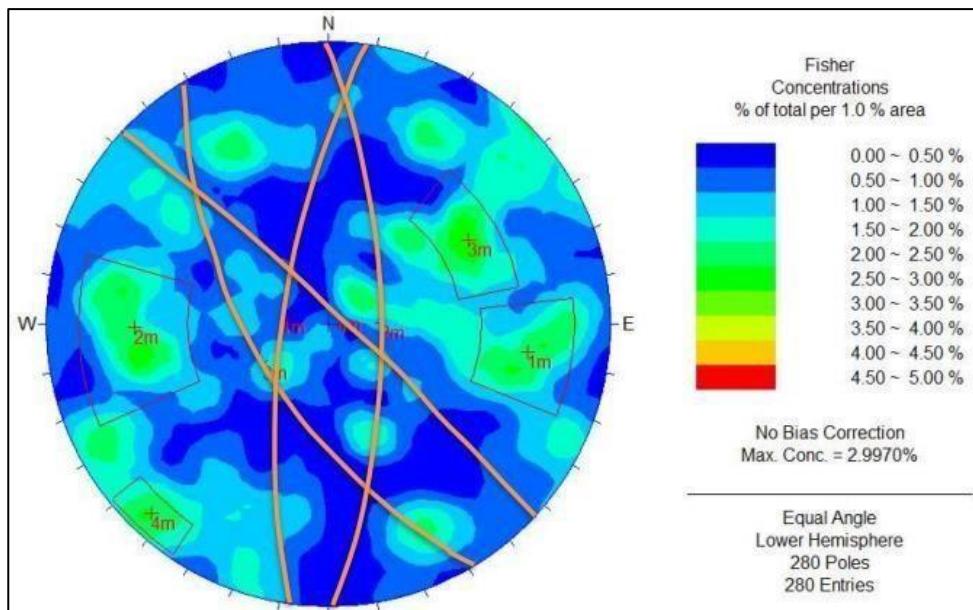
**Figura 2:**

Contorneo estadístico de la concentración de polos del compósito de estructuras menores asociadas al dominio estructural Veta Milagros (2.5% del área de la superficie del hemisferio).



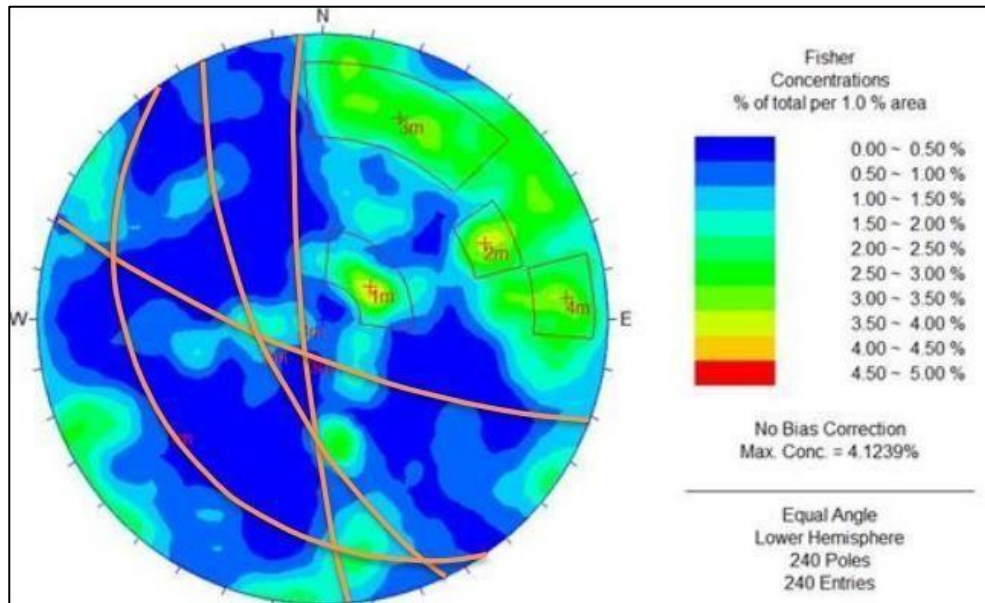
**Figura 3:**

Contorneo estadístico de la concentración de polos del compósito de estructuras menores asociadas al dominio estructural Veta Esperanza (1.5% del área de la superficie del hemisferio).



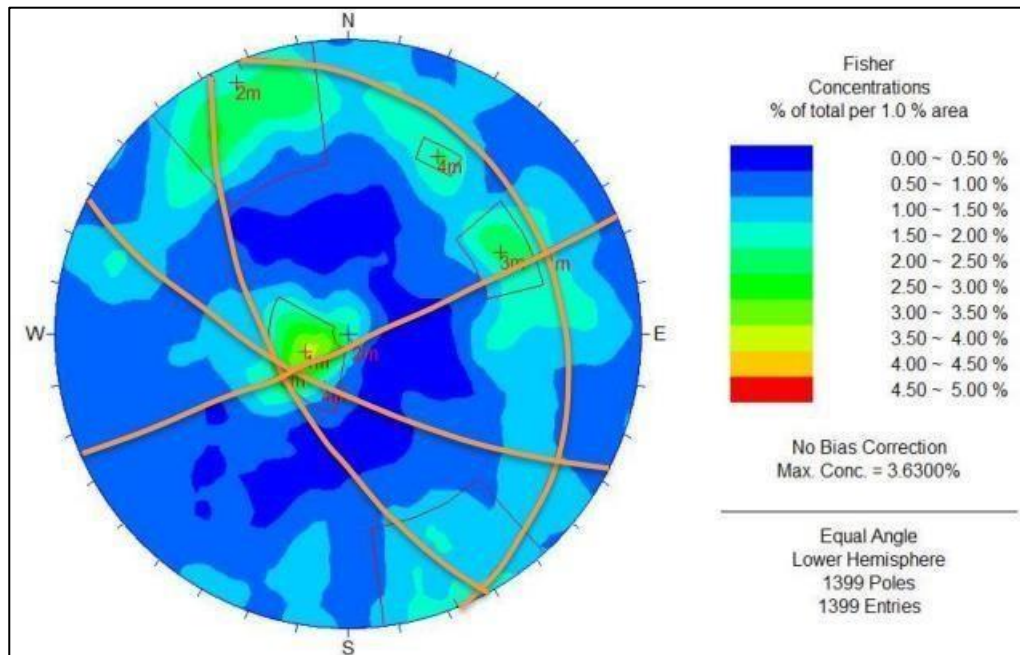
**Figura 4:**

Contorneo estadístico de la concentración de polos del compósito de estructuras menores asociadas al dominio estructural Veta Encanto (3.0% del área de la superficie del hemisferio)



**Figura 5:**

Contorneo estadístico de la concentración de polos del compuesto de estructuras menores asociadas al dominio estructural Veta Cabana (2.50 - 3.0% del área de la superficie del hemisferio).



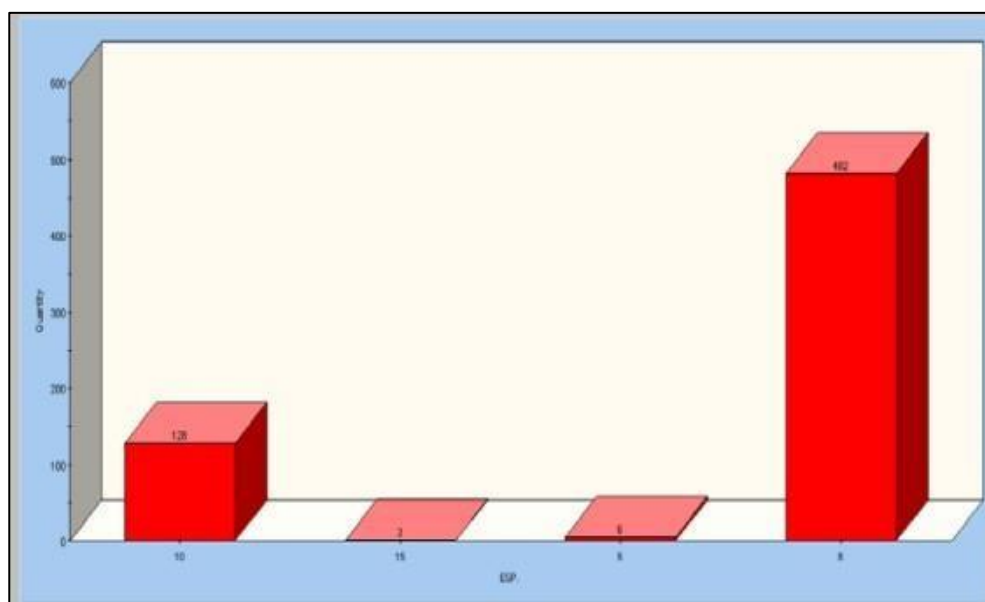
#### 4.1.1.2. Características Estructurales

"Las características estructurales de la masa rocosa se analizan utilizando técnicas estadísticas basadas en la información recopilada durante el trabajo minero mediante la técnica del

mapeo geomecánico. Estas características se relacionan con las observaciones realizadas in situ. A continuación, se presentan las principales características estructurales de las discontinuidades identificadas como parte del sistema de estructuras".

- **Diaclasas:**

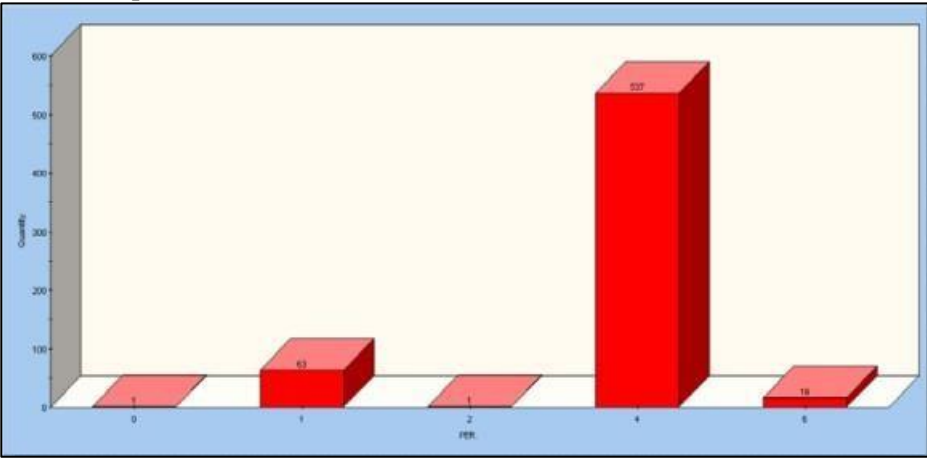
**Figura 6:**  
Análisis estadístico del Espaciamiento



Según el análisis estadístico referido al material encajonarte (caja techo), estas juntas presentan generalmente espaciamentos de 6 a 20 cm.



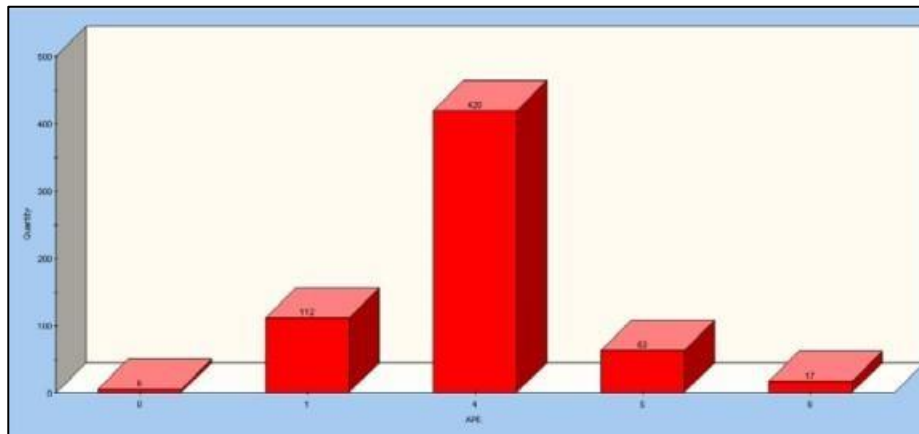
**Figura 7:**  
Análisis estadístico de la persistencia



La persistencia de las discontinuidades conforme al análisis estadístico expresa una extensión de 1 a 3.0 m.

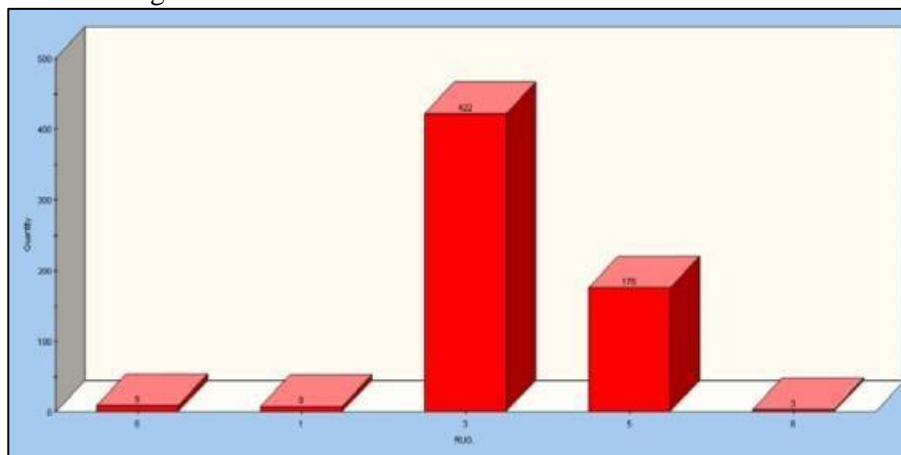
**Figura 8:**

**Figura 8:**  
Análisis estadístico de la apertura



La apertura de las discontinuidades según el análisis estadístico expresa un valor de 2 mm.

**Figura 9:**  
Análisis estadístico de la rugosidad

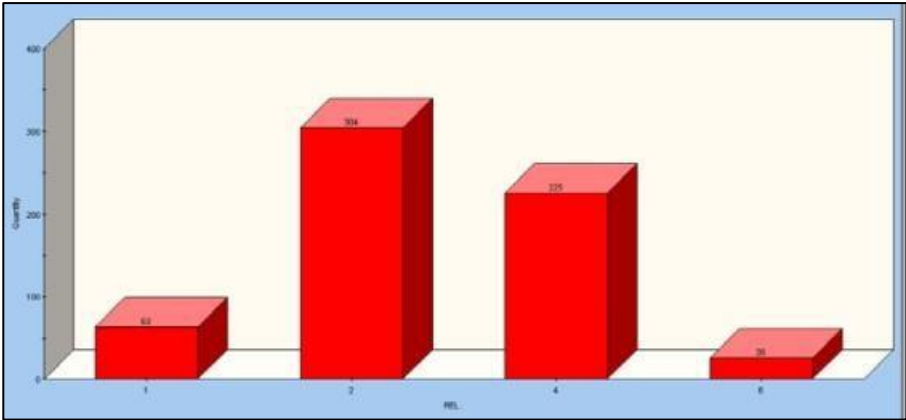


La rugosidad de las paredes de las discontinuidades es de característica ligeramente rugosa. **Figura**

**10:**

**Figura :**

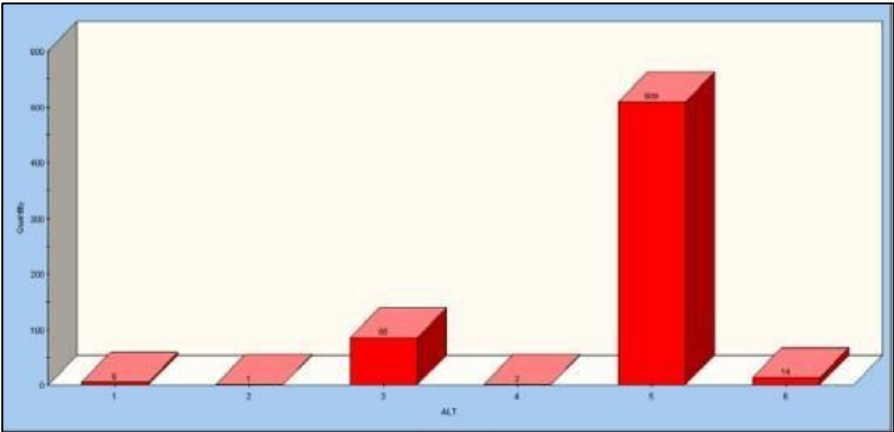
Análisis estadístico del relleno



El relleno según análisis estadístico, es de características en forma de óxidos con espesores menores a 5 mm.

**Figura 11:**

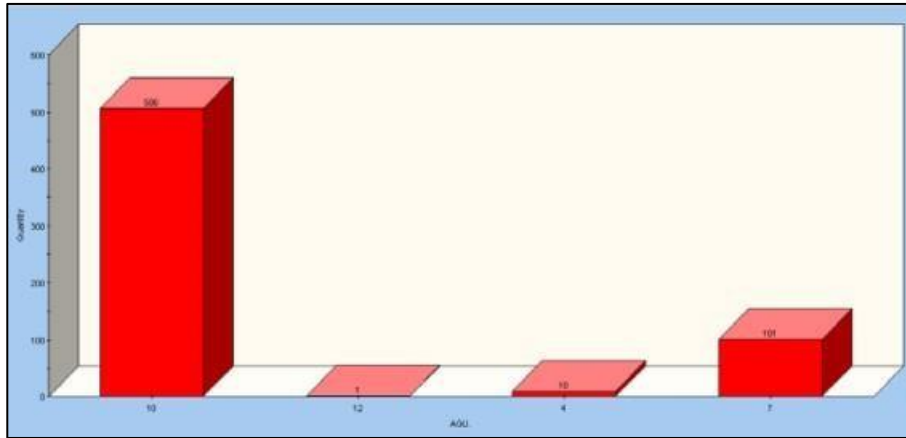
Análisis estadístico de la alteración



La alteración de las discontinuidades según análisis estadístico es de carácter ligera a moderada.

**Figura 12:**

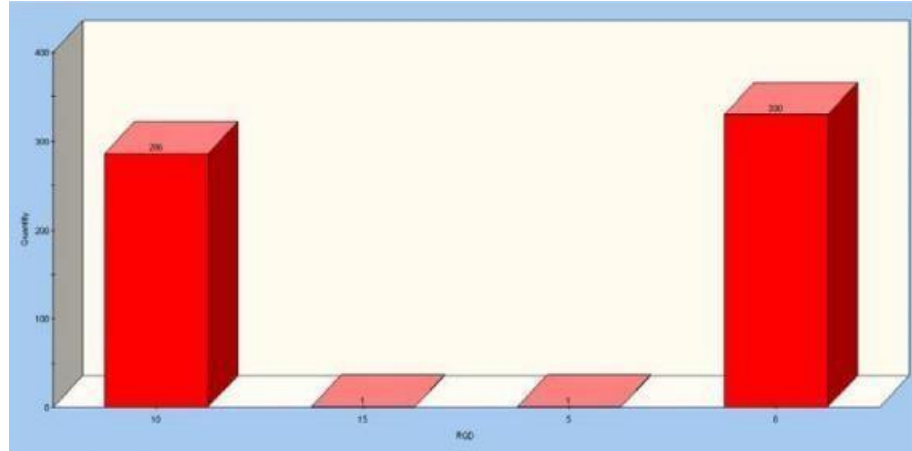
Análisis estadístico del agua subterránea



El parámetro en análisis, presenta condición de agua de carácter, húmeda a mojada.

**Figura 13:**

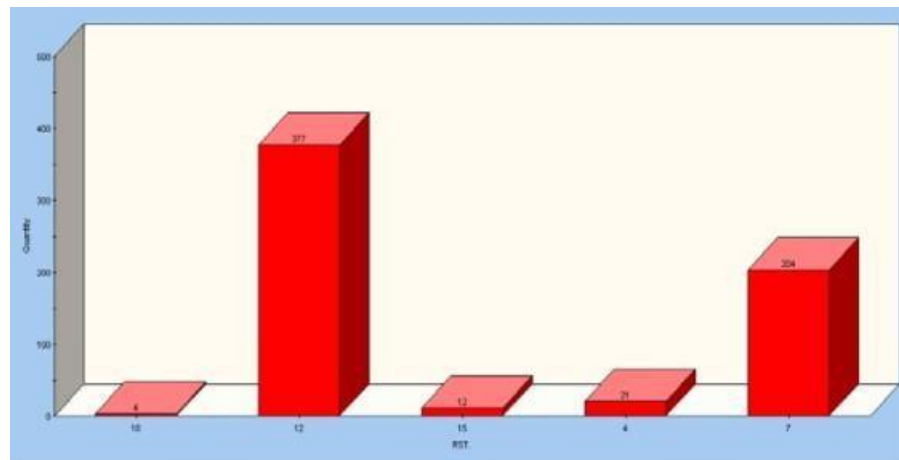
Análisis estadístico del RQD



El tamaño de los bloques intactos según análisis, alcanza un radio de 20 cm, cuya geometría es de formas tabulares.

**Figura 14:**

Análisis estadístico de la roca intacta



La resistencia de los bloques rocosos intactos según el análisis mostrado en la imagen adopta valores indirectos de 50 a 100MPa y de 100 a 250MPa.

#### 4.1.2. Clasificación geomecánica

"El Sistema de Valoración de la masa rocosa, Rock Mass Rating - RMR (1989) de Bieniawski, se utilizó para clasificar geomecánicamente la masa rocosa. Los valores de resistencia compresiva se estimaron utilizando índices de campo mediante el uso de una picota, y posteriormente se corroboraron y ajustaron con ensayos de laboratorio. Además, los valores de RQD% se estimaron utilizando la relación de Priest y Hudson, que se basa en la frecuencia de discontinuidades por metro lineal. También se determinó el GSI (Geological Strength Index) de Hoek & Marinos 2000, mediante la correlación:  $GSI = RMR89 - 5$ , con el objetivo de estimar las propiedades del macizo rocoso".

"El criterio para clasificar la masa rocosa se presenta en la tabla 6. Los valores promedio del RMR BÁSICO según el dominio litológico se muestran en la tabla 7, sin considerar ajustes por la orientación de las discontinuidades. Los registros y resultados de los datos se presentan según los diferentes dominios litológicos más representativos que albergan la mineralización, como la diorita, el granito, la granodiorita, la microdiorita y la tonalita".

**Tabla 5:** Rangos de Clasificación RMR y colores establecidos en PARCOY

Tipo de roca		RMR Bieniawski	Clasificación de la roca
II	II-A	71-80	BUENA "A"
	II-B	61-70	BUENA "B"
III	III-A	51-60	REGULAR "A"
	III-B	41-50	REGULAR "B"
IV	IV-A	31-40	MALA "A"
	IV-B	21-30	MALA "B"
V	V-A	0-20	MUY MALA

**Tabla 6:** Resumen de Calidad RMR de la masa rocosa – Unidad Minera PARCOY

<b>Litología</b>	<b>Rango RMR</b>	<b>Calidad de la Masa Rocosa</b>
<i>Diorita</i>	26 - 64	IIB, IIIA, IIIB, IVA y IVB
<i>Granito</i>	20 – 65	IIB, IIIA, IIIB, IVA, IVB y VA
<i>Granodiorita</i>	26 - 61	IIB, IIIA, IIIB, IVA y IVB
<i>Microdiorita</i>	16 - 69	IIB, IIIA, IIIB, IVA, IVB y VA
<i>Tonalita</i>	23 – 62	IIB, IIIA, IIIB, IVA y IVB

“De acuerdo con el resumen presentado en la tabla anterior, se observa que existe un amplio rango de valores para cada dominio litológico, desde el tipo de roca Buena IIB hasta Muy mala VA. Sin embargo, es importante destacar que las rocas intrusivas presentan valores de alta calidad, es decir, una calidad de roca regular. Por lo tanto, la degradación de la calidad de roca surgió de la pérdida causada por la presencia de la mineralización. Cuando la roca está adyacente a la zona mineralizada, los valores de calidad geomecánica disminuyen, mientras que ocurre lo contrario cuando la roca está alejada de la zona mineralizada”.

Es importante resaltar que la calidad de roca predominante es III-B, que en la mayoría de los casos, debido a la dirección de las excavaciones que deben seguir razones técnicas y ser paralelas al sistema principal de discontinuidades, se ajusta a IVA. Los principales registros utilizados para clasificar la calidad de la masa rocosa en la mina han sido los registros de mapeo geomecánico.

Estos resaltan la importancia de considerar la calidad geomecánica de la roca en el diseño de excavaciones y en la planificación de sostenimiento adecuado. La información obtenida a través del mapeo geomecánico proporciona una base sólida para comprender las características y el comportamiento de la masa rocosa, lo que contribuye a la toma de decisiones informadas en el ámbito de la estabilidad de las excavaciones.

### 4.1.3. Resistencia de la Roca

#### Resistencia de la roca intacta

Uno de los parámetros clave para comprender el comportamiento mecánico de la masa rocosa es la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta ( $\sigma_{ci}$ ), también conocida como resistencia compresiva simple o uniaxial. En este estudio, los valores de  $\sigma_{ci}$  fueron estimados utilizando los siguientes procedimientos:

- Índices de campo, ensayos de golpe con el martillo de geólogo (picota), especificadas según normas de la ISRM, dichos ensayos, fueron efectuados durante el mapeo y caracterización geomecánica de afloramientos rocosos en las labores.
- Ensayos de laboratorio de mecánica de rocas: compresión triaxial, compresión simple, propiedades elásticas y tracción sobre probetas obtenidas de los testigos de los sondajes diamantinos y de bloques rocosos.

En la Tabla 8 se resumen los resultados de los ensayos de compresión triaxial, compresión simple y propiedades elásticas para las rocas asociadas a los dominios estructurales definidos en este estudio. A continuación, se presenta un resumen de los principales resultados obtenidos:

**Tabla 7:** Resultados de ensayos en laboratorio de mecánica de rocas

Litología	mi"	$\sigma_c$ (MPa)	Cohesion (MPa)	Angulo de Fricción (°)	Modulo Young (Gpa)	Poisson
<i>Diorita</i>	9.35	93.96	19.82	52.08	0.25	.30
<i>Granito</i>	15.3	88.31	17.82	48.45	8.93	0.31
<i>Granodiorita</i>	26.23	120.19	19.68	56.03	11.87	0.30
<i>Tonalita</i>	8.06	38.27	9.07	39.14	4.97	0.32



A partir de los ensayos de laboratorio de mecánica de rocas, se ha obtenido información relevante sobre la resistencia y deformabilidad de la masa rocosa. En la Tabla 8 se muestran los resultados, que incluyen la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta, los valores de la constante "mi" del criterio de falla de Hoek & Brown (2002/2007) y los parámetros de resistencia al corte de Mohr.

“Para estimar los parámetros de resistencia de la masa rocosa, se redujo el criterio de falla generalizado de Hoek & Brown (2002, 2006) con el software ROCLAB de Rocscience Inc. (2007). Se tomaron en cuenta los valores más representativos de la calidad de la masa rocosa, como el índice GSI, la resistencia compresiva uniaxial y la constante "mi" de la roca intacta, que fueron estimados en el presente estudio. Los resultados obtenidos del programa ROCLAB se presentan en el ANEXO N° 02. El módulo de Poisson ( $\mu$ ) corresponde a valores típicos para este tipo de rocas, y el módulo de deformación (E) fue determinado utilizando el criterio de Hoek-Carranza- Torres-Corkum”.

En cuanto al uso de relleno hidráulico en el proceso de minado, se han considerado propiedades específicas, como una densidad de 1,53 g/cm<sup>3</sup> con una compactación promedio del 94%, un módulo de deformación de 40 MPa, una cohesión de 0,06 y un ángulo de fricción de 28.9° (Informe ZER GEOSYSTEM PERU SAC, septiembre de 2013).

En la Tabla 9 se resumen las características de resistencia y deformabilidad de la masa rocosa para los diferentes dominios estructurales, se requiere una visión general de los parámetros obtenidos en este estudio. Esta información es fundamental para comprender el comportamiento del macizo rocoso y tomar decisiones adecuadas en cuanto al diseño de sostenimiento y planificación del minado.

**Tabla 8:** Propiedades de la Resistencia de la masa rocosa

ROCA	Dominio Estructural	Promedio RMR	GSI [1]	$\sigma$ cmr Mpa	Peso Especifico Tn/m3	mmr	smr	amr	Emr Mpa	$\mu$
<i>Diorita</i>	III – A	54	53	19.256	2.7	2.374	0.0024	0.505	9216.4	0.3
	III – B	46	46	16.16	2.7	1.737	0.001	0.508	6159.73	0.3
	IV – A	38	38	13.117	2.7	1.215	0.0004	0.513	3886.53	0.3
	IV – B	27	29	9.492	2.7	0.744	0.0001	0.527	2063.3	0.3
<i>Granito</i>	III – A	54	53	16.136	2.7	1.877	0.0024	0.505	8935.01	0.31
	III – B	46	46	13.51	2.7	1.373	0.001	0.508	5971.66	0.31
	IV – A	38	38	10.941	2.7	0.961	0.0004	0.513	3767.86	0.31
	IV – B	27	29	8.412	2.7	0.643	0.0001	0.524	2244.37	0.31
<i>Granodiorita</i>	III – A	54	53	28.612	2.7	3.218	0.0024	0.505	9508.02	0.3
	III – B	46	46	24.071	2.7	2.354	0.001	0.508	6354.63	0.3
	IV – A	38	38	19.591	2.7	1.647	0.0004	0.513	4009.5	0.3
	IV – B	27	29	15.169	2.7	1.102	0.0001	0.524	2388.31	0.3
<i>Tonalita</i>	III – A	54	53	5.142	2.7	0.989	0.0024	0.505	5881.92	0.32
	III – B	46	46	4.268	2.7	0.723	0.001	0.508	3931.15	0.32
	IV – A	38	38	3.429	2.7	0.506	0.0004	0.513	2489.39	0.32
	IV – B	27	29	2.612	2.7	0.339	0.0001	0.524	1477.47	0.32

## 4.2. Análisis de estabilidad

### 4.2.1. Estabilidad Estructuralmente Controlada

Cuando nos enfrentamos a un macizo rocoso compuesto por bloques generados por las intersecciones de diaclasas, surgen problemas de inestabilidad debido a la posible caída de dichos bloques, ya sea del techo o de los hastiales, dependiendo de la geometría y tamaño de la excavación, así como de la estructura del macizo rocoso en sí.

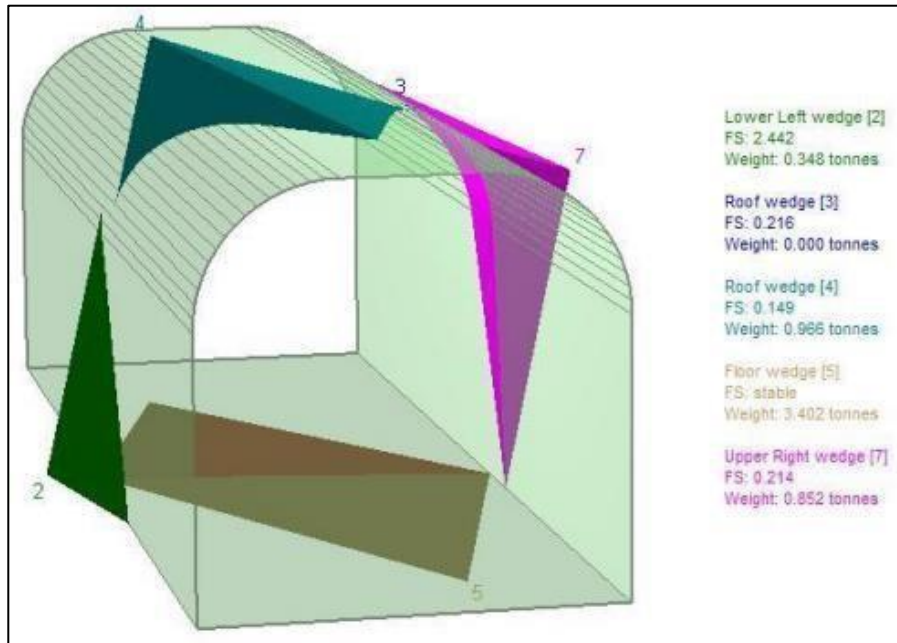
En excavaciones a gran profundidad, los esfuerzos pueden llevar a cabo a la falla del macizo rocoso a lo largo de estas superficies de discontinuidad. Por lo tanto, es crucial realizar un análisis de estabilidad que esté controlado estructuralmente, tomando en cuenta la información desarrollada en este capítulo, como se muestra en la tabla 4 y 5, y utilizando el programa UNWEDGE versión 3.005 de Rocscience.

En el análisis de estabilidad, se ha considerado el conjunto de discontinuidades y su configuración estructural de acuerdo con el avance de la excavación. En el caso de las galerías, subniveles y bypass, se ha tenido en cuenta la orientación paralela a la mineralización, mientras que, en el caso de los cruceros y accesos, se ha considerado una orientación perpendicular a la mineralización. Es importante tener en cuenta que se deben tener en cuenta al menos tres sistemas de discontinuidades en el análisis.

Teniendo en cuenta estos parámetros y utilizando el programa UNWEDGE, se realizará el análisis de estabilidad para evaluar la posible inestabilidad en el macizo rocoso y determinar las medidas de sostenimiento necesarias para garantizar la seguridad de las excavaciones.

**Figura 15:**

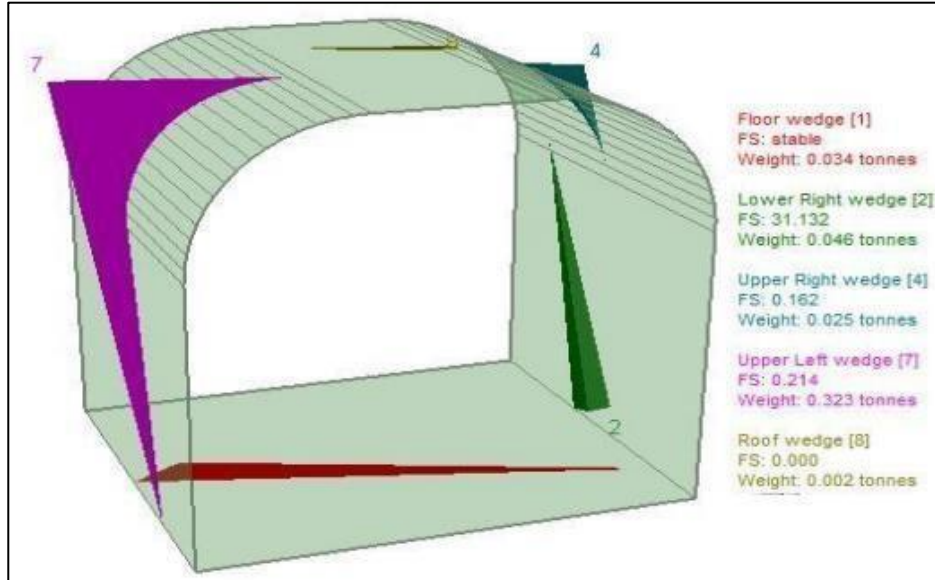
Formación de cuñas, cuando el avance de la excavación está orientado paralelo a la mineralización: Galerías, subniveles, by pass.



**Figura 16:**

Formación de cuñas, cuando el avance de la excavación está orientado perpendicular a la mineralización:

Cruceros y Accesos.



En base al análisis estereográfico en el presente capítulo, se tiene el análisis de formación de bloques tipo cuña (Figura 15 y 16), con los siguientes resultados:

- Del compósito de discontinuidades, en la tabla 4, es evidente la presencia de 4 sistemas bien marcados de discontinuidades, los cuales de acuerdo a las diferentes conjugaciones posibles formarán bloques de diferentes dimensiones y formas, los cuales de acuerdo a la persistencia de las discontinuidades y tamaño de excavación se convertirán en bloques potenciales y críticos.
- Del análisis estructuralmente controlado para excavaciones paralelas a la mineralización (Figura 16) es posible la ocurrencia de bloques clave o bloques críticos en corona con Factores de seguridad debajo de 0.5, el tamaño y peso de dichos bloques será proporcional con el tamaño de la excavación.
- Del análisis estructuralmente controlado para excavaciones perpendiculares a la mineralización, las condiciones son más favorables al caso anterior, con una posible la ocurrencia de bloques críticos y potenciales, de menor tamaño, en corona con Factores de seguridad debajo de 0.5, el tamaño y peso de dichos bloques será proporcional con el tamaño de la excavación.
- En roca de calidad regular a buena para secciones menores a 3.0 m x 3.0m estabilización de los bloques tipo cuña será con pernos posimix de 6 pies y/o Split set de 5 pies, para macizos rocosos de mala calidad se usará malla de 4" x 4" reforzado con shotcrete.

Para la explotación propiamente el análisis de estabilidad se realizará de una perspectiva más amplia, con un análisis de estabilidad controlada por esfuerzos.

#### **4.2.2. Estabilidad Controlada por Esfuerzos**

Con base en los parámetros geomecánicos básicos obtenidos anteriormente, se realizará un análisis de estabilidad controlado por los esfuerzos inducidos debido a las excavaciones subterráneas, específicamente asociado al método de explotación. Para llevar a cabo este análisis, se utilizó el programa PHASE2 versión 6.004 de Rocscience, el cual utiliza el método de elementos finitos para analizar esfuerzos y deformaciones.

El programa PHASE2 permitirá realizar un análisis detallado de la estabilidad del macizo rocoso considerando los esfuerzos y deformaciones generadas por las excavaciones subterráneas. Con este análisis, se podrán evaluar aspectos críticos como la redistribución de esfuerzos, la deformación del macizo rocoso y la interacción con el sostenimiento existente.

El método de elementos finitos utilizados por el programa PHASE2 es una técnica numérica que permite modelar y simular el comportamiento del macizo rocoso en respuesta a las cargas y condiciones de contorno específicas. Esta herramienta tendrá información valiosa para comprender la estabilidad del macizo rocoso, identificar posibles zonas de debilidad y tomar decisiones informadas en términos de diseño de sostenimiento y planificación minera.

El análisis de estabilidad controlado por los esfuerzos inducidos, realizado con el programa PHASE2, ayudará a evaluar la seguridad de las excavaciones subterráneas y tomará las medidas necesarias para garantizar la estabilidad y la integridad del macizo rocoso durante la explotación minera.

#### **Método por corte y relleno ascendente convencional**

En el caso del método de corte y relleno convencional, se han considerado cargas distribuidas generadas por los elementos de soporte, como la madera. El sostenimiento se realiza mediante puntales o, en tramos más desfavorables, mediante cuadros de soporte.

El análisis geomecánico tiene como objetivo evaluar la influencia del minado en el puente de la galería inferior al tajo, así como en el by-pass. A partir de la simulación realizada, se observa que el factor de resistencia se encuentra por encima de 1,5, que es el valor mínimo aceptable en la industria minera, incluso considerando condiciones desfavorables. Además, la simulación confirma que los elementos de soporte, ya sean puntales o madera, responde adecuadamente desde el punto de vista mecánico.

Sin embargo, se evidencia una influencia moderada sobre el by-pass inferior, lo que resulta en una disminución del factor de seguridad a 0,95. Esto indica que en esa zona específica se requiere una mayor atención y posiblemente ajustes adicionales en el diseño del sostenimiento para garantizar la estabilidad y seguridad adecuada.

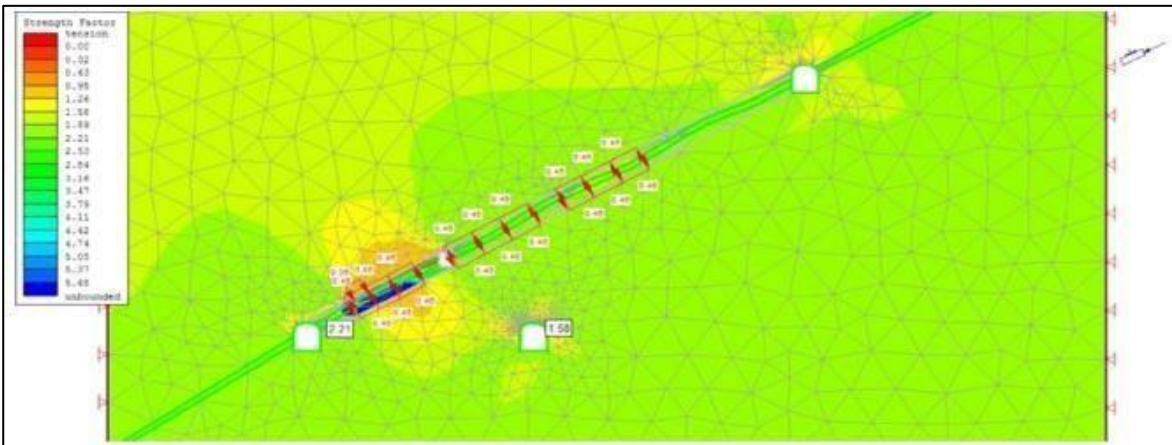
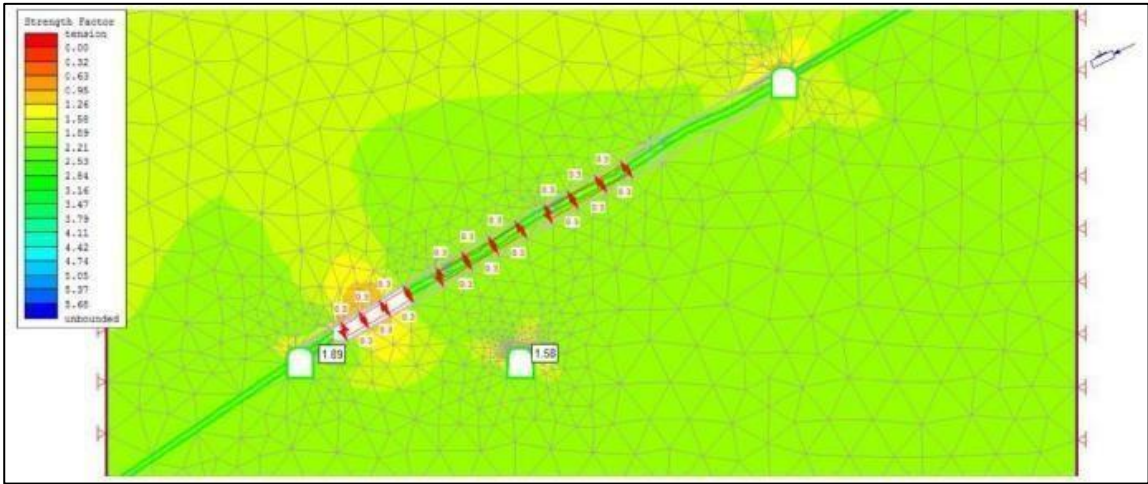
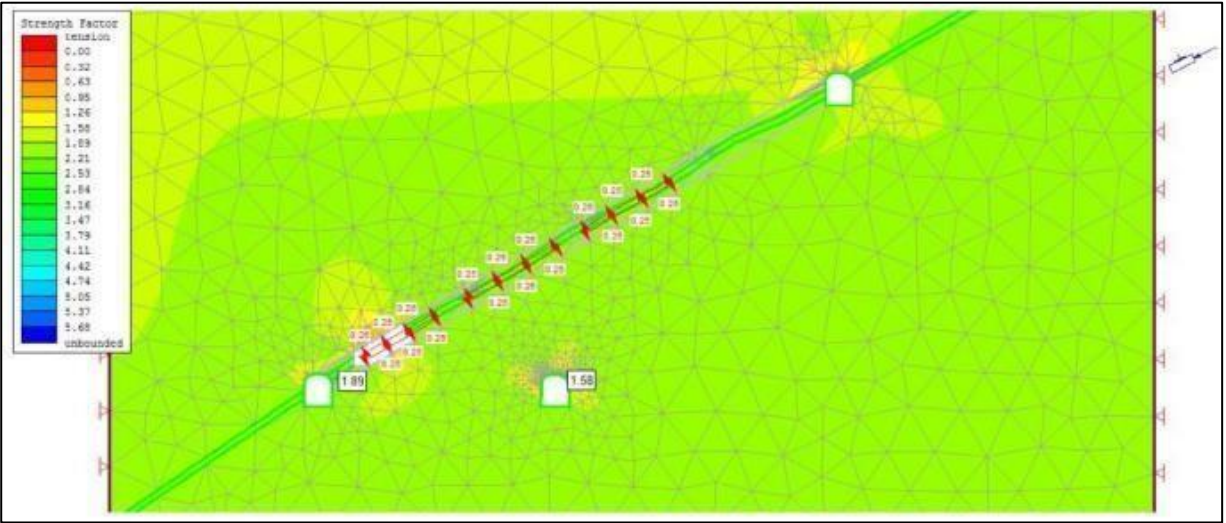
Es importante tener en cuenta estos resultados y considerar medidas adicionales para fortalecer el by-pass inferior y asegurar que cumpla con los requisitos de estabilidad necesarios. Esto podría implicar el uso de elementos de soporte adicionales, como pernos de anclaje o refuerzos estructurales, para mejorar la capacidad de carga y resistencia en esa zona particular.

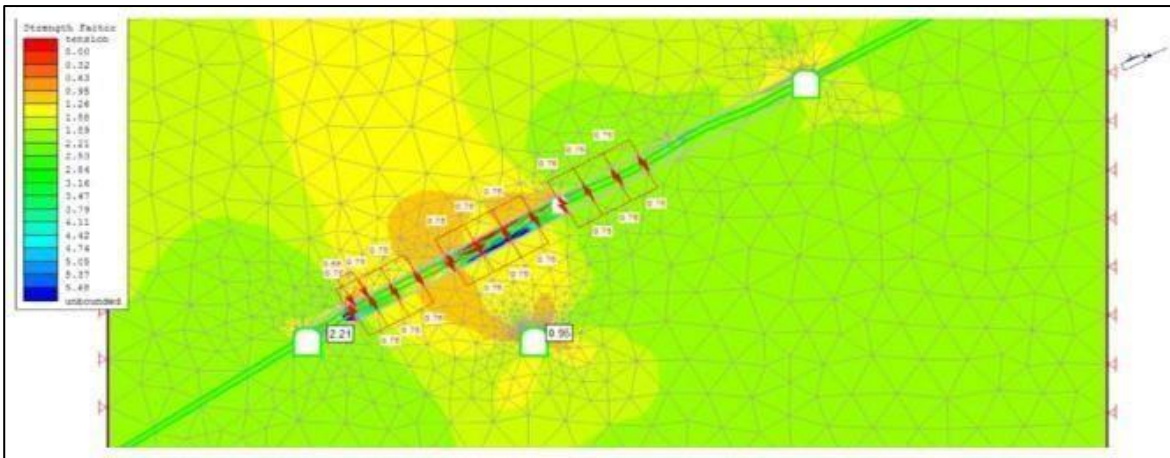
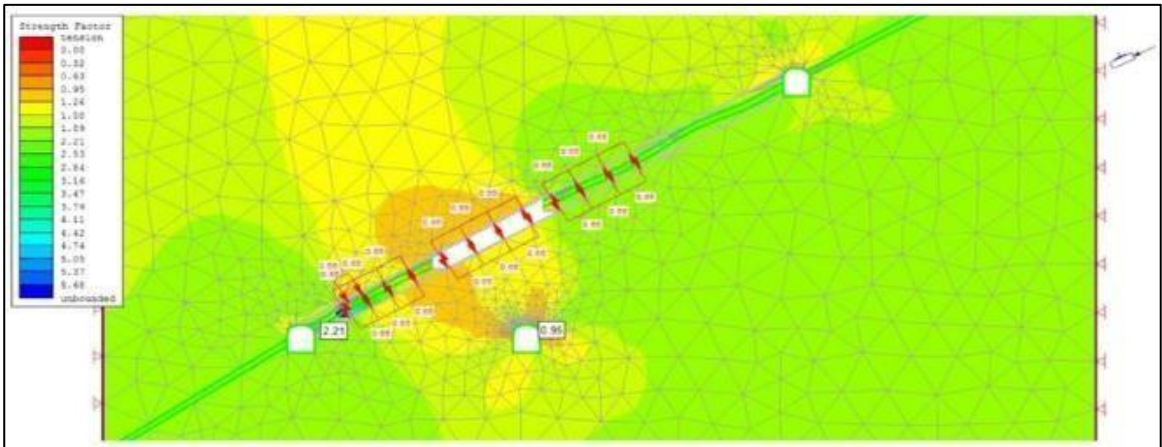
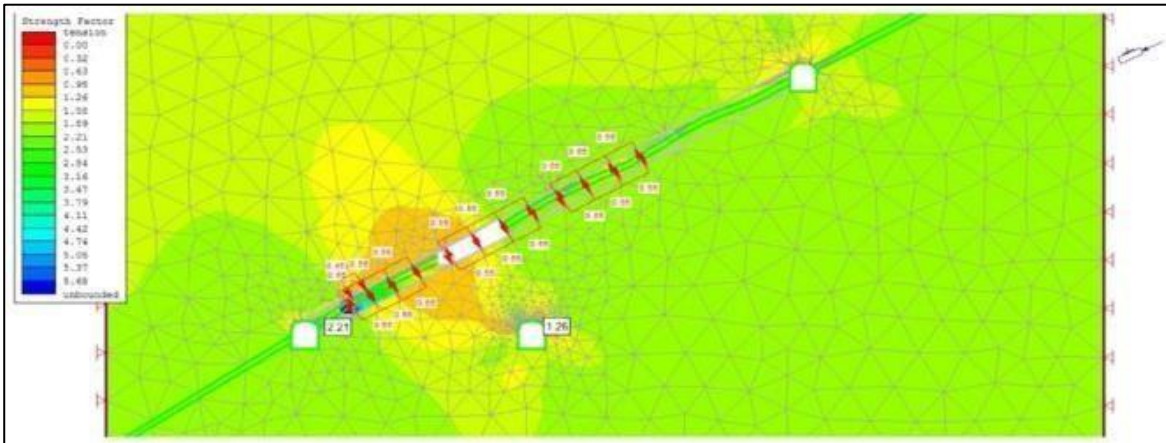
**Figura 17:**

Modelo de malla de elementos finitos para la simulación del minado por corte y relleno ascendente convencional.

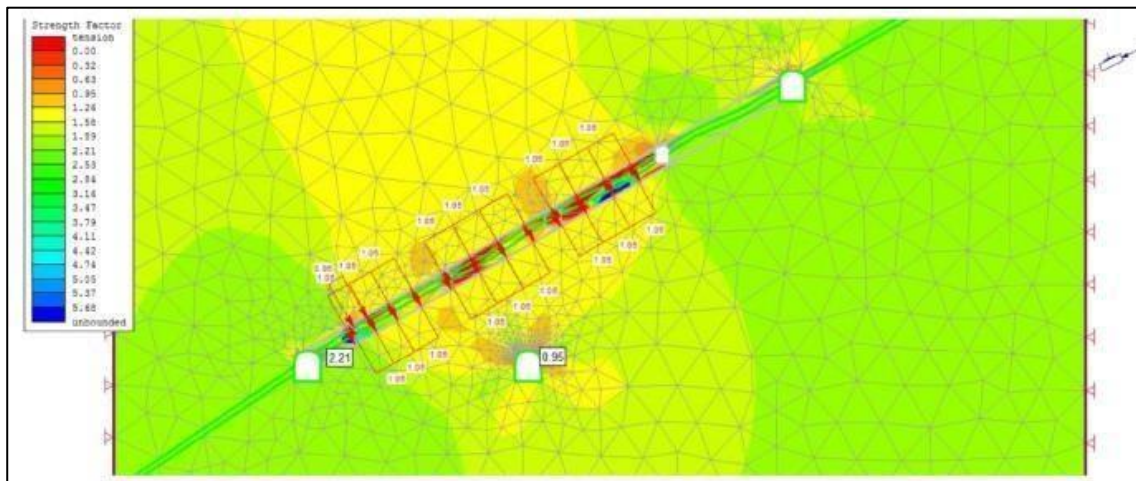
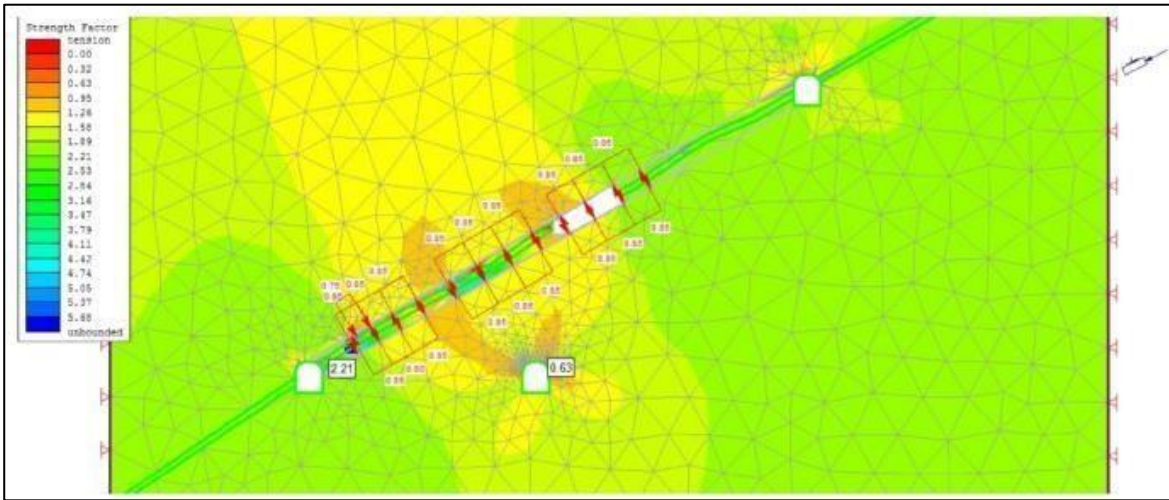












### 4.3. Discusión de trabajos preliminares

Con respecto al objetivo general de investigación, se ha podido establecer que aplicando la metodología de campo es viable obtener óptimos resultados que ayudaran en el proceso de exploración de la veta Lourdes en la Unidad Minera Parcoy.

En este contexto, se ha conseguido establecer las características geomecánicas del sitio, a través de la realización de ensayos de laboratorio y mapeo de campo. La clasificación geomecánica nos muestra que la zona norte del proyecto Parcoy presenta un tipo de roca regular a buena calidad.

En este contexto, el trabajo presentado por Nina, (2017). La evaluación geomecánica y la estabilidad de las labores en el Proyecto San Gabriel se llevaron a cabo utilizando una metodología que involucró trabajo de campo, ensayos de laboratorio y análisis en gabinete. Los resultados obtenidos han sido óptimos y serán de gran ayuda en el proceso constructivo de las labores de exploración en el proyecto. Para evaluar las características geomecánicas del sitio, se realizaron ensayos de laboratorio y mapeo de campo en 40 estaciones geomecánicas utilizando el método de celdas o ventanas. Esto permitió obtener información detallada sobre las características típicas del macizo rocoso presente en el Proyecto San Gabriel. Se identificaron 5 familias de discontinuidades relevantes, con un RQD de valor medio a bueno, espacios muy juntos a extremadamente juntos, persistencia media a alta, superficies rugosas, apertura angosta, relleno típico de óxido y condiciones de humedad. La clasificación geomecánica revela que el Proyecto San Gabriel presenta un tipo de roca de calidad regular a buena. Se realizaron evaluaciones de estabilidad utilizando métodos empíricos, lo cual determinó las condiciones de estabilidad, el tiempo de autosostenimiento y el tipo de sostenimiento requerido. Se disminuyó que las excavaciones de sección 3.5 x 3.5 m, como las Cortadas de exploración, en su mayoría no requieren sostenimiento. Sin embargo, en caso de encontrarse terrenos de mala calidad, se deberá evaluar la necesidad de sostenimiento. En el caso de la Rampa San Gabriel, que tiene una sección de 4,5 x 4,5 m, se requiere un sostenimiento permanente, como pernos helicoidales distribuidos de manera sistemática. Por otro lado, las excavaciones de sección 7,0 x 7,0 m, destinadas a ser Cámaras de perforación diamantina, necesitarán un sostenimiento más robusto, como el uso de Shotcrete y pernos distribuidos de manera sistemática. Por último, se realizaron modelamientos numéricos utilizando el método de esfuerzo-deformación para validar la estabilidad de las excavaciones. Estos análisis numéricos proporcionan una mayor confianza en la estabilidad de las labores en el Proyecto San Gabriel.

“En relación a la evaluación geomecánica para determinar el tipo óptimo de sostenimiento, se ha determinado en este trabajo que la caracterización geomecánica del macizo rocoso se basa en clasificaciones geomecánicas. Estas clasificaciones surgieron como respuesta a la necesidad de parametrizar observaciones y datos empíricos de manera integrada, con el fin de evaluar el tipo de sostenimiento requerido en la construcción de labores. Los resultados indican que los índices geomecánicos varían según la clasificación geomecánica de Bieniawski. Además, se ha observado que la calidad de la masa rocosa se clasifica como Regular III-A, Regular III-B, Mala IV-A y Mala IV-B, con valores de RMR de 55, 47, 41 y 27, respectivamente”.

En un contexto similar, Quispe (2018), “cuyo objetivo fue determinar la influencia de la evaluación geomecánica en la selección del tipo de sostenimiento en el túnel Yauricocha del Nivel 720, Sociedad Minera Corona SA - 2018, menciona que la caracterización geomecánica del macizo rocoso es un método utilizado en la Ingeniería Geológica para evaluar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos y determinar los parámetros geológicos de diseño y el tipo de sostenimiento adecuado para un túnel. Los resultados indican que los índices geomecánicos del túnel Yauricocha varían según la clasificación geomecánica de Bieniawski. Asimismo, se ha determinado que la calidad de la masa rocosa se clasifica como Regular III-A, Regular III-B, Mala IV-A y Mala IV-B, con valores de RMR de 52, 49, 40 y 25, respectivamente”.

#### **4.4. Prueba de hipótesis**

En las pruebas de normalidad realizadas, se utilizaron los datos estadísticos

correspondientes a la hipótesis general y las hipótesis específicas formuladas. Para evaluar la normalidad de los datos, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, que es una prueba comúnmente utilizada para determinar si una muestra sigue una distribución normal.

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk se realizó de manera individual para cada hipótesis, y se evaluaron los datos correspondientes a cada una de ellas. Esta prueba permite determinar si los datos se ajustan a una distribución normal o si se desvían significativamente de ella.

Al utilizar la prueba de Shapiro-Wilk, se pudo analizar la normalidad de los datos para cada hipótesis formulada, proporcionando información sobre la adecuación de los datos a una distribución normal.

### **Hipótesis General.**

Se muestra en la Tabla 9, los datos correspondientes al promedio a los factores de seguridad para garantizar obtenidos según parámetros de simulación numérica, las cuales fueron sometidas a cálculos con el SPSS Statistics 25.

- 1) Estableciendo las hipótesis estadísticas
  - $H_0$ : los datos provienen de una distribución normal (hipótesis nula)
  - $H_1$ : los datos no provienen de una distribución normal
- 2) Nivel de significancia(sig.)  $\alpha = 0.050$
- 3) Estadístico de prueba: shapiro wilk
- 4) Regla de decision

Se rechaza  $H_0$  si el sig. valor es menor a 0.050

**Tabla 9:** Prueba de normalidad.

Shapiro-Wilk		
Estadístico	gl	Sig.
0,964	3	0,637
0,750	3	0,500
0,964	3	0,637
1,000	3	1,000

5) Decisión: En conclusión, se acepta la hipótesis nula ya que los niveles de significación asintótica bilateral obtenidos (0.637, 0.500, 0.637 y 1.00) son mayores que el nivel de significación establecido ( $\alpha = 0.050$ ). Esto indica que la distribución de la variable "factor de seguridad" no se desvía significativamente de una distribución normal. Por lo tanto, se recomienda utilizar una prueba paramétrica para evaluar la hipótesis planteada. Para nuestro análisis en base a una evaluación en condiciones pre test, donde no

a) Estableciendo las hipótesis estadísticas

- $H_0$ : El incremento del factor de seguridad no garantiza el sostenimiento de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023
- $H_1$ : El incremento del factor de seguridad garantiza el sostenimiento de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023

**Tabla 10:** Prueba T para comparar una muestra a un valor

Pre test – Pos test	t	gl	Sig. (bilateral)
0.8 vs 1.06	-19,053	2	0,003
0.6 vs 0.93	-8,693	2	0,013

0.97 vs 1.42

-17,321 2

0,003

- Para un 95% de nivel de confianza se rechaza la  $H_0$ , es decir se asevera que: El incremento del factor de seguridad no garantiza el sostenimiento de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023.

## CONCLUSIONES

En respuesta al objetivo general, se ha logrado determinar que la evaluación geomecánica influye en el diseño de sostenimiento de las zonas de producción norte, en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023, puesto que se ha conseguido establecer las características geomecánicas del sitio, a través de la realización de ensayos de laboratorio y mapeo de campo. La clasificación geomecánica nos muestra que la zona norte del proyecto Parcoy presenta un tipo de roca regular a buena calidad.

En relación al primer objetivo de investigación, se ha determinado que las características geomecánicas del macizo rocoso de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023, presentan la siguiente configuración

En relación a la evaluación geomecánica realizada para determinar el tipo de sostenimiento más adecuado, este estudio ha permitido establecer que la caracterización geomecánica del macizo rocoso se basa en clasificaciones geomecánicas. Estas clasificaciones surgieron para parametrizar de manera integrada observaciones y datos empíricos, con el objetivo de evaluar el tipo de sostenimiento necesario en la construcción de labores. Los resultados obtenidos indican que los índices geomecánicos varían según la clasificación geomecánica de Bieniawski. En este sentido, se ha determinado que la calidad de la masa rocosa presenta los siguientes niveles: Regular III-A, Regular III-B, Mala IV-A y Mala IV-B, con valores de RMR de 55, 47, 41 y 27 respectivamente.

En relación al factor de seguridad óptimo necesario para garantizar el sostenimiento de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023, se ha



determinado que, según los resultados de la simulación realizada, el factor de resistencia se encuentra por encima de 1.5. Este valor se considera el mínimo aceptable en la industria minera, incluso en condiciones desfavorables. Además, la simulación confirma que los elementos de soporte, como los puntales o la madera, responden de manera adecuada desde el punto de vista mecánico. No obstante, se observa una influencia moderada en el by-pass inferior, lo que reduce el factor de seguridad a 0.95.

## **RECOMENDACIONES**

Se sugiere profundizar en la evaluación geotécnica, para poder definir otros factores que puedan ser influyentes en el diseño de sostenimiento de las zonas de producción norte, en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad.

se recomienda realizar un plan de implementación y monitoreo de equipos geotécnicos que ayuden a conocer in situ las propiedades de los materiales en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad.

mejorar los estándares de sostenimiento para garantizar que la aplicación del sostenimiento sea eficiente en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baltazar Campos, R. (2017). *Programa de autogestión en seguridad y salud en el trabajo*. Villa de Álvarez: Instituto Tecnológico de Colima - México.
- Bujaico, C., & Gonzales, A. (2021). Categorización geomecánica del macizo rocoso en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el sostenimiento. *Para optar el título de ingeniero de minas*. Repositorio Universidad Continental, Huancayo. Obtenido de [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10459/2/IV\\_FIN\\_110\\_TE\\_Bujaico\\_Gonzales\\_2021.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10459/2/IV_FIN_110_TE_Bujaico_Gonzales_2021.pdf)
- Carrasco, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos. Obtenido de [https://www.academia.edu/26909781/Metodologia\\_de\\_La\\_Investigacion\\_Cientifica\\_Carrasco\\_Diaz\\_1](https://www.academia.edu/26909781/Metodologia_de_La_Investigacion_Cientifica_Carrasco_Diaz_1)
- Castilla Ramos, O. (2012). Observación de conductas inseguras en el trabajo: un análisis metodológico. *Universitas Psychologica*, 311 - 321.
- Cerdas, J. (2013). Uso de la clasificación geomecánica utilizando el método RMR para la estimación preliminar de los requerimientos de sostenimiento de los taludes en el cerro La Potra del Proyecto Hidroeléctrico Bajo Frio, República de Panamá. *Artículo*. Repositorio ICOTEC, Panamá.
- D.SN°055-2010-EM. (s.f.).
- INGEMET. (2018). Boletín serie B Geología económica. *Boletín serie B Geología económica*. Ingemet, Lima. Obtenido de [https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/1854/1/B055-BoletinProspeccion\\_geologica\\_minera\\_La\\_Libertad.pdf](https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/1854/1/B055-BoletinProspeccion_geologica_minera_La_Libertad.pdf)
- Organización Internacional del Trabajo. (10 de 10 de 2021). *Seguridad y salud en el trabajo*. Obtenido de Seguridad y salud en el trabajo: <https://www.ilo.org/global/topics/safety-andhealth-at-work/lang--es/index.htm>
- OSINERMIN. (2017). Guía de criterios geomecánicos en minería subterránea como herramienta para la prevención de accidentes fatales por caída de roca. *Concytec*, 1, 12. Obtenido de [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf)
- PALACIOS, L. (2020). Evaluación geomecánica de la masa rocosa para la explotación del tajo 6380 NV. 2910 Compañía Minera Poderosa - 2020. *Para optar el título de ingeniero de minas*. Repositorio institucional Universidad Continental, Huancayo. Obtenido de [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8744/4/IV\\_FIN\\_110\\_TE\\_Palacios\\_Quispe\\_2020.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8744/4/IV_FIN_110_TE_Palacios_Quispe_2020.pdf)

SERNAGEOMIN. (2017). Premio Anual de Seguridad Minera 2017. *Servicio Nacional de Geología y Minas*. Obtenido de <https://www.sernageomin.cl/sernageomin-entrega-premioanual-de-seguridad-minera-2017/>

SNMPE. (2023). Sociedad Nacional de Petróleo y Energía. *Sociedad Nacional de Petróleo y Energía*. SNMPE, Lima. Obtenido de <https://www.snmpe.org.pe/>

## ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de consistencia

Anexo 1: Matriz de consistencia					
Problema general	Objetivo general	Hipotesis general	Variable	Indicadores	Metodologia
¿En qué medida la evaluación geomecánica influye en el diseño de sostenimiento de las zonas de producción norte y sur, unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023?	Determinar en que medida la evaluación geomecánica influye en el diseño de sostenimiento de las zonas de producción norte y sur, unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023.	¿En qué medida la evaluación geomecánica influye en el diseño de sostenimiento de las zonas de producción norte, unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023?	<b>Variable Independiente</b> Evaluación geomecánica	Clasificación RMR	Ámbito: Temporal : 2022 - 2023 Espacial : empresa VRD Minería y Construcción SAC Tipo de investigación Aplicada Nivel de investigación Explicativo Método de investigación General: Científico Específico: Inductivo–deductivo  Diseño de estudio Cuasi Experimental
				Diseño del diagrama de perforación	
				Parámetros técnicos en el diagrama de perforación	
¿Cuáles son las características geomecánicas del macizo rocoso de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023?	Conocer las características geomecánicas del macizo rocoso de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023.	Las características geomecánicas del macizo rocoso son adecuadas en las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023.			
¿Cuál es el tipo de sostenimiento a diseñar de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023?	Determinar el tipo de sostenimiento a diseñar de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023.	El tipo de sostenimiento a diseñar debe ser adecuado en las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023.	<b>Variable Dependiente</b> Diseño de sostenimiento	Cumplimiento del avance programado	

<p>¿Cual es el factor de seguridad óptimo para garantizar el sostenimiento de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023?</p>	<p>Evaluar el factor de seguridad óptimo para garantizar el sostenimiento de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023.</p>	<p>El factor de seguridad será óptimo para garantizar el sostenimiento de las zonas de producción norte en la unidad minera acumulación Parcoy, La Libertad 2023.</p>		<p>% de mejora en el avance lineal en las excavaciones</p>	<p>Instrumento y técnica ficha de mapeo geomecánico Observación Procesamiento Presentación descriptiva con tablas de frecuencia, gráficos y estadística inferencial.</p>
---	--	---	--	--	--

**Anexo 2: valoración y clasificación geo mecánica de RMR de bieniewski**  
**Clasificación RMR Geomecánica de Bieniawski 1989: Parámetros de clasificación**

PARAMETRO		ESTIMACION Y ESCALA DE VALORES							
1	Resistencia de la roca sana	Carga puntual MPa ⇔ Kg/cm <sup>2</sup> (aprox) ⇔	> 10 100	4 – 10 40 - 100	2 – 4 20 - 40	1 – 2 10 - 20	Únicamente Compresión Simple		
		Compr. Simple MPa ⇔ Kg/cm <sup>2</sup> (aprox) ⇔	> 250 >2 500	100 – 250 1 000-2 500	50 – 100 500 – 1 000	25 – 50 250 - 500	5-25 50-250	1-5 10-50	< 1 <10
	Valoración	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD %	90 – 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			
	Valoración	20	17	13	8	3			
3	Separación de discontinuidades	> 2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m			
	Valoración	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades <i>(ver guía especial)</i>	Muy rugosas. Discontinuas. Sin separaciones. Borde sano y duro.	Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes duros.	Ligeramente rugosas Abertura <1mm Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1 – 5 mm. Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diaclasa Continua			
	Valoración	30	25	20	10	0			
5	Presencia de agua	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 – 25 L/min	25 – 125 L/min	>125 L/min		
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno $\sigma_w / \sigma_1$	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
	Estado general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo			
	Valoración	15	10	7	4	0			
6	<b>Corrección por orientación de las discontinuidades (ver guía especial)</b>								
	Dirección y Buzamiento		Muy favorable	Favorable	Medio o regular	Desfavorable	Muy desfavorable		
	Valoración para	Túneles	0	- 2	- 5	- 10	- 12		
		Cimentación	0	- 2	- 7	- 15	- 25		
Taludes		0	- 5	- 25	- 50	- 60			

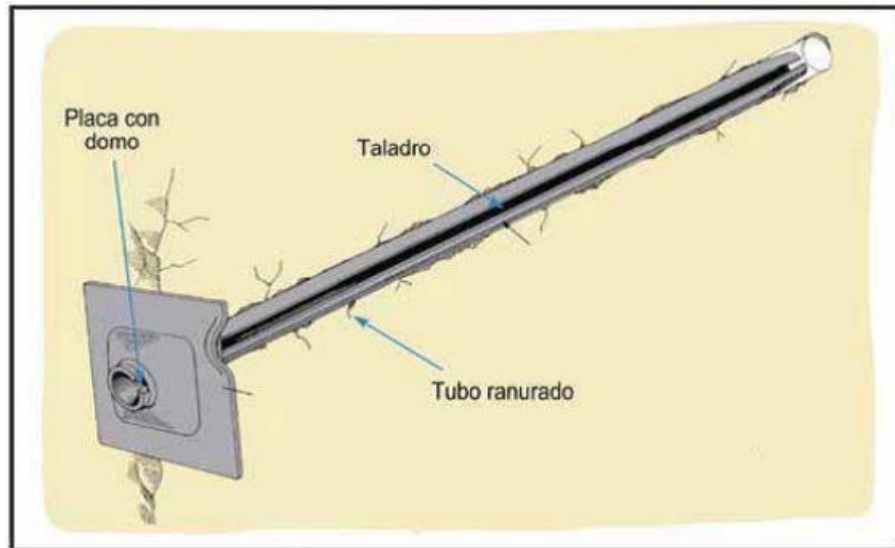
### Anexo 3: matriz de caracterización geo mecánica y geológico del macizo rocoso

Sistema de clasificación geomecánica – Calidad del macizo rocoso Q de Barton									
Parámetro			Rasgo observado						Valor
Índice de calidad de la roca	<b>RQD</b> $RQD = 115 - 3.3 J_v$ $RQD = \frac{\sum \text{trozos mayores a 10 cm}}{\text{Total de la perforacion}} \times 100$								
Índice de familia de juntas	<b>Jn</b>								
Índice de rugosidad de las juntas	<b>Jr</b>								
Índice de meteorización de las juntas	<b>Ja</b>								
Índice de la presencia de agua en las juntas	<b>Jw</b>								
Índice del factor del estado tensional	<b>SRF</b>								
$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$								Q =	
Calidad del macizo rocoso									
Q	1000 - 400	400 - 100	100 - 40	40 - 10	10 - 4	4 - 1	1 - 0.1	0.1 - 0.01	0.01 - 0.001
Descripción	Excepcionalmente bueno	Extremadamente bueno	Muy bueno	Bueno	Regular	Pobre	Muy pobre	Extremadamente pobre	Excepcionalmente pobre

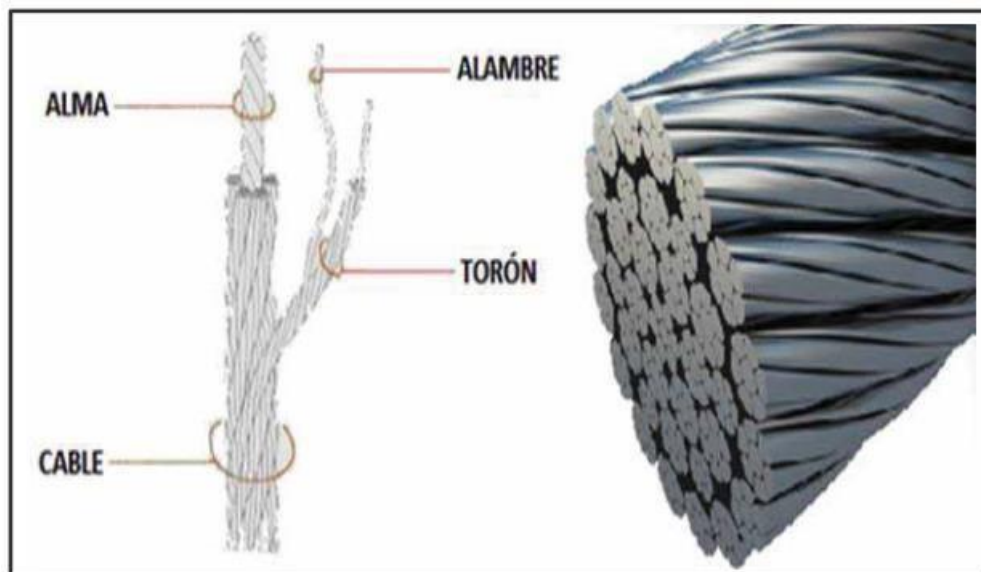


## Anexo 4: Tipos de sostenimiento

Sostenimiento con perno split set



cables de acero



Revestimiento con concreto



Instalación de Sostenimiento con Perno Helicoidal



Perno más malla electrosoldada





Pernos auto perforantes con relleno cementado



Pernos auto perforantes con relleno cementado



Elementos de pre soporte Micropilotes





## Anexo 5: Mapeo geomecanico del macizo rocoso

**CASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA FASE II DE EXCAVACIÓN (TUNEL CASAHUIRI)  
CARRETERA INTEROCEANICA SUR - TRAMO 4**

PROYECTO: VARIANTE CARRETERA CASAHUIRI

UBICACIÓN: SAN GABAN, PROV. CARABAYA, DPTO. PUNO

PROGRESIVA: 0+137.00 - 0+134.50 Bancada derecha

DIREC. TUNEL: N 207°


FECHA: \_\_\_\_\_

AVANCE: 2.50 m

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_

REVISADO POR: \_\_\_\_\_

HOJA: 01



VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)							
PARAMETROS	RANGO DE VALORES VALOR ESTIMADO						VALORACION
R. COMPRES. UNIAIXIAL (Mpa)	> 250 (15)	100 - 250 (12)	50 - 100 (7)	X	25 - 50 (4)	< 25 (2), < 5 (1), < 1 (0)	7
ROD (%)	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	X	25 - 50 (8)	< 25 (3)	13
ESPACIAMIENTO (m)	> 2 (20)	0.8 - 2.0 (15)	0.2 - 0.8 (10)	X	0.06 - 0.2 (8)	< 0.06 (5)	10
CONDICION DE LAS JUNTAS	PERISTENCIA	> 1 m long (8)	1-3 m long (4)	3-10 m (2)	X	10-20 m (1)	> 20 m (0)
	ABERTURA	Comada (8)	> 0.1 mm (5)	0.1-1.0 mm (4)	X	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)
	RUJOSIDAD	Muy Rugosa (8)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	X	Lisa (1)	Espejo de falla (0)
	RELLENO	Limpia (8)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	X	Suave < 5 mm (2)	Suave > 5 mm (0)
ALTERACION	Sana (8)	Lig. Mejor (5)	Mod. Mejor (3)	X	Muy Mejor (1)	Descompuesta (0)	
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Humedo (10)	X	Mojado (7)	Gotas (4)	Fuajo (0)	
<b>VALOR TOTAL RMR (Básico)</b> (Suma de valoración 1 a 5) =							<b>52</b>
<b>RMR CORREGIDO</b>	TUNELES	Muy Favorable (0)	Favorable (-2)	Media (-6)	Desfavorable (-10)	Muy desfavorable (-12)	<b>52</b>
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO (Según RMR Corregido)</b>							
RMR	100 - 70	69 - 55	54 - 40	39 - 0	<b>ST - C</b>		
TIPO	ST - A	ST - B	ST - C	ST - D			

---

**CASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA FASE II DE EXCAVACIÓN (TUNEL)**

PROYECTO: \_\_\_\_\_

UBICACIÓN: \_\_\_\_\_

PROGRESIVA: \_\_\_\_\_

DIREC. TUNEL: N 207°


FECHA: \_\_\_\_\_

AVANCE: 3.10 m

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_

REVISADO POR: \_\_\_\_\_

HOJA: 01



VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)							
PARAMETROS	RANGO DE VALORES VALOR ESTIMADO						VALORACION
R. COMPRES. UNIAIXIAL (Mpa)	> 250 (15)	100 - 250 (12)	50 - 100 (7)	X	25 - 50 (4)	< 25 (2), < 5 (1), < 1 (0)	7
ROD (%)	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	X	25 - 50 (8)	< 25 (3)	13
ESPACIAMIENTO (m)	> 2 (20)	0.8 - 2.0 (15)	0.2 - 0.8 (10)	X	0.06 - 0.2 (8)	< 0.06 (5)	10
CONDICION DE LAS JUNTAS	PERISTENCIA	> 1 m long (8)	1-3 m long (4)	3-10 m (2)	X	10-20 m (1)	> 20 m (0)
	ABERTURA	Comada (8)	> 0.1 mm (5)	0.1-1.0 mm (4)	X	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)
	RUJOSIDAD	Muy Rugosa (8)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	X	Lisa (1)	Espejo de falla (0)
	RELLENO	Limpia (8)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	X	Suave < 5 mm (2)	Suave > 5 mm (0)
ALTERACION	Sana (8)	Lig. Mejor (5)	Mod. Mejor (3)	X	Muy Mejor (1)	Descompuesta (0)	
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Humedo (10)	X	Mojado (7)	Gotas (4)	Fuajo (0)	
<b>VALOR TOTAL RMR (Básico)</b> (Suma de valoración 1 a 5) =							<b>52</b>
<b>RMR CORREGIDO</b>	TUNELES	Muy Favorable (0)	Favorable (-2)	Media (-6)	Desfavorable (-10)	Muy desfavorable (-12)	<b>52</b>
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO (Según RMR Corregido)</b>							
RMR	100 - 70	69 - 55	54 - 40	39 - 0	<b>ST - C</b>		
TIPO	ST - A	ST - B	ST - C	ST - D			

**CASIFICACIÓN GEOMECÁNICA FASE II DE EXCAVACIÓN (TUNEL CASAHURI)  
CARRETERA INTEROCEANICA SUR - TRAMO 4**

PROYECTO: VARIANTE CARRETERA CASAHURI  
 UBICACIÓN: SAN GABAN, PROV. CARABAYA, DPTO. PUNO  
 PROGRESIVA: 0+137.00 - 0+134.50 Bancada derecha

DIREC. TUNEL: N 207°  
 FECHA: \_\_\_\_\_  
 AVANCE: 2.50 m

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_  
 REVISADO POR: \_\_\_\_\_  
 HOJA: 01



VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
PARAMETROS		RANGO DE VALORES VALOR ESTIMADO								VALORACION
R. COMPRES. UNIAXIAL (Mpa)	> 250 (15)	100 - 250 (12)	50 - 100 (7)	X	25 - 50 (4)	< 25 (2), < 5 (1), < 1 (0)			7	
RGD (%)	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	X	25 - 50 (8)	< 25 (3)			13	
ESPACIAMIENTO (m)	> 2 (20)	1.6 - 2.0 (15)	0.2 - 0.8 (10)	X	0.06 - 0.2 (8)	< 0.06 (5)			10	
CONDICION DE LAS JUNTAS	PERISTENCIA	< 1 m long. (8)	1 - 3 m long. (4)	3 - 10 m (2)	X	10 - 20 m (1)	> 20 m (0)		2	
	ABERTURA	Cerrada (8)	< 0.1 mm (5)	0.1 - 1.0 mm (4)	X	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)		4	
	RUJOSIDAD	Muy Rugosa (8)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	X	Lisa (1)	Espajo de falla (0)		3	
	RELLENO	Limpia (8)	Duro < 5mm (4)	Duro < 5mm (2)	X	Suave < 5 mm (2)	Suave < 5 mm (0)		2	
	ALTERACION	Sana (8)	Lig. Meteor. (5)	Med. Meteor. (3)	X	Muy Meteor. (1)	Descompuesta (0)		1	
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Humedo (10)	X	Mojado (7)	Gotas (4)	Flujo (0)			10	
<b>VALOR TOTAL RMR (Básico)</b> (Suma de valoración 1 a 5) =									<b>52</b>	
<b>RMR CORREGIDO</b>	TUNELES	Muy Favorable (0)	Favorable (-2)	Media (-5)	Desfavorable (-10)	Muy desfavorable (-12)			<b>52</b>	
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO (Según RMR Corregido)</b>										
RMR	100 - 70	69 - 55	54 - 40	39 - 0					<b>ST-C</b>	
TIPO	ST - A	ST - B	ST - C	ST - D						

**CASIFICACIÓN GEOMECÁNICA FASE II DE EXCAVACIÓN (TUNEL)**

PROYECTO: \_\_\_\_\_  
 UBICACIÓN: \_\_\_\_\_  
 PROGRESIVA: \_\_\_\_\_

DIREC. TUNEL: N 207°  
 FECHA: \_\_\_\_\_  
 AVANCE: 3.10 m

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_  
 REVISADO POR: \_\_\_\_\_  
 HOJA: 01



VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
PARAMETROS		RANGO DE VALORES VALOR ESTIMADO								VALORACION
R. COMPRES. UNIAXIAL (Mpa)	> 250 (15)	100 - 250 (12)	50 - 100 (7)	X	25 - 50 (4)	< 25 (2), < 5 (1), < 1 (0)			7	
RGD (%)	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	X	25 - 50 (8)	< 25 (3)			13	
ESPACIAMIENTO (m)	> 2 (20)	1.6 - 2.0 (15)	0.2 - 0.8 (10)	X	0.06 - 0.2 (8)	< 0.06 (5)			10	
CONDICION DE LAS JUNTAS	PERISTENCIA	< 1 m long. (8)	1 - 3 m long. (4)	3 - 10 m (2)	X	10 - 20 m (1)	> 20 m (0)		2	
	ABERTURA	Cerrada (8)	< 0.1 mm (5)	0.1 - 1.0 mm (4)	X	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)		4	
	RUJOSIDAD	Muy Rugosa (8)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	X	Lisa (1)	Espajo de falla (0)		3	
	RELLENO	Limpia (8)	Duro < 5mm (4)	Duro < 5mm (2)	X	Suave < 5 mm (2)	Suave < 5 mm (0)		2	
	ALTERACION	Sana (8)	Lig. Meteor. (5)	Med. Meteor. (3)	X	Muy Meteor. (1)	Descompuesta (0)		1	
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Humedo (10)	X	Mojado (7)	Gotas (4)	Flujo (0)			10	
<b>VALOR TOTAL RMR (Básico)</b> (Suma de valoración 1 a 5) =									<b>52</b>	
<b>RMR CORREGIDO</b>	TUNELES	Muy Favorable (0)	Favorable (-2)	Media (-5)	Desfavorable (-10)	Muy desfavorable (-12)			<b>52</b>	
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO (Según RMR Corregido)</b>										
RMR	100 - 70	69 - 55	54 - 40	39 - 0					<b>ST-C</b>	
TIPO	ST - A	ST - B	ST - C	ST - D						



**CASIFICACIÓN GEOMECÁNICA FASE II DE EXCAVACIÓN (TUNEL CASAHUIRI)  
CARRETERA INTEROCEANICA SUR - TRAMO 4**

PROYECTO: VARIANTE CARRETERA CASAHUIRI  
 UBICACIÓN: SAN GABAN, PROV. CARABAYA, DPTO. PUNO  
 PROGRESIVA: 0+137.00 - 0+134.50 Bancada derecha

DIREC. TUNEL: N 207°  
 FECHA: \_\_\_\_\_  
 AVANCE: 2.50 m  
 REALIZADO POR: \_\_\_\_\_  
 REVISADO POR: \_\_\_\_\_  
 HOJA: 01



VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
PARAMETROS	RANGO DE VALORES VALOR ESTIMADO								VALORACION
R. COMPRES. UNIAIXIAL (Mpa)	> 250 (15)	100 - 250 (12)	50 - 100 (7)	X	25 - 50 (4)			< 25 (2), < 5 (1), < 1 (0)	7
RQD (%)	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	X	25 - 50 (8)			< 25 (3)	13
ESPACIAMIENTO (m)	> 2 (20)	0.6 - 2.0 (15)	0.2 - 0.6 (10)	X	0.06 - 0.2 (6)			< 0.06 (5)	10
CONDICION DE LAS JUNTAS	PERSISTENCIA	< 1 m long (6)	1 - 3 m long (4)	3 - 10 m (2)	X	10 - 20 m (1)		> 20 m (0)	2
	ABERTURA	Cerrada (6)	< 0.1 mm (5)	0.1 - 1.0 mm (4)	X	1 - 5 mm (1)		> 5 mm (0)	4
	RUJOSIDAD	Muy Rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	X	Lisa (1)		Espejo de falla (0)	3
	RELLENO	Limpio (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)		Scase < 5 mm (2)	X	Scase > 5 mm (0)	2
	ALTERACION	Sana (6)	Lig. Meteor. (5)	Mod. Meteor. (3)		Muy Meteor. (1)	X	Descompuesta (0)	1
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Humedo (10)	X	Mojado (7)		Goteo (4)		Flujo (0)	10
<b>VALOR TOTAL RMR (Básico)</b> (Suma de valoración 1 a 5) =									<b>52</b>
<b>RMR CORREGIDO</b>	TUNELES	Muy Favorable (0)	Favorable (-2)	Media (-5)	Desfavorable (-10)	Muy desfavorable (-12)			<b>52</b>
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO (Según RMR Corregido)</b>									
<b>RMR</b>	100 - 70	69 - 55	54 - 40	39 - 0					<b>ST-C</b>
<b>TIPO</b>	ST - A	ST - B	ST - C	ST - D					

**CASIFICACIÓN GEOMECÁNICA FASE II DE EXCAVACIÓN (TUNEL)**

PROYECTO: \_\_\_\_\_  
 UBICACIÓN: \_\_\_\_\_  
 PROGRESIVA: \_\_\_\_\_

DIREC. TUNEL: N 207°  
 FECHA: \_\_\_\_\_  
 AVANCE: 3.10 m  
 REALIZADO POR: \_\_\_\_\_  
 REVISADO POR: \_\_\_\_\_  
 HOJA: 01



VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
PARAMETROS	RANGO DE VALORES VALOR ESTIMADO								VALORACION
R. COMPRES. UNIAIXIAL (Mpa)	> 250 (15)	100 - 250 (12)	50 - 100 (7)	X	25 - 50 (4)			< 25 (2), < 5 (1), < 1 (0)	7
RQD (%)	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	X	25 - 50 (8)			< 25 (3)	13
ESPACIAMIENTO (m)	> 2 (20)	0.6 - 2.0 (15)	0.2 - 0.6 (10)	X	0.06 - 0.2 (6)			< 0.06 (5)	10
CONDICION DE LAS JUNTAS	PERSISTENCIA	< 1 m long (6)	1 - 3 m long (4)	3 - 10 m (2)	X	10 - 20 m (1)		> 20 m (0)	2
	ABERTURA	Cerrada (6)	< 0.1 mm (5)	0.1 - 1.0 mm (4)	X	1 - 5 mm (1)		> 5 mm (0)	4
	RUJOSIDAD	Muy Rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	X	Lisa (1)		Espejo de falla (0)	3
	RELLENO	Limpio (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)		Scase < 5 mm (2)	X	Scase > 5 mm (0)	2
	ALTERACION	Sana (6)	Lig. Meteor. (5)	Mod. Meteor. (3)		Muy Meteor. (1)	X	Descompuesta (0)	1
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Humedo (10)	X	Mojado (7)		Goteo (4)		Flujo (0)	10
<b>VALOR TOTAL RMR (Básico)</b> (Suma de valoración 1 a 5) =									<b>52</b>
<b>RMR CORREGIDO</b>	TUNELES	Muy Favorable (0)	Favorable (-2)	Media (-5)	Desfavorable (-10)	Muy desfavorable (-12)			<b>52</b>
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO (Según RMR Corregido)</b>									
<b>RMR</b>	100 - 70	69 - 55	54 - 40	39 - 0					<b>ST-C</b>
<b>TIPO</b>	ST - A	ST - B	ST - C	ST - D					



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

### ACTA N° 061-2023-FIMGC

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 334-2023-FIMGC-D**, siendo veintiocho días del mes de agosto del 2023, a horas 8:00 am.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditorium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis compuesto por el presidente el **Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**, Jurado el **MSc. Ing. Roberto GUTIERREZ PALOMINO**, Jurado el **MSc. Ing. Amílcar TACURI GAMBOA**, Jurado - Asesor el **Dr. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS** y secretario del proceso el **Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada titulado: “**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO DE LAS ZONAS DE PRODUCCIÓN NORTE UNIDAD MINERA ACUMULACIÓN PARCOY, LA LIBERTAD 2023**”, presentado por el/la Sr./Srta., **CARLOS YGNACIO MARIN PEÑA**, Bachiller en **Ciencias de la Ingeniería Minas**.

El Jurado luego de haber recepcionado la sustentación de la tesis y realizado las preguntas, el sustentante al haber dado respuesta a las preguntas, y el Jurado haber deliberado; califica con la nota aprobatoria de **15 (quince)**.

En fe de lo cual, se firma la presente acta, por los miembros integrantes del proceso de sustentación.



Firmado digitalmente por Dr. Ing. Efraín Elías Porras Flores  
Fecha: 2023.09.03 17:44:53 -05'00'

Firmado digitalmente por Roberto J. Gutierrez Palomino

**Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**

Presidente



Firmado digitalmente por Dr. Johnny Henry Ccatamayo Barrios  
Fecha: 2023.08.30 05:55:04 -05'00'

**Dr. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS**

Jurado Asesor

Firmado digitalmente por Ing. Amílcar Tacuri Gamboa  
Fecha: 2023.08.29 16:04:17 -05'00'

**MSc. Ing. Amílcar TACURI GAMBOA**

Jurado

**Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**  
Secretario del Proceso  
Departamento Académico de Matemática y Física



C.c.:  
Bach. CARLOS YGNACIO MARIN PEÑA  
Jurados (4)  
Archivo





UNSCH

FACULTAD DE  
INGENIERÍA  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### CONSTANCIA N° 062-2023-FIMGC

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 288-2023-FIMGC- UNSCH-D**, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

**Apellidos y Nombres** : MARIN PEÑA, Carlos Ygnacio  
**Escuela Profesional** : INGENIERÍA DE MINAS  
**Título de la Tesis** : “EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO DE LAS ZONAS DE PRODUCCIÓN NORTE UNIDAD MINERA ACUMULACIÓN PARCOY, LA LIBERTAD 2023”  
**Evaluación de la Originalidad** : 28 % Índice de Similitud  
**Identificador de la entrega** : 2150057430

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 23 de agosto del 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Mg. Ing. Christian LEZAMA  
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado  
Departamento Académicos de Matemática y Física



Con depósito para Sustentación y Tramites  
Cc. Archivo

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL  
Av. Independencia S/N Ciudad Universitaria  
Central Tel. 066 312510  
Anexo 151

“EVALUACIÓN GEOMECÁNICA  
PARA EL DISEÑO DE  
SOSTENIMIENTO DE LAS ZONAS  
DE PRODUCCIÓN NORTE  
UNIDAD MINERA  
ACUMULACIÓN PARCOY, LA  
LIBERTAD 2023”

*por* Carlos Ygnacio Marin Peña

---

**Fecha de entrega:** 23-ago-2023 12:30p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2150057430

**Nombre del archivo:** Tesis\_MARIN\_PE\_A\_CARLOS\_YGNACIO\_EPIM.pdf (2.6M)

**Total de palabras:** 15142

**Total de caracteres:** 93820

# "EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO DE LAS ZONAS DE PRODUCCIÓN NORTE UNIDAD MINERA ACUMULACIÓN PARCOY, LA LIBERTAD 2023"

## INFORME DE ORIGINALIDAD

**28%**

INDICE DE SIMILITUD

**30%**

FUENTES DE INTERNET

**6%**

PUBLICACIONES

**20%**

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga</b> Trabajo del estudiante	<b>11%</b>
<b>2</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.undac.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>4</b>	<b>1library.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.udec.cl</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.unh.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.unap.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>Submitted to Universidad Continental</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>

9	<a href="http://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
10	<a href="http://inba.info">inba.info</a> Fuente de Internet	<1%
11	<a href="http://repositorio.unsaac.edu.pe">repositorio.unsaac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
12	<a href="http://repositorio.unasam.edu.pe">repositorio.unasam.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
13	<a href="http://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1%
14	SCHLUMBERGER DEL PERU S.A.. "Actualización del Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera Cuajone-IGA0000334", R.D. N° 444-2012-MEM-AAM, 2020 Publicación	<1%
15	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1%
16	<a href="http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es">informesdelaconstruccion.revistas.csic.es</a> Fuente de Internet	<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo