



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“CARACTERIZACIÓN GEOMECANICA DEL MACIZO  
ROCOSO PARA DETERMINAR EL TIPO DE  
SOSTENIMIENTO EN LA CONCESIÓN MINERA  
SUBTERRÁNEA ZENIT 1, DISTRITO SAN LUIS”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Guillermo Jhoel Flores Chavez

Asesor:

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2021

## DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

A mis hermanas por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mis padres, que con su demostración de ser ejemplares me han demostrado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A toda mi familia, por su apoyo incondicional y por demostrarme la gran fe que tienen en mí.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este trabajo de investigación.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>7</b>
<b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
1.1. Realidad problemática .....	8
1.2. Formulación del problema .....	12
1.3. Objetivos.....	12
1.4. Hipótesis .....	12
<b>CAPITULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>14</b>
2.1. Tipo de investigación.....	14
2.2. Población .....	14
2.3. Muestra .....	14
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	14
2.5. Procedimiento .....	15
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>16</b>
3.1. Aspectos generales de la zona de estudio.....	16
3.2. Análisis de estaciones geomecánicas .....	23
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>55</b>
4.1. Discusión .....	55
4.2. Conclusiones .....	57
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>59</b>
Anexo N° 1: Instrumentos de investigación: Tabla de clasificación de resistencia .....	59
Anexo N° 2: Instrumentos de investigación: Tabla de clasificación de presencia de agua.....	59
Anexo N° 3: Instrumentos de investigación: Tabla de clasificación de RQD .....	59
Anexo N° 4: Instrumentos de investigación: Tabla de clasificación de espaciado entre discontinuidades .....	60
Anexo N° 5: Instrumentos de investigación: Tabla de descripción del espaciado entre discontinuidades .....	60
Anexo N° 6: Instrumentos de investigación: Tabla de la clasificación de la persistencia .....	60
Anexo N° 7: Instrumentos de investigación: Tabla de descripción de la abertura.....	61
Anexo N° 8: Instrumentos de investigación: Tabla de descripción de la rugosidad .....	61
Anexo N° 9: Instrumentos de investigación: Tabla de descripción del relleno .....	61
Anexo N° 10: Instrumentos de investigación: Tabla de descripción de la meteorización .....	62
Anexo N° 11: Instrumentos de investigación: Tabla de clasificación del RMR .....	62
Anexo N° 12: Instrumentos de investigación: Ficha de toma de datos de campo .....	64
Anexo N° 13: Plano geomecánico .....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas de localización de la zona de estudio.....	16
Tabla 2	Vértices de la concesión Zenit 1 .....	16
Tabla 3	Distancia y tiempo de acceso a la concesión Zenit 1. ....	18
Tabla 4	Resistencia a la compresión simple.....	25
Tabla 5	Obtención del RQD EG-1 mediante el software Geotable.....	26
Tabla 6	Clasificación según RMR de Bieniawski para la estación geomecánica n°1.....	28
Tabla 7	Clasificación según el RMR de Bieniawski para la estación geomecánica N°1...	29
Tabla 8	Tiempos máximos y mínimos de sostenimiento EG-1 .....	30
Tabla 9	Resistencia a la compresión simple EG-2 .....	31
Tabla 10	Obtención del RQD EG-2 mediante el software Geotable.....	32
Tabla 11	Calidad del macizo rocoso RQD de EG-2.....	33
Tabla 12	Clasificación RMR de Bieniawski EG-2.....	34
Tabla 13	Clase del macizo rocoso según Bieniawski EG-2 .....	35
Tabla 14	Obtención del RQD EG-3 mediante el software Geotable.....	37
Tabla 15	Clasificación RMR de Bieniawski EG-3.....	39
Tabla 16	Clase del macizo rocoso según Bieniawski EG-3 .....	40
Tabla 17	Obtención del RQD EG-4 mediante el software Geotable.....	42
Tabla 18	Clasificación RMR de Bieniawski EG-4.....	44
Tabla 19	Clase del macizo rocoso según Bieniawski EG-4 .....	45
Tabla 20	Configuración del Shotcrete y pernos .....	51
Tabla 21	Resistencia de la muestra. ....	59
Tabla 22	Presencia de agua. ....	59
Tabla 23	Determinación del RQD.....	59
Tabla 24	Espaciado entre discontinuidades.....	60
Tabla 25	Descripción del espaciado. ....	60
Tabla 26	Descripción de persistencia. ....	60
Tabla 27	Abertura de las discontinuidades.....	61
Tabla 28	Clasificación de la rugosidad.....	61
Tabla 29	Relleno de las discontinuidades.....	61
Tabla 30	Meteorización de las discontinuidades.....	62
Tabla 31	Cálculo del RMR para el macizo rocoso.....	62
Tabla 32	Ficha de toma de datos de campo.....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zona de la ubicación de la concesión minera Zenit 1.....	17
Figura 2: Ruta de acceso a la mina Zenit 1 por Cajamarca.....	18
Figura 3: Estructura mineralizada. La presencia de minerales asociados como pirita, galena y esfalerita típico de un yacimiento polimetálico.....	22
Figura 4: Lectura de rumbo y buzamiento.....	23
Figura 5. Familias de discontinuidades en la estación 1.....	24
Figura 6: Estación geomecánica del macizo rocoso N°1.....	27
Figura 7. Familias de discontinuidades en la estación 2.....	31
Figura 8: Estación geomecánica del macizo rocoso N°2.....	33
Figura 9. Familias de discontinuidades en la estación 3.....	36
Figura 10: Estación geomecánica N° 3.....	38
Figura 11. Familia de discontinuidades de la estación 4.....	41
Figura 12: Estación geomecánica n° 4.....	43
Figura 13: Diseño de cuadros de madera.....	48
Figura 14: Desprendimiento de rocas.....	48
Figura 15: Pernos Split.....	49
Figura 16: Pernos Split en la labor minera Zenit 1.....	50
Figura 17: Shotcrete en la labor minera.....	52
Figura 18: Diseño de malla.....	53
Figura 19: Elementos de sostenimiento en Zenit 1, en base la clasificación del RMR de Bieniawski.....	54

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso para determinar el tipo de sostenimiento en la concesión minera subterránea Zenit 1, distrito San Luis, para ello se tuvieron objetivos específicos que fueron evaluar los parámetros geomecánicos, determinar el tipo de sostenimiento adecuado para la extracción del mineral y relacionar el RMR de Bieniawski con el Q de Barton para un sostenimiento adecuado con la finalidad de reducir los riesgos de los trabajadores para la extracción del mineral en la concesión minera subterránea Zenit 1. El tipo de investigación utilizada para el desarrollo es de observación directa y descriptiva del macizo rocoso in situ a lo largo de la concesión minera subterránea Zenit 1. Se realizó el mapeo geomecánico del macizo rocoso para determinar un tipo de sostenimiento adecuado y de acuerdo a los datos obtenidos de la caracterización del macizo rocoso es mala debido al afloramiento que alteraron el macizo rocoso siendo esta inestable para su extracción del mineral. Se evaluó los parámetros geomecánicos de RMR de Bieniawski y se determinó que el tipo de sostenimiento depende de la calidad del macizo rocoso y su competencia. para determinar mediante estudios geomecánicos el tipo de sostenimiento y el tiempo el cual va a durar para las labores mineras. En relación al objetivo de la lección de la metodología se encontró que el estudio más completo es de realizar mediante uso de simulación de programas de sostenimientos y esfuerzos tensional del macizo rocoso para evaluar y determinar con mejor aceptación la determinación de un tipo de sostenimiento más adecuado para la extracción de mineral en las labores subterráneas.

**Palabras clave:** Caracterización geomecánica, macizo rocoso, sostenimiento.

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El desarrollo de la presente investigación surge de los índices de accidentes en las mineras subterráneas de explotación de minerales que son desarrolladas en todas partes del mundo y especialmente en Perú que es un país con muchas actividades mineras en su ámbito nacional, las minerías subterráneas son consideradas como una de las actividades de mayor riesgo que realiza el hombre. Son muchos los factores de riesgo que se presentan en dicha actividad. Se conoce que el desprendimiento de rocas es uno de los mayores riesgos para los trabajadores mineros en la minería subterránea.

Desarrollar métodos geomecánicos para evitar y tratar de controlar la inestabilidad en las excavaciones subterráneas con la aplicación de geomecánica que se presenta desde las actividades de exploración hasta el cierre de minas.

Según Acting, On, Tunnels, & Moa, (2000) dice que al laborear una excavación rompe el equilibrio que hasta ese entonces existía en el macizo rocoso, lo cual provoca la aparición de tensiones en el contorno de las excavaciones (cargas estáticas) en el momento en que se produzca la acción sísmica se les suman a estas las tensiones producidas por los sismos (cargas dinámicas). Po lo cual para realizar una labor minera se debe de tener en cuenta las dos principales cargas en el momento de una excavación.

La correlación del RMR de Bieniawski y Q de Barton proporciono un conjunto de datos más grande que comprende 870 valores. Otra contribución fueron las siguientes: 613 datos de la provincia de Gyonggi, 274 datos de la provincia de Gyongbuk, 172 datos de la provincia de Gyongnam, 163 datos de la provincia de Jeonbuk, 128 datos de la provincia de Chungnam y 134 datos de otras provincias. El módulo de deformación in situ se midió en varias litologías, incluidas 1,016 medidas en gneis,

474 en granito, 297 en arenisca, 123 en pizarra. Dando como resultado que la correlación es muy diferentes a cada uno de ellos. (Kang, Kim, & Jang, 2013).

En los últimos años, los investigadores, incluido el equipo de autores, han aplicado el método de soporte de hormigón confinado a la ingeniería subterránea con condiciones complejas. Basado en el arco de acero en forma de U comúnmente utilizado, diseñó un confinado aplicaron el arco de hormigón confinado circular de acero en la carretera con rocas blandas y presión dinámica, y probaron las propiedades mecánicas de los tubos de acero rellenos de hormigón y optimizaron la estructura del arco. Todos estos estudios muestran que la resistencia del arco de hormigón confinado es de 2 a 3 veces mayor que la del arco de acero en forma de U convencional o en forma de U, y el arco de hormigón confinado tiene un buen efecto de control en aplicaciones de ingeniería subterráneas (Lv, Qin, Jiang, Luan, & Yu, 2018).

(Basarir, 2008) en el uso de los métodos empíricos y numéricos son herramientas de uso común en el diseño de estructuras de ingeniería subterráneas. Dado que el uso de métodos empíricos es más práctico, a menudo son preferidos por geólogos de ingeniería e ingenieros de rocas. El índice de masa de rocas (RMR) es uno de los sistemas de clasificación de masas rocosas más ampliamente utilizado. Mediante el RMR, es posible mejorar nuestra comprensión del comportamiento de ingeniería de las masas rocosas y evaluar el sistema de soporte necesario para mantener la estabilidad de una excavación. El RMR, sin embargo, no puede caracterizar adecuadamente la redistribución del estrés, el rendimiento y deformaciones alrededor de una abertura. Por lo tanto, en esta investigación se utilizó el programa de elementos finitos bidimensionales (2-D), PHASE2 v5.048.

Ewes L. (2011). En su tesis “Desprendimiento de Rocas que generan accidentes fatales en la Minería Peruana”, cuyo trabajo fue motivado por el creciente número de accidentes mortales en el sector minero. Por lo cual considera su trabajo como una alternativa para poner en marcha un programa conducente a prevenir, controlar y administrar la seguridad y salud ocupacional con eficacia y eficiencia.

Apaza Avilés, Efraín Orlando (1999), en su tesis “Tipos de sostenimiento aplicado en el túnel de aducción tramo dos del proyecto central hidroeléctrica San Gabán II-Puno”, concluye que el proceso de control de sostenimiento es muy importante, con los controles realizados se han corregido algunos errores cometidos en la aplicación de los tipos de sostenimiento utilizado.

Carhuamaca J. (2009) es su tesis “Evaluación y optimización del sostenimiento con cimbras en mina subterránea” Para poder entender la interacción roca soporte, se ha adjuntado a la presente tesis la simulación en el programa Phases 6.0, del comportamiento de las cimbras más usadas en la mina Rosaura (THN-29, 6H20).

Como antecedente más cercano se considera la mina Paredones, que comenzó a producir plata pura ha mediado del siglo XVII estando en manos de unos portugueses judíos asentados en Celendín llegados de Brasil por las rutas de lamas y Chachapoyas luego fue abandonada en el siglo XIX debido a los constantes derrumbes, un último en que murieron muchísimas personas hecho que constituyó una tragedia en toda la zona motivo suficiente para ahuyentar a los propietarios como a los trabajadores. Desde el año 1924 la empresa Northen Perú Mining Corporation tomó posiciones, se convirtió propietario de la empresa cambiando definitiva y legalmente el nombre de Chiquilete por el de Paredones, actualmente es dueña la compañía minera Occidental 2 y que actualmente están efectuando trámites para reactivar el proyecto minero

polimetálico, se observó que el sostenimiento que se ha empleado desde hace 45 años, en algunos tramos se utilizó el sostenimiento pasivo (cuadros de madera), y en otros no fue necesario ya que se autosostenía por efectos de la clasificación competente de la roca (andesita), pero de darse esta reactivación de proyecto es necesario recalcar que se necesita de un estudio geomecánico detallado para determinar el tipo de sostenimiento adecuado y evitar posibles derrumbes en las labores considerando la antigüedad de abandono de la misma.

El presente estudio de investigación está basado en la causa mayor de accidentes en la concesión Zenit 1, es por desprendimientos de rocas, es debido a las dimensiones de las galerías, la presencia de numerosas fracturas (fallas y diaclasas), y la abundante presencia de agua en las galerías hace que se generen situaciones de inestabilidad, la geomecánica en la actualidad es muy importante en la industria minera subterránea ya que su aplicación garantiza la estabilidad de las labores mineras. La Geomecánica nos permite establecer dimensiones adecuadas de las labores mineras, establecer la dirección general de avance del minado y especificar el sostenimiento adecuado, realizar estudio de parámetros geomecánicos en el macizo rocoso para determinar un tipo de sostenimiento adecuado para la extracción de mineral de la concesión minera Zenit que actualmente se está extrayendo el mineral y se necesitan controles para la prevención de caídas de rocas mediante un tipo de sostenimiento adecuado dentro de la mina Zenit 1 por eso estoy encargado de estudiar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso que tiene como principal objetivo determinar un tipo de sostenimiento adecuado para garantizar la seguridad de los trabajadores en la extracción del mineral. Esperamos que el presente estudio contribuya con el objetivo común de desarrollar las actividades mineras sin accidentes.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo influye la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el tipo de sostenimiento en la concesión minera subterránea Zenit 1, distrito San Luis?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso para determinar el tipo de sostenimiento en la concesión minera subterránea Zenit 1, distrito San Luis.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Evaluar los parámetros geomecánicos en la concesión minera subterránea Zenit 1.
- Determinar el tipo de sostenimiento adecuado para la extracción del mineral en la concesión minera subterránea Zenit 1.
- Relacionar el RMR de Bieniawski con el Q de Barton para un sostenimiento adecuado con la finalidad de reducir los riesgos de los trabajadores para la extracción del mineral en la concesión minera subterránea Zenit 1.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

La caracterización geomecánica del macizo rocoso determina el tipo de sostenimiento en la concesión minera subterránea Zenit 1, distrito San Luis.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- Los parámetros geomecánicos definen el sostenimiento en la concesión minera subterránea Zenit 1.
- El tipo de sostenimiento adecuado para la extracción del mineral en la concesión minera subterránea Zenit 1, se determinó mediante la caracterización geomecánica.

- La relación entre el RMR de Bieniawski con el Q de Barton determina el sostenimiento adecuado con la finalidad de reducir los riesgos de los trabajadores para la extracción del mineral en la concesión minera subterránea Zenit 1.

## CAPITULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación utilizada para el desarrollo es de observación directa y descriptiva del macizo rocoso in situ a lo largo de la concesión minera subterránea Zenit 1.

### 2.2. Población

Los 400 m que tiene la concesión minera subterránea Zenit 1.

### 2.3. Muestra

La muestra se tomará de cuatro estaciones geomecánico a lo largo de la concesión minera subterránea Zenit 1.

### 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

#### 2.4.1. Técnicas

Se realiza el mapeo geomecánico mediante la obtención de datos en campo: ubicación, dirección, rumbo y de la veta, la resistencia de compresión simple mediante los golpes de picota y las condiciones del macizo rocoso.

#### 2.4.2. Instrumentos

Uso de tabla geomecánica de Bieniawski, GPS, brújula, picota de geólogo.

**Trabajo de gabinete:** Consistente en el proceso de datos mediante un software llamado GEOTABLE y mapeos geomecánicos de RMR de Bieniawski, RQD y Q de Barton para la selección del tipo de sostenimiento.

Acceso a Internet, para la búsqueda de información referencial.

Recursos de oficina, como lápices, lapiceros y papel para el registro de la información durante el proceso de observación directa. Además, un computador para la elaboración del informe.

## 2.5. Procedimiento

Se realizará la recopilación de datos del RQD mediante los golpes de picota y mediante tablas de caracterización geomecánica RMR de Bieniawski a lo largo de la concesión Zenit 1 donde se tomará de cada estación.

La clasificación geomecánica se realiza en función a los siguientes criterios según RMR de Bieniawski:

- RQD (Rock Quality Designation).
- Resistencia a la compresión simple de la roca intacta del macizo rocoso.
- Espaciado de las discontinuidades del macizo rocoso.
- Condición de las discontinuidades
- Condiciones de flujo de agua en el macizo rocoso.
- Las orientaciones de las discontinuidades del macizo rocoso.

La toma de todos estos datos nos dará un valor promedio de la valorización de la calidad del macizo rocoso según RMR de Bieniawski.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Aspectos generales de la zona de estudio

#### 3.1.1. Ubicación

Este importante yacimiento mineral se halla situado en el corredor estructural San Pablo – Porculla, específicamente al costado derecho del río Jequetepeque, que va desde la carretera Llallán hasta el distrito de San Luis en carro aproximadamente a 10 minutos de recorrido y la ubicación son como sigue:

El Distrito: San Luis

La Provincia: San Pablo

La Región: Cajamarca

Tabla 1  
*Coordenadas de localización de la zona de estudio.*

<b>Localización Geográfica (WGS84)</b>		
Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Altura (msnm)
731469	9204696	908

Tabla 2  
*Vértices de la concesión Zenit 1.*

<b>Vértice</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>
V1	9 204 000	732 000
V2	9 203 000	732 000
V3	9 203 000	731 000
V4	9 204 000	731 000



**Figura 1:** Zona de la ubicación de la concesión minera Zenit 1.

### 3.1.2. Accesibilidad

El acceso por donde se puede llegar a la zona de estudio, se puede llegar mediante una carretera asfaltada en un vehículo motorizado ya que la zona es accesible, se puede llegar desde la ciudad de Cajamarca hasta Lllallán pasando con dirección al distrito San Luis aproximadamente 4 km desde Lllallán hasta la mina Zenit 1.

Tabla 3

*Distancia y tiempo de acceso a la concesión Zenit 1.*

Tramo	Carretera	Distancia (Km).	Tiempo(horas)
Cajamarca - Lllallán	Asfaltada	96.4	1.55
Lllallán - Mina Zenit 1	Afirmada	6.10	0.07

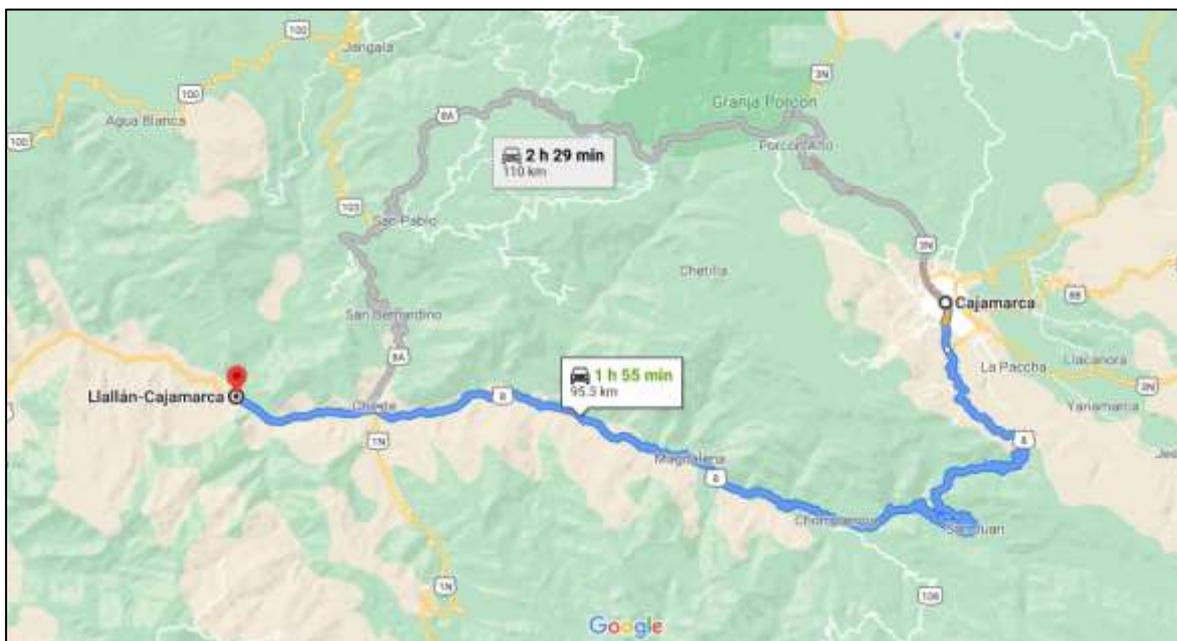


Figura 2: Ruta de acceso a la mina Zenit 1 por Cajamarca.

### 3.1.3. Clima de la zona de Lllallán

El clima es cálido y templado con temperaturas diferentes de 17°C ~ 32°C y durante todo el año, con una humedad relativa promedio que es de 65%. La

zona comprendida entre 500 y 1 500 msnm, las precipitaciones varían entre 140 y 430 mm de promedio multianual. Se observa ausencia de precipitaciones salvo en períodos ocasionales por el fenómeno de El Niño.

#### **3.1.4. Geología regional**

##### **Volcánico de tembladera (Pp – vt)**

Tiene una extensión aproximadamente de: 2,042.79 Has. Porcentaje: 0.06 %.

Se denomina volcánico Tembladera a una secuencia de rocas volcánicas moderadamente plegadas, bien estratificadas. La litología se compone de bancos andesíticos que se intercalan con brechas, con matices gris verdoso, en la parte superior abundan tobas blanquecinas estratificadas en capas delgadas que alternan con delgados lechos de areniscas y lutitas tobáceas verdosas o moradas con un grosor aproximado es de 1000 m.

La edad y correlación es la ausencia de datos paleontológicos y radiométricos, la edad del volcánico Tembladera puede definirse en base a sus relaciones estratigráficas. La unidad volcánica reposa en discordancia angular sobre las series cretáceas marinas en algunos lugares y con discordancia paralela sobre la formación geológica de Huaylas del Paleógeno y Neógeno. Asimismo, infrayace en discordancia angular con el volcánico Chilete.

##### **Volcánico de chilete (Pe- vch)**

Tiene una extensión aproximadamente de: 30,240.11 Has. Porcentaje: 0.92 %.

Su litología consiste de intercalaciones tobáceas, areniscas tobáceas, conglomerados lenticulares y materiales volcánicos mayormente andesíticos que están bien estratificados. La proporción de su extensión volcánica es mayor y presenta matices que van desde el verde- violáceo hasta el gris claro. Sus

areniscas son generalmente rojizas y muchas veces incluyen granos casi enteros de feldespatos. En la base los conglomerados son de cuarcita. su potencia del volcánico Chilete es aproximadamente de 800 m.

Su edad y correlación por ausencia de fósiles y datos radiométricos esta se basa en sus relaciones estratigráficas con las unidades volcánicas que infra y suprayacentes, la edad del volcánico Chilete es asignada al Paleógeno y Neógeno y se correlaciona con los volcánicos que yacen discordantemente sobre la formación Casapalca, en la vertiente oriental de la cordillera occidental del centro del Perú.

#### **Volcánico san pablo (Po- vsp)**

Su extensión aproximadamente es de: 113,408.61 Has. Porcentaje: 3.44 %.

Esta unidad volcánica consiste en gruesos estratos de rocas volcánicas, intercaladas con areniscas rojizas en la base y en la parte superior con una espesa secuencia de aglomerados y piroclásticos bien estratificados. Su potencia alcanza 900 m de espesor. El volcánico san pablo yace con suave discordancia erosional con el volcánico Chilete e infrayace al volcánico Huambos en igual relación.

Su edad y correlación corresponde a la ausencia de fósiles o estudios radiométricos realizados en el volcánico san pablo, se estima que su edad en base a discordancias, la mineralización y la intensidad de plegamiento. La acumulación volcánica de san pablo tuvo lugar durante el periodo del paleógeno y neógeno. Se le correlaciona con el volcánico Lavasén.

### **3.1.5. Geología local**

A lo largo del corredor estructural San pablo Porculla se halla una serie de yacimientos epitermales del tipo baja sulfuración, de los cuales la mina Zenit 1 (Ag, Pb, Zn) es que tiene antecedente histórico de producción.

La estratigrafía está marcada por dos eventos: cretácico de origen continental, y marino, suprayacentes en discordancia angular con volcánicos del grupo Calipuy.

La forma de depósito son vetas grandes (mayor a un metro de potencia y cientos de metros de corrida), o pequeños y stockworks son comunes con diseminaciones y reemplazos menos prominentes. Las zonas de alta ley se encuentran comúnmente en zonas en dilatación de fallas, en flexuras y ramificaciones.

La mena normalmente exhibe texturas de relleno de espacios abiertos y está asociado a sistemas hidrotermales a volcanismo (vetas de cuarzo, stockworks y brechas).

### **3.1.6. Geología Estructural**

En el área en general no se observan mayores estructuras a no ser sino simples y moderados plegamientos en el sedimentario prepaleógeno neógeno y pequeñas fallas locales que no han producido mayores cambios, por lo que solamente se tienen ligeras inflexiones o cambios moderados en los rumbos y buzamientos de los estratos.

Subterráneamente, en la mina se han mapeado fallas normales post-minerales que buzando hacia el NW y que han causado suaves desplazamientos de las vetas en sentido de la falla.

### 3.1.7. Estructuras Mineralizadas

Soluciones hidrotermales mineralizantes producidas durante la etapa de las intrusiones y depositadas en fracturas tensionales pre-existentes, formaron las vetas de menas las que consisten de un relleno de cuarzo, piritas y rocas encajonantes piritizada, y cantidades variables y en menor proporción de esfalerita, galena y disseminaciones calcopirita constituyendo la mena de rendimientos económicos.

Las vetas son de estructura bandeada generalmente, aunque en algunos tramos el bandeamiento se hace débil y pasan a constituir vetillas irregulares de alto contenido de mineral hipógena intercaladas con fragmentos rocosos piritizados mostrando evidencias de brechamiento. Donde esto nos podría indicar más fallas geológicas a lo largo de la estructura regional con nuevos minerales en su deposición.



**Figura 3:** Estructura mineralizada. La presencia de minerales asociados como pirita, galena y esfalerita típico de un yacimiento polimetálico.

Los rumbos de las estructuras mineralizada varían, pues hay de rumbos noroeste (NW), sureste (SE) y este noreste(ENE) y tienen un buzamiento por encima de los 60°.

Las vetas principales que hay en la mina Zenit son:

La veta Leidy y la veta Karina las cuales tienen mayor concentración de minerales de plata, zinc y plomo.



**Figura 4:** Lectura de rumbo y buzamiento.

## 3.2. Análisis de estaciones geomecánicas

### 3.2.1. Descripción del lugar donde se realizó el estudio

El método de extracción de mineral es Shirinkage este método de explotación vertical aplicable a vetas de buzamientos mayor a 50°, y es usado este método principalmente para explotaciones menores. Que consiste en utilizar el mineral quebrado como piso de trabajo para así seguir explotando de manera ascendente. Este mineral provee además soporte adicional de las paredes de la veta hasta que el caserón se completa y queda listo para el vaciado. Los

caserones se explotan ascendentemente en tajadas horizontales, sacando solamente el 35% que se esponja y dejando hasta el momento del vaciado el resto 65%. Es un método intensivo en mano de obra, difícil de mecanizar. Se aplica este método del Shirinkage generalmente a vetas angostas de 1.2 a 0.30 m o a cuerpos donde otros métodos son técnica o económicamente inviables.

### 3.2.2. Condiciones de aplicación

El método de explotación se aplica en cuerpos tabulares verticales o subverticales que son angostos o de poco espesor siendo de 1 a 10 m. la veta para su explotación debe ser mayor a  $55^\circ$  donde la roca mineralizada tiene que ser estable y competente, la roca encajadora debe presentar buenas condiciones de estabilidad para su explotación del minero.

### 3.2.3. Análisis geomecánico del macizo rocoso de la estación N°1.

Mediante el uso de la clasificación geomecánica realizada en campo se procede a tomar datos. En esta estación se determinaron 3 familias de discontinuidades, tal como se ve en la figura 5.

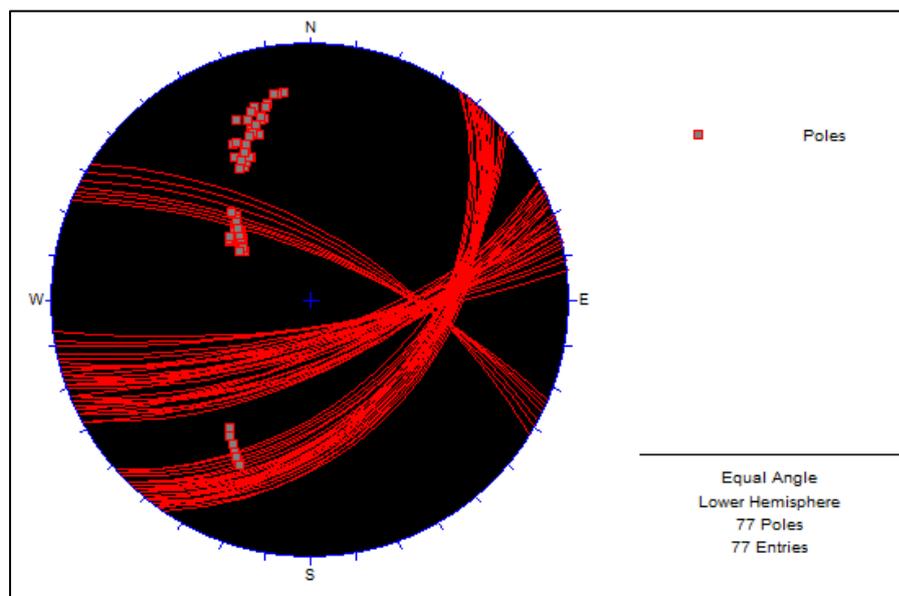


Figura 5. Familias de discontinuidades en la estación 1.

En la figura 5, se muestra que las familias de discontinuidades se intersectan formando una rotura en cuña.

**a. Obtención de valor de la resistencia a la compresión simple (RCS)**

Para romper la roca se requería de 1 a 3 golpes de picota clasificándose como una roca moderadamente dura, se puede considerar un valor de 1 a 2 Mpa.

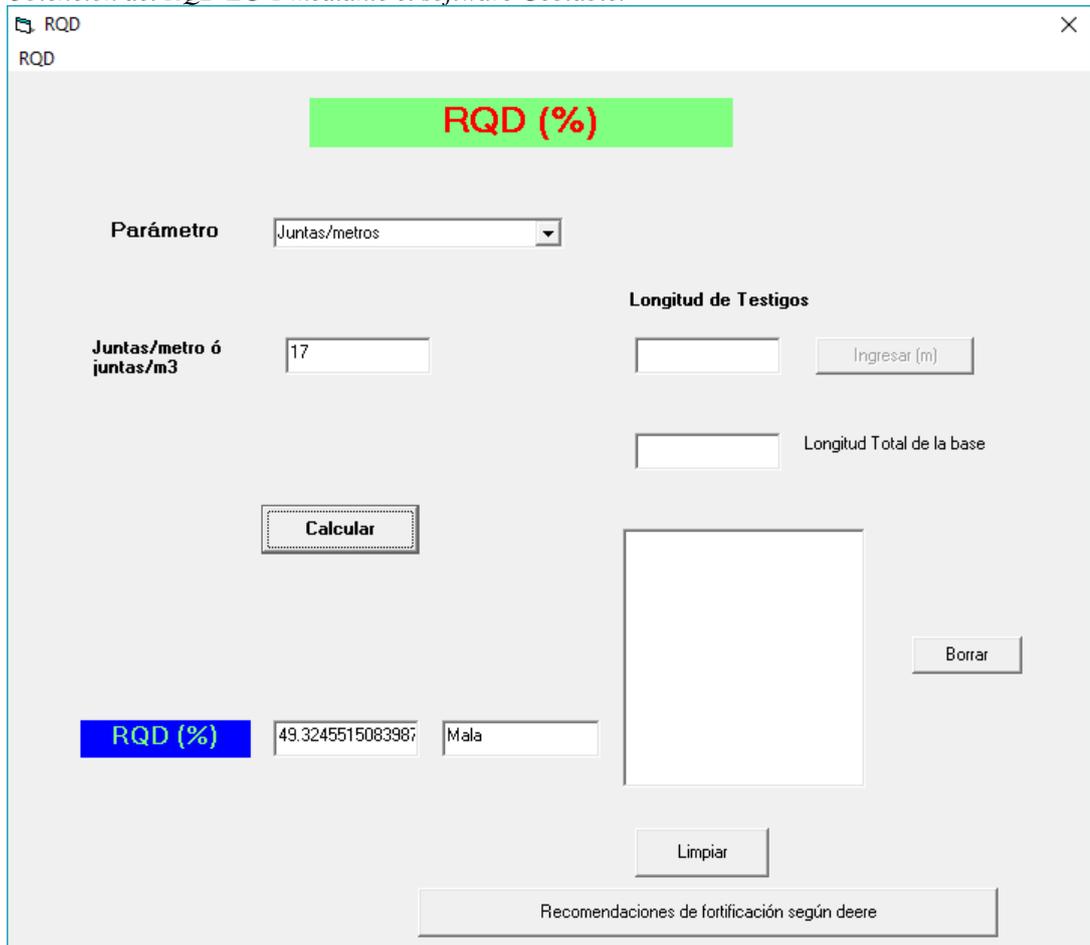
Tabla 4  
*Resistencia a la compresión simple*

Descripción	Resistencia compresión simple (Mpa)	Ensayo de carga puntual (Mpa)	Valoración
Extremadamente dura	>250	>10	15
Muy dura	100 a 250	4 a 10	12
Dura	50 a 100	2 a 4	7
Moderadamente dura	25 a 50	1 a 2	4
Blanda	5 a 25	<1	2
Muy blanda	1 a 5	<1	1

**b. Análisis para calcular RQD de la estación N°1**

Se realizó la toma de datos in situ encontrándose 17 fracturas en un metro lineal lo cual estos datos fueron procesados en gabinete para calcular el RQD mediante el uso del software GEOTABLE dando como resultado un 49.32% de RQD considerándose como una roca mala debido a que tiene mucho fracturamiento.

Tabla 5  
Obtención del RQD EG-1 mediante el software Geotable.



The screenshot shows the 'RQD' software interface. At the top, there is a green header with 'RQD (%)'. Below it, a dropdown menu is set to 'Juntas/metros'. The 'Juntas/metro ó juntas/m3' field contains the value '17'. Under 'Longitud de Testigos', there are two empty input fields and a button labeled 'Ingresar (m)'. Below these is another empty input field labeled 'Longitud Total de la base'. A 'Calcular' button is positioned in the center. To the right of the 'Calcular' button is a large empty rectangular area, and below it is a 'Borrar' button. At the bottom left, a blue box labeled 'RQD (%)' displays the value '49.3245515083987', followed by a dropdown menu set to 'Mala'. A 'Limpiar' button is located below the 'Borrar' button. At the very bottom, a wide button contains the text 'Recomendaciones de fortificación según deere'.

Mediante el uso de software GEOTABLE de mecánica de rocas se realiza a ingresar los datos de fracturamiento de juntas o familias obteniendo el RQD mala del macizo rocoso.



**Figura 6:** Estación *geomecánica del macizo rocoso N°1*.

Donde se observa que la roca andesita está moderadamente alterado debido a los fluidos hidrotermales, presenta 17 fracturas con espaciamiento de las discontinuidades tiene un promedio de 0.26 m, ligeramente rugosa, apertura promedio es menor a 0.1 mm, relleno es suave con alteración moderada en el macizo rocoso.

**c. Interpretación de datos de la estación geomecánica N°1.**

Los datos tomados en campo fueron procesados mediante un cuadro de Excel del RMR de Bieniawski.

Tabla 6

Clasificación según RMR de Bieniawski para la estación geomecánica n°1

<b>VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO</b>																	
<b>Clasificación RMR de Bieniawski (1989)</b>																	
<b>PARÁMETRO</b>	<b>RANGO DE VALORES Y VALORACIONES</b>												<b>VALORACIÓN</b>				
RESIST. COMP. UNIAXIAL (MPa)	> 250	15	100 - 250	12	50 - 100	7	25 - 50	4	< 25	2	< 5	1	< 1	0	1	25 - 50	▼
RQD %	90 - 100	20	75 - 90	17	50 - 75	13	25 - 50	8	< 25					3	2	25 - 50	▼
ESPACIAMIENTO (m.)	> 2	20	0.6 - 2	15	0.2 - 0.6	10	0.06 - 0.2	8	< 0.06					5	3	0.2 - 0.6	▼
<b>CONDICIÓN DE JUNTAS</b>	PERSISTENCIA	< 1m.	6	1 - 3m.	4	3 - 10mm.	2	10 - 20m.	1	> 20mm.				0	4A	1 - 3m.	▼
	APERTURA	Cerrada	6	< 0.1mm.	5	0.1 - 1.0mm.	4	1 - 5mm.	1	> 5mm.				0	4B	< 0.1mm.	▼
	RUGOSIDAD	Muy rugosa	6	Rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla				0	4C	Lig. Rugosa	▼
	RELLENO	Limpia	6	Duro < 5mm.	4	Dura > 5mm.	2	Suave < 5mm.	1	Suave > 5mm.				0	4D	Suave < 5mm.	▼
	ALTERACIÓN	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. Alterada	3	Muy Alterada	2	Descompuesta				0	4E	Mod. Alterada	▼
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	15	Húmedo	10	Mojado	7	Goteo	4	Flujo					0	5	Mojado	▼
<b>VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =</b>															<b>45</b>		
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>																	
<b>RMR</b>	100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20 - 0								<b>III</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA		V MUY MALA								<b>REGULAR</b>

**PARÁMETRO PARA CALCULAR EL RMR SEGÚN LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES  
TÚNELES Y MINERÍA  
(Rumbo y Buzamiento)**

Rumbo Perpendicular al Eje/Dirección contra Buzamiento 45°-90°	▼	<b>Rango RMR</b>
Regular		-5

<b>VALOR RMR (Corregido) =</b>															<b>40</b>		
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>																	
<b>RMR</b>	100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20 - 0								<b>IV</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA		V MUY MALA								<b>MALA</b>

Los datos son procesados en una tabla de Excel de la clasificación RMR de Bieniawski para determinar la clase que tiene el macizo rocoso considerando la orientación de las discontinuidades y los resultados nos indica la evaluación según el RMR de Bieniawski.

Tabla 7  
*Clasificación según el RMR de Bieniawski para la estación geomecánica N°1.*

RMR	Descripción	
0 a 20	Muy mala	V
21 a 40	Mala	IV
41 a 60	Regular	III
61 a 80	Bueno	II
81 a 100	Muy bueno	I

La clasificación por la orientación de las discontinuidades del macizo rocoso corregido fue 40 según el RMR será de clase IV “mala”.

#### **Clasificación geomecánica según el RMR de Bieniawski (1989)**

##### **RMR DE BIENIAWSKI**

Valoración	:	45
Número de Clase	:	III
Descripción	:	REGULAR
<b>RMR (Corregido)</b>		
Valoración	:	40
Número de Clase	:	IV
Descripción	:	MALA

#### **Características resistentes del macizo rocoso**

Cohesión (Kpa)	:	100-200
Angulo de Fricción ( $\phi^\circ$ )	:	15°-25°

#### **RMR-según la orientación de las discontinuidades-túneles y minería**

(Rumbo y Buzamiento)

Parámetro: Rumbo Perpendicular al Eje/Dirección contra Buzamiento  
45°-90°

Descripción: Regular.

**d. Resultados de sostenimiento el RMR de Bieniawski EG - 01**

Tiempo de Autosostenimiento: 10 horas, Luz de 2.5 m.

Excavación: Frente superior y destroza, 1–1.5 m de avance en la media sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación 10 m del frente.

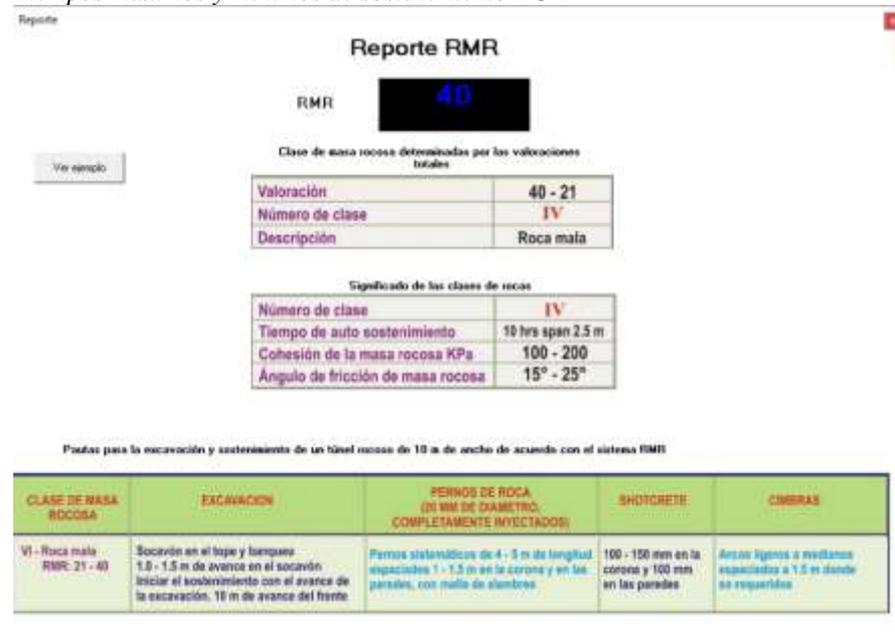
Pernos: Pernos sistemáticos, 4–5 m de longitud, espaciados 1–1.5 m en la corona y hastiales con malla.

Shotcrete: 100–150 mm en la corona y 100 mm por los lados.

Cimbras: Cimbras ligeras a medias espaciadas 1.5 m a donde se requiera.

Tabla 8

*Tiempos máximos y mínimos de sostenimiento EG-1*



**Reporte RMR**

RMR: **40**

Clase de masa rocosa determinadas por las valoraciones totales

Valoración	40 - 21
Número de clase	IV
Descripción	Roca mala

Significado de las clases de rocas

Número de clase	IV
Tiempo de auto sostenimiento	10 hrs span 2.5 m
Cohesión de la masa rocosa KPa	100 - 200
Angulo de fricción de masa rocosa	15° - 25°

Pasos para la excavación y sostenimiento de un túnel rocoso de 10 m de ancho de acuerdo con el sistema RMR

CLASE DE MASA ROCOSA	EXCAVACIÓN	PERNOS DE ROCA (25 MM DE DIAMETRO, COMPLETAMENTE INYECTADOS)	SHOTCRETE	CIMBRAS
VI - Roca mala RMR: 21 - 40	Socavón en el tope y banquero 1.0 - 1.5 m de avance en la socavón iniciar el sostenimiento con el avance de la excavación. 10 m de avance del frente	Pernos sistemáticos de 4 - 5 m de longitud espaciados 1 - 1.5 m en la corona y en las paredes, con malla de alambres	100 - 150 mm en la corona y 100 mm en las paredes	Arco ligero a mediano espaciado a 1.5 m donde se requiera

De acuerdo a la última intercepción se determinan los tiempos máximos y mínimos de sostenimiento.

### 3.2.4. Análisis geomecánico del macizo rocoso de la estación N°2

Se tomaron datos de campo, luego se plasmaron en el DIPS, se encontraron tres familias de discontinuidades, lo cual se corrobora con la presencia de roturas en cuña (ver figura 7).

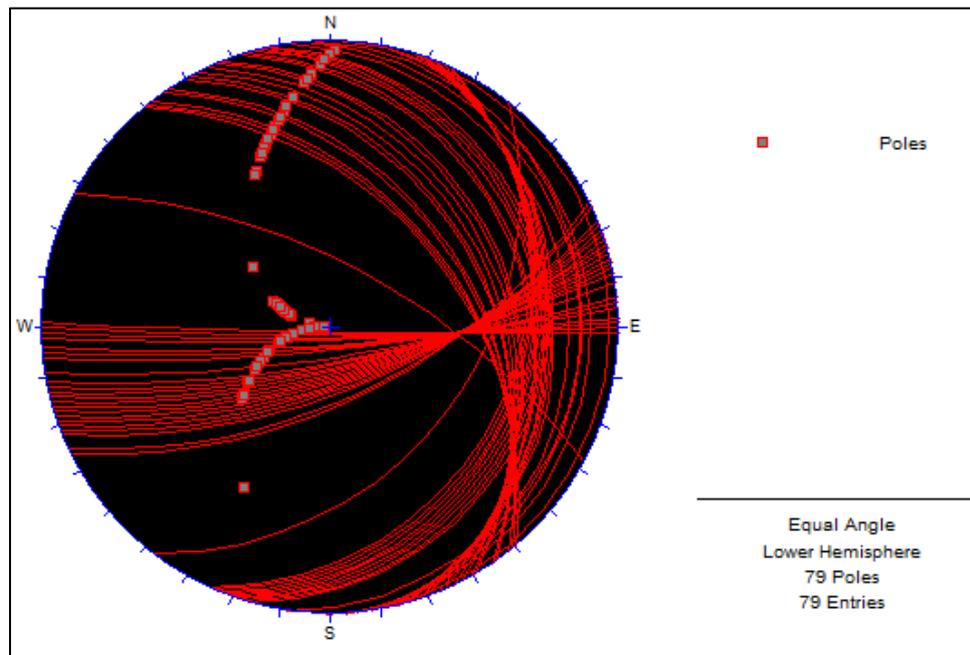


Figura 7. Familias de discontinuidades en la estación 2.

#### a. Obtención de valor de la resistencia a la compresión simple (RCS)

Para romper la roca se requería de 1 a 3 golpes de picota clasificándose como una roca moderadamente dura, se puede considerar el un valor de 1 a 2 Mpa.

Tabla 9  
Resistencia a la compresión simple EG-2

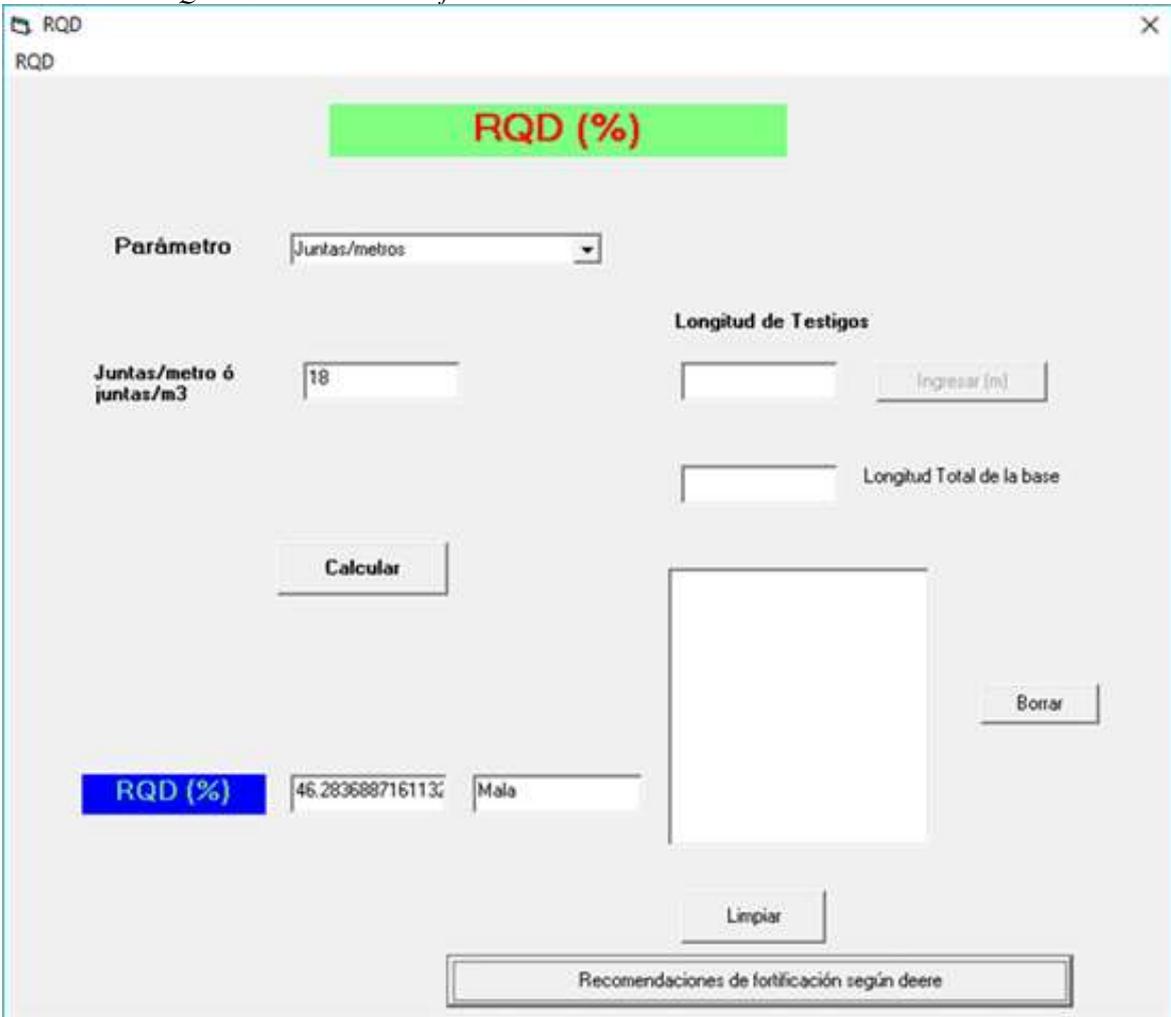
Descripción	Resistencia compresión simple (Mpa)	Ensayo de carga puntual (Mpa)	Valoración
Extremadamente dura	>250	>10	15
Muy dura	100 a 250	4 a 10	12
Dura	50 a 100	2 a 4	7
Moderadamente dura	25 a 50	1 a 2	4
Blanda	5 a 25	<1	2
Muy blanda	1 a 5	-	1

**b. Análisis para calcular RQD de la estación N°2**

Se realizó la toma de datos in situ encontrándose 18 fracturas en un metro lineal lo cual estos datos fueron procesado en gabinete para calcular el RQD mediante el uso del software GEOTABLE dando como resultado un 46.28 de RQD considerándose como una roca mala debido a muchos que tiene mucho fracturamiento.

Tabla 10

*Obtención del RQD EG-2 mediante el software Geotable.*



The screenshot shows the GEOTABLE software interface for RQD calculation. At the top, a green banner displays "RQD (%)". Below this, the "Parámetro" is set to "Juntas/metros". The input for "Juntas/metro ó juntas/m3" is "18". The "Longitud de Testigos" section has an empty input field and an "Ingresar (m)" button. The "Longitud Total de la base" also has an empty input field. A "Calcular" button is present. The results section shows "RQD (%)" as "46.283688716113%", a quality rating of "Mala", and a "Borrar" button. A "Limpiar" button is also visible. At the bottom, there is a box for "Recomendaciones de fortificación según deere".

Mediante el uso de software GEOTABLE de mecánica de rocas se realiza a ingresar los datos de fracturamiento de juntas o familias obteniendo RQD de 46.28% considerándose un macizo rocoso malo.

Tabla 11  
*Calidad del macizo rocoso RQD de EG-2*

<b>RQD (%)</b>	<b>Calidad de la Roca</b>
100 a 90	Muy Buena
90 a 75	Buena
75 a 50	Regular
<b>50 a 25</b>	<b>Mala</b>
0 a 25	Muy Mala



**Figura 8:** Estación geomecánica del macizo rocoso N°2.

Donde podemos observar que la roca andesita está moderadamente alterado, presenta 18 fracturas presenta el macizo rocoso con espaciamiento de las discontinuidades tiene un promedio de 0.18 m, ligeramente rugosa, apertura promedio es menor a 0.1 mm, relleno es suave con alteración moderado del macizo rocoso.

**c. Interpretación de datos de la EG – 02**

Tabla 12

Clasificación RMR de Bieniawski EG-2

<b>VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO</b>																	
<b>Clasificación RMR de Bieniawski (1989)</b>																	
<b>PARÁMETRO</b>		<b>RANGO DE VALORES Y VALORACIONES</b>										<b>VALORACIÓN</b>					
RESIST. COMP. UNIAXIAL (MPa)	> 250	15	100 - 250	12	50 - 100	7	25 - 50	4	< 25	2	< 5	1	< 1	0	1	25 - 50	▼
RQD %	90 - 100	20	75 - 90	17	50 - 75	13	25 - 50	8	< 25					3	2	25 - 50	▼
ESPACIAMIENTO (m.)	> 2	20	0.6 - 2	15	0.2 - 0.6	10	0.06 - 0.2	8	< 0.06					5	3	0.06 - 0.2	▼
<b>CONDICIÓN DE JUNTAS</b>	PERSISTENCIA	< 1m.	6	1 - 3m.	4	3 - 10mm.	2	10 - 20m.	1	> 20mm.				0	4A	1 - 3m.	▼
	APERTURA	Cerrada	6	< 0.1mm.	5	0.1 - 1.0mm.	4	1 - 5mm.	1	> 5mm.				0	4B	< 0.1mm.	▼
	RUGOSIDAD	Muy rugosa	6	Rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla				0	4C	Lig. Rugosa	▼
	RELLENO	Limpia	6	Duro < 5mm.	4	Dura > 5mm.	2	Suave < 5mm.	1	Suave > 5mm.				0	4D	Suave < 5mm.	▼
	ALTERACIÓN	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. Alterada	3	Muy Alterada	2	Descompuesta				0	4E	Mod. Alterada	▼
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	15	Húmedo	10	Mojado	7	Goteo	4	Flujo					0	5	Mojado	▼
<b>VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =</b>															<b>43</b>		
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>																	
<b>RMR</b>	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0							<b>III</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA							<b>REGULAR</b>					

<b>PARÁMETRO PARA CALCULAR EL RMR SEGÚN LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES TÚNELES Y MINERÍA (Rumbo y Buzamiento)</b>	
Rumbo Perpendicular al Eje/Dirección contra Buzamiento 45°-90°	▼
Regular	<b>Rango RMR</b>
	-5

<b>VALOR RMR (Corregido) =</b>															<b>38</b>	
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>																
<b>RMR</b>	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0							<b>IV</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA							<b>MALA</b>				

Tabla 13  
Clase del macizo rocoso según Bieniawski EG-2

RMR	Descripción	
0 a 20	Muy mala	V
21 a 40	Mala	IV
41 a 60	Regular	III
61 a 80	Bueno	II
81 a 100	Muy bueno	I

#### Clasificación según el RMR de Bieniawski (1989)

Valoración	:	43
Número de Clase	:	III
Descripción	:	REGULAR
RMR (Corregido)		
Valoración	:	38
Número de Clase	:	IV
Descripción	:	MALA

#### d. Resultados de sostenimiento el RMR de Bieniawski EG - 02

Tiempo de Autosostenimiento: 10 horas, Luz de 2.5 m.

Excavación: Frente superior y destroza, 1–1.5m de avance en la media sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación 10 m del frente.

Pernos: Pernos sistemáticos, 4–5m de longitud, espaciados 1–1.5m en la corona y hastiales con malla.

Shotcrete: 100–150 mm en la corona y 100 mm por los lados.

Cimbras: Cimbras ligeras a medias espaciadas 1.5m a donde se requiera.

**Las características resistentes del macizo rocoso son:**

Cohesión (Kpa) : 100-200

Angulo de Fricción ( $\phi^\circ$ ) :  $15^\circ$ - $25^\circ$

**RMR-según la orientación de las discontinuidades-túneles y minería**

(Rumbo y Buzamiento)"

Parámetro : Rumbo Perpendicular al Eje/Dirección contra Buzamiento  $45^\circ$ - $90^\circ$

Descripción: Regular

**3.2.5. Análisis geomecánico del macizo rocoso de la estación N°3**

Se tomaron datos de campo, luego se plasmaron en el DIPS, se encontraron dos familias de discontinuidades, lo cual se corrobora con la presencia de roturas planares (ver figura 9).

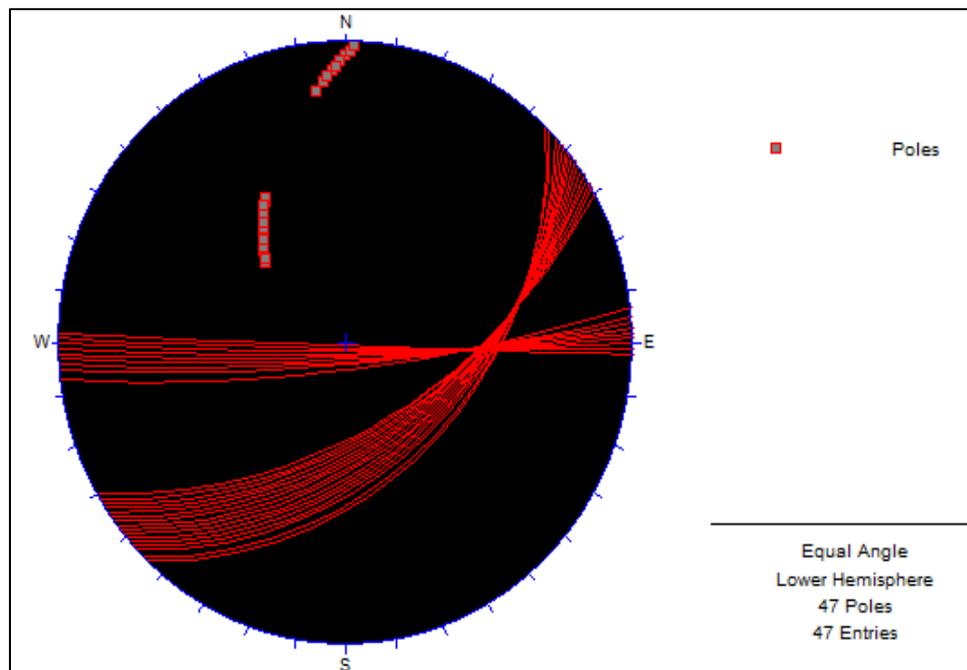


Figura 9. Familias de discontinuidades en la estación 3.

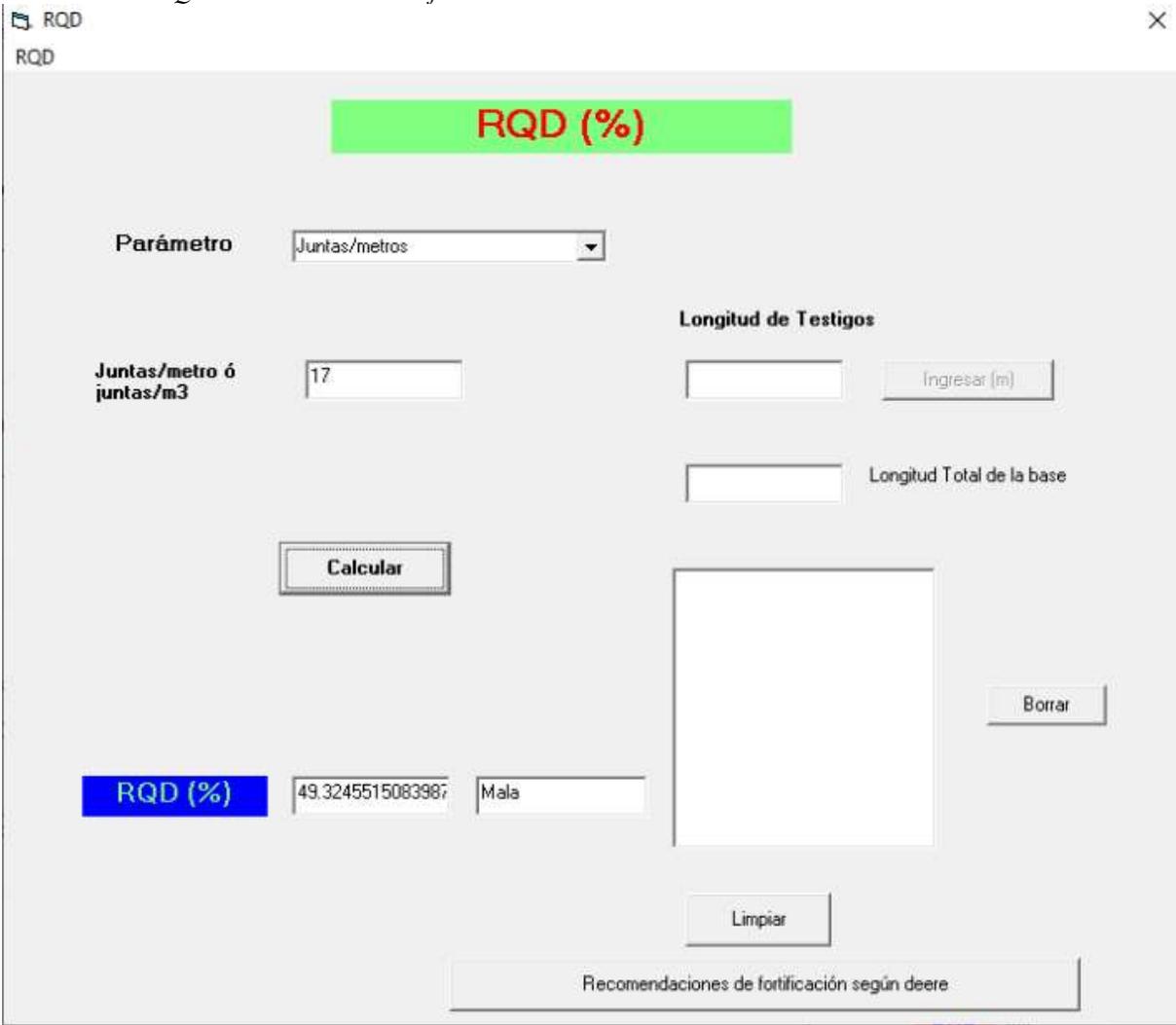
**a. Obtención de valor de la resistencia a la compresión simple (RCS)**

Para romper la roca se requería de 1 a 3 golpes de picota clasificándose como una roca moderadamente dura, se puede considerar un valor de 1 a 2 Mpa.

**b. Análisis para calcular RQD de la estación N°3**

Se realizó la toma de datos in situ encontrándose 17 fracturas en un metro lineal lo cual estos datos fueron procesado en gabinete para calcular el RQD mediante el uso del software GEOTABLE dando como resultado un 49.32 de RQD considerándose como una roca mala debido a muchos que tiene mucho fracturamiento.

Tabla 14  
Obtención del RQD EG-3 mediante el software Geotable.



The screenshot shows the GEOTABLE software interface for calculating RQD. At the top, there is a green header with 'RQD (%)'. Below it, there are several input fields and buttons:

- Parámetro:** A dropdown menu set to 'Juntas/metros'.
- Juntas/metro ó juntas/m3:** A text input field containing the value '17'.
- Longitud de Testigos:** A text input field containing the value '1', with an 'Ingresar (m)' button next to it.
- Longitud Total de la base:** An empty text input field.
- Calcular:** A button to perform the calculation.
- RQD (%):** A blue button next to a text input field showing the result '49.3245515083987'.
- Categoría:** A text input field showing the result 'Mala'.
- Borrar:** A button to clear the results.
- Limpiar:** A button to clear the input fields.
- Recomendaciones de fortificación según deere:** A button at the bottom of the interface.

Mediante el uso de software GEOTABLE de mecánica de rocas se realiza a ingresar los datos de fracturamiento de juntas o familias obteniendo RQD de 49.32 % considerándose que el macizo rocoso es regular.



**Figura 10:** Estación *geomecánica* N° 3.

Donde podemos observar que el macizo rocoso donde la roca andesita está moderadamente alterado, con espaciamiento de las discontinuidades tiene un promedio de 0.20 m, ligeramente rugosa, apertura promedio es menor a 0.1 mm, relleno es suave con alteración moderada del macizo rocoso.

a. Interpretación de datos de la EG – 03

Tabla 15

Clasificación RMR de Bieniawski EG-3

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO Clasificación RMR de Bieniawski (1989)																		
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES											VALORACIÓN						
RESIST. COMP. UNIAXIAL (MPa)	> 250	15	100 - 250	12	50 - 100	7	25 - 50	4	< 25	2	< 5	1	< 1	0	1	25 - 50	▼	
RQD %	90 - 100	20	75 - 90	17	50 - 75	13	25 - 50	8	< 25						3	2	25 - 50	▼
ESPACIAMIENTO (m.)	> 2	20	0.6 - 2	15	0.2 - 0.6	10	0.06 - 0.2	8	< 0.06						5	3	0.06 - 0.2	▼
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	< 1m.	6	1 - 3m.	4	3 - 10mm.	2	10 - 20m.	1	> 20mm.					0	4A	3 - 10mm.	▼
	APERTURA	Cerrada	6	< 0.1mm.	5	0.1 - 1.0mm.	4	1 - 5mm.	1	> 5mm.					0	4B	< 0.1mm.	▼
	RUGOSIDAD	Muy rugosa	6	Rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla					0	4C	Lig. Rugosa	▼
	RELLENO	Limpia	6	Duro < 5mm.	4	Dura > 5mm.	2	Suave < 5mm.	1	Suave > 5mm.					0	4D	Suave < 5mm.	▼
	ALTERACIÓN	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. Alterada	3	Muy Alterada	2	Descompuesta					0	4E	Mod. Alterada	▼
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	15	Húmedo	10	Mojado	7	Goteo	4	Flujo					0	5	Seco	▼	
<b>VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =</b>															<b>49</b>			
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>																		
RMR	100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20 - 0								III	
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA		V MUY MALA								REGULAR	

**PARÁMETRO PARA CALCULAR EL RMR SEGÚN LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES  
TÚNELES Y MINERÍA  
(Rumbo y Buzamiento)**

Rumbo Perpendicular al Eje/Dirección contra Buzamiento 45°-90°	▼	<b>Rango RMR</b>
Regular		-5

VALOR RMR (Corregido) =														44			
CLASE DE MACIZO ROCOSO																	
RMR	100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20 - 0								III
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA		V MUY MALA								REGULAR

Tabla 16  
Clase del macizo rocoso según Bieniawski EG-3

RMR	Descripción	
0 a 20	Muy mala	V
21 a 40	Mala	IV
41 a 60	Regular	III
61 a 80	Bueno	II
81 a 100	Muy bueno	I

### Clasificación RMR de Bieniawski (1989)

#### RMR

Valoración	:	49
Número de Clase	:	III
Descripción	:	REGULAR

#### RMR (Corregido)

Valoración	:	44
Número de Clase	:	III
Descripción	:	REGULAR

### Características resistentes del macizo rocoso

Cohesión (Kpa)	:	200-300
Angulo de Fricción ( $\phi^\circ$ )	:	25°-35°

### RMR-según la orientación de las discontinuidades-túneles y minería

(Rumbo y Buzamiento)

Parámetro: Rumbo Perpendicular al Eje/Dirección contra Buzamiento  
45°-90°

Descripción: Regular

**b. Resultados de sostenimiento el RMR de Bieniawski EG - 03**

Tiempo de Autosostenimiento: 1 semana, Luz de 5 m.

Excavación: Frente superior y destroza, 1.5–3 m de avance en media sección.

Inicio del soporte después de cada voladura. Soporte completo a 10 m del frente.

Pernos: Pernos sistemáticos, 4 m de longitud, espaciados 1.5–2 m en la corona y hastiales con malla en la corona.

Shotcrete : 50–100 mm en la corona y 30 mm por los lados.

Cimbras : Ninguno.

**3.2.6. Análisis geomecánico del macizo rocoso de la estación N°4**

Se tomaron datos de campo, luego se plasmaron en el DIPS, se encontraron dos familias de discontinuidades, lo cual se corrobora con la presencia de roturas planares (ver figura 10).

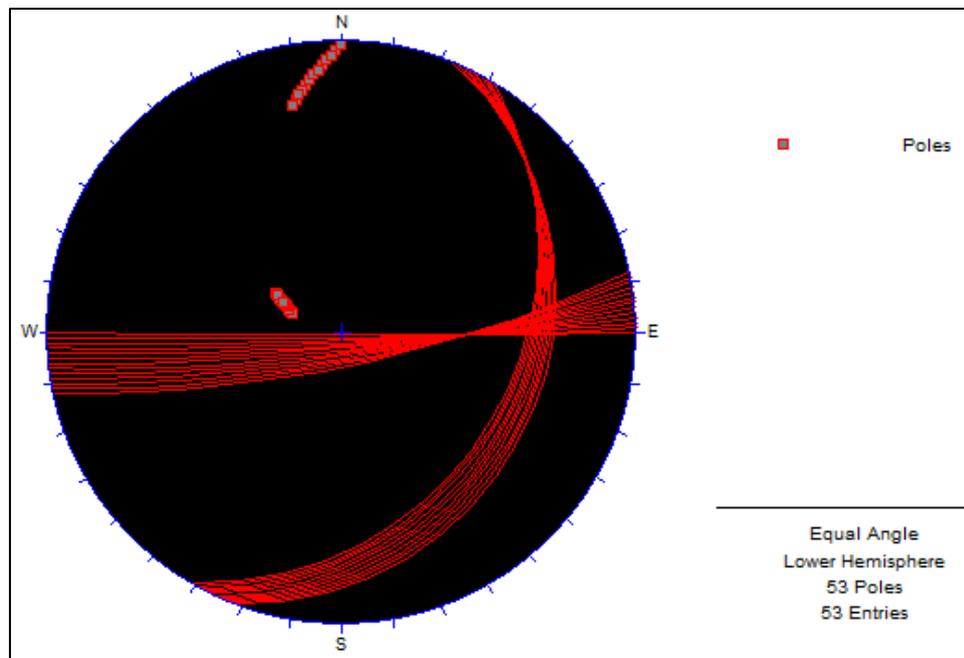


Figura 11. Familia de discontinuidades de la estación 4.

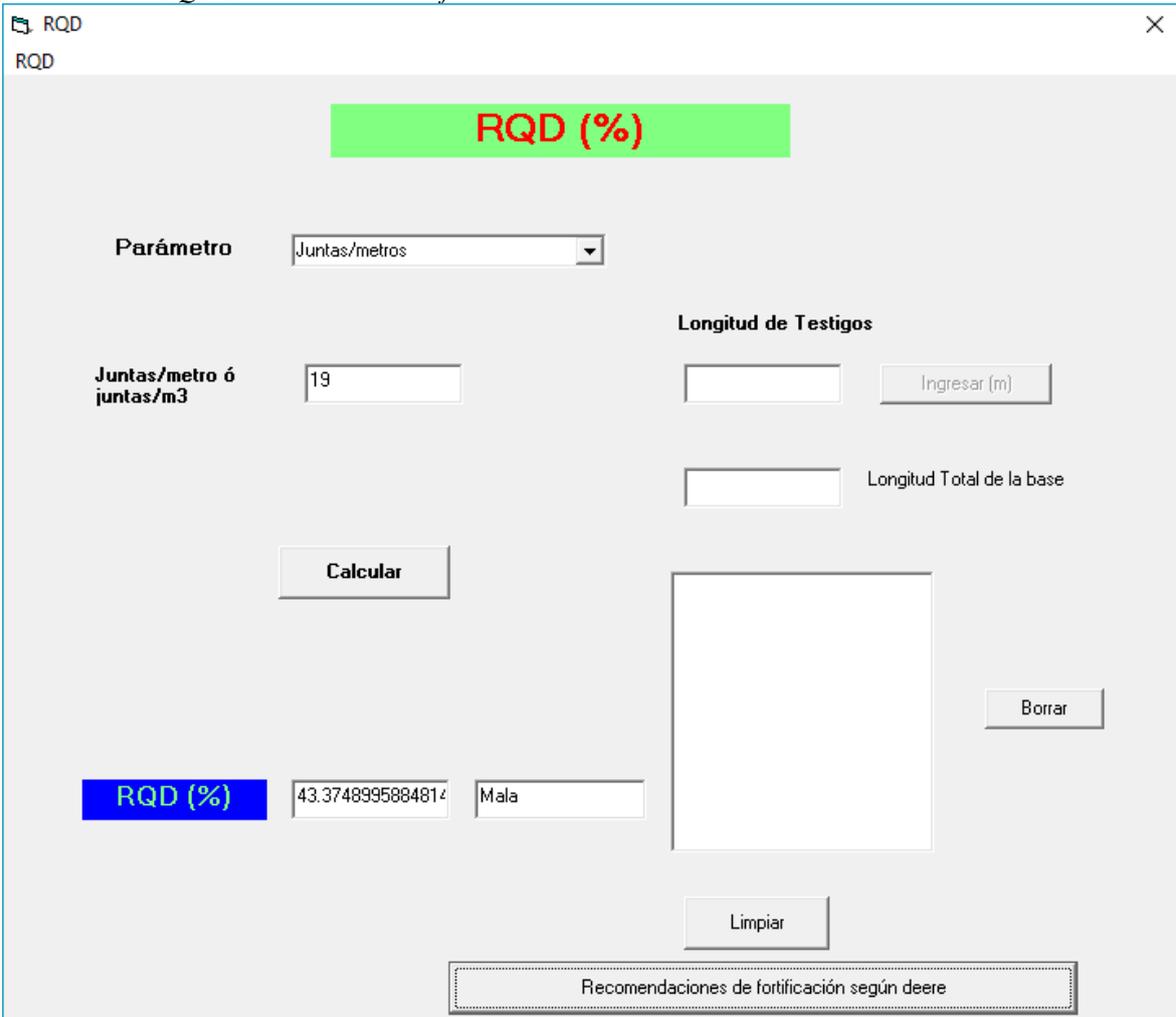
**a. Obtención de valor de la resistencia a la compresión simple (RCS)**

Para romper la roca se requería de 1 a 3 golpes de picota clasificándose como una roca moderadamente dura, se puede considerar un valor de 1 a 2 Mpa.

**b. Análisis para calcular RQD de la estación N°4**

Se realizó la toma de datos in situ encontrándose 19 fracturas en un metro lineal lo cual estos datos fueron procesado en gabinete para calcular el RQD mediante el uso del software GEOTABLE dando como resultado un 43.37 de RQD considerándose como una roca mala debido a muchos que tiene mucho fracturamiento.

Tabla 17  
Obtención del RQD EG-4 mediante el software Geotable.



The screenshot shows the 'RQD' software interface. At the top, there is a green banner with 'RQD (%)'. Below it, the 'Parámetro' is set to 'Juntas/metros'. The input for 'Juntas/metro ó juntas/m3' is '19'. The 'Longitud de Testigos' section has an empty input field and an 'Ingresar (m)' button. Below that, there is an empty input field for 'Longitud Total de la base'. A 'Calcular' button is present. The results section shows 'RQD (%)' as '43.3748995884814' and a quality classification of 'Mala'. There are also 'Borrar' and 'Limpiar' buttons. At the bottom, a box contains the text 'Recomendaciones de fortificación según deere'.

Mediante el uso de software GEOTABLE de mecánica de rocas se realiza a ingresar los datos de fracturamiento de juntas o familias obteniendo RQD de 43.37% del macizo rocoso es malo.



**Figura 12:** Estacion geomecánica n° 4.

Conforme vamos avanzando hacia la veta podemos observar que el macizo rocoso en las inestable debido a la alteración hidrotermal donde la roca andesita y su fracturamiento es mayor está ligeramente alterado, con espaciamiento de las discontinuidades tiene un promedio de 0.16 m, ligeramente rugosa, apertura promedio es 0.1mm, relleno es suave y presencia de agua ocasionando que el macizo rocoso sea inestable.

Tabla 18  
Clasificación RMR de Bieniawski EG-4

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO																	
Clasificación RMR de Bieniawski (1989)																	
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN						
RESIST. COMP. UNIAXIAL (MPa)	> 250	15	100 - 250	12	50 - 100	7	25 - 50	4	< 25	2	< 5	1	< 1	0	1	25 - 50	▼
RQD %	90 - 100	20	75 - 90	17	50 - 75	13	25 - 50	8	< 25					3	2	25 - 50	▼
ESPACIAMIENTO (m.)	> 2	20	0.6 - 2	15	0.2 - 0.6	10	0.06 - 0.2	8	< 0.06					5	3	0.06 - 0.2	▼
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	< 1m.	6	1 - 3m.	4	3 - 10mm.	2	10 - 20m.	1	> 20mm.				0	4A	10 - 20m.	▼
	APERTURA	Cerrada	6	< 0.1mm.	5	0.1 - 1.0mm.	4	1 - 5mm.	1	> 5mm.				0	4B	0.1 - 1.0mm.	▼
	RUGOSIDAD	Muy rugosa	6	Rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla				0	4C	Lig. Rugosa	▼
	RELLENO	Limpia	6	Duro < 5mm.	4	Dura > 5mm.	2	Suave < 5mm.	1	Suave > 5mm.				0	4D	Suave < 5mm.	▼
	ALTERACIÓN	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. Alterada	3	Muy Alterada	2	Descompuesta				0	4E	Lig. Alterada	▼
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	15	Húmedo	10	Mojado	7	Goteo	4	Flujo				0	5	Mojado	▼	
<b>VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =</b>															<b>41</b>		
CLASE DE MACIZO ROCOSO																	
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0							III					
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA							REGULAR					

**PARÁMETRO PARA CALCULAR EL RMR SEGÚN LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES  
TÚNELES Y MINERÍA  
(Rumbo y Buzamiento)**

Rumbo Perpendicular al Eje/Dirección contra Buzamiento 45°-90°	▼	<b>Rango RMR</b>
Regular		-5

<b>VALOR RMR (Corregido) =</b>															<b>36</b>		
CLASE DE MACIZO ROCOSO																	
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0							IV					
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA							MALA					

Tabla 19  
Clase del macizo rocoso según Bieniawski EG-4

RMR	Descripción	
0 a 20	Muy mala	V
21 a 40	Mala	IV
41 a 60	Regular	III
61 a 80	Bueno	II
81 a 100	Muy bueno	I

### La clasificación RMR de Bieniawski (1989)

#### RMR

Valoración : 41  
 Número de Clase : III  
 Descripción : REGULAR

#### RMR (Corregido)

Valoración : 36  
 Número de Clase : IV  
 Descripción : MALA

#### Características resistentes del macizo rocoso

Cohesión (Kpa) : 100-200  
 Angulo de Fricción ( $\phi^\circ$ ) :  $15^\circ$ - $25^\circ$

#### "RMR-según la orientación de las discontinuidades-túneles y minería (Rumbo y Buzamiento)"

Parámetro: Rumbo Perpendicular al Eje/Dirección contra Buzamiento  
 $45^\circ$ - $90^\circ$

Descripción: Regular

**a. Resultados de sostenimiento según el RMR de Bieniawski EG – 04.**

Tiempo de Autosostenimiento: 10 horas, Luz de 2.5 m.

Excavación: Frente superior y destroza, 1–1.5 m de avance en la media sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación 10 m del frente.

Pernos: Pernos sistemáticos, 4–5 m de longitud, espaciados 1–1.5 m en la corona y hastiales con malla.

Shotcrete: 100–150 mm en la corona y 100 mm por los lados.

Cimbras: Cimbras ligeras a medias espaciadas 1.5 m a donde se requiera.

**3.2.7. Estabilidad de las labores subterráneas**

La estabilidad de la abertura se realizó tomando en cuenta el ancho y alto de la labor circundantes a las excavaciones y hacia la veta Leidy con la finalidad de conocer la abertura real de cada labor y se determinó un promedio de 2.40 m de alto por 2.10 de ancho en las galerías y cruceros.

**3.2.8. Diseño para la estabilidad de la mina subterránea Zenit 1**

De acuerdo a los dominios geotécnicos determinados, la calidad del macizo rocoso predominante en la galería para la zona de la veta Leidy se encuentra que en la EG-01 con un valor del macizo rocoso de RMR= 40, EG-02 con un valor del RMR= 38 y EG-04 con un valor de RMR=36 a excepción de la EG-03 con un RMR=44 clasificándose con un macizo rocoso regular.

considerándose las EG-01, EG-02, EG-04 con un macizo rocoso mala y se encuentran en un rango potencialmente inestable indicando que se requiere sostenimiento en las excavaciones.

**a. Cuadro de madera**

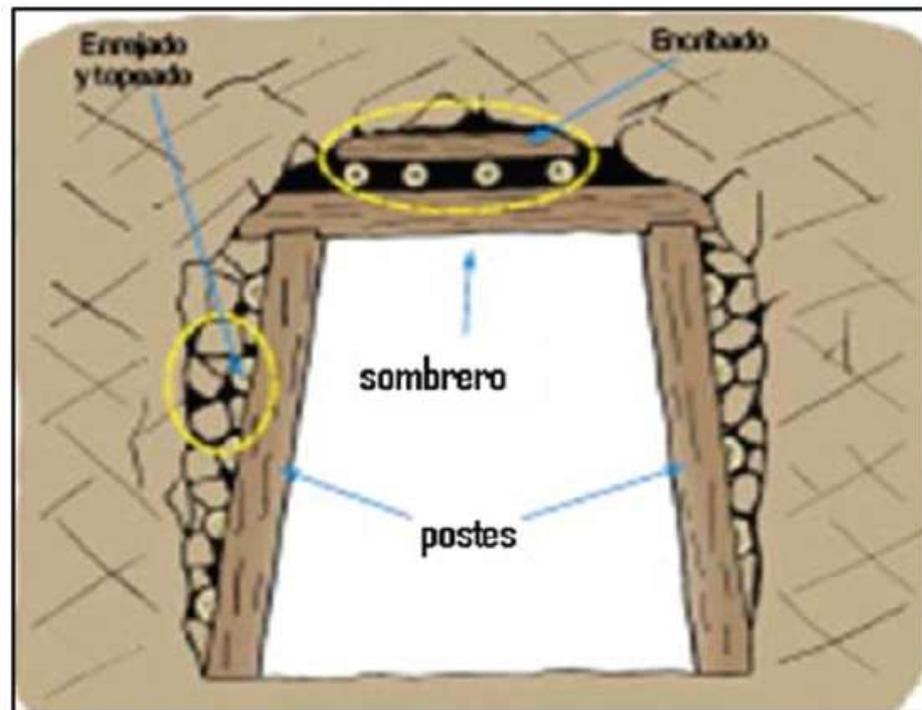
Consiste en el sostenimiento con madera, disponiendo de esta forma en paralelepípedo rectos donde los elementos verticales o estemples soportan las presiones verticales, horizontales o codales las presiones de los hastiales y los cuatro elementos de unión restantes rigidizan el conjunto. Esta técnica de fortificación se emplea preferentemente en yacimientos de rocas débiles e intensamente fracturadas, cuando el mineral se presenta con formas irregulares, con ramificaciones y contactos más definidos. Si los esfuerzos que deben soportar estos elementos de madera son muy elevados, el sostenimiento se debe completar con un relleno normalmente hidráulico, dejando paso hueco para la ventilación este tipo de sostenimiento se debe realizar cada 10 m de avance en la extracción del mineral.

Este método consume una gran cantidad de madera y requiere de mucha mano de obra, porque actualmente casi está en desuso y solo se justifica cuando el mineral es muy rico.

**CUADROS RECTOS**

Dimensiones:

- Postes: 2.10 m
- Sombrero: 2.30 m
- Emparrillado: 1.30 (7 unidades por cada tirante)
- Tirantes: 2.10 m



**Figura 13:** *Diseño de cuadros de madera.*

Así mismo se ha podido observar que en las labores de la mina cuenta con cuadros de madera en los ingreso y zonas inestables del macizo rocoso siendo en algunos casos no implementados de un sostenimiento adecuado, dando como resultados el desprendimiento de rocas dentro de la labor minera.



**Figura 14:** *Desprendimiento de rocas.*

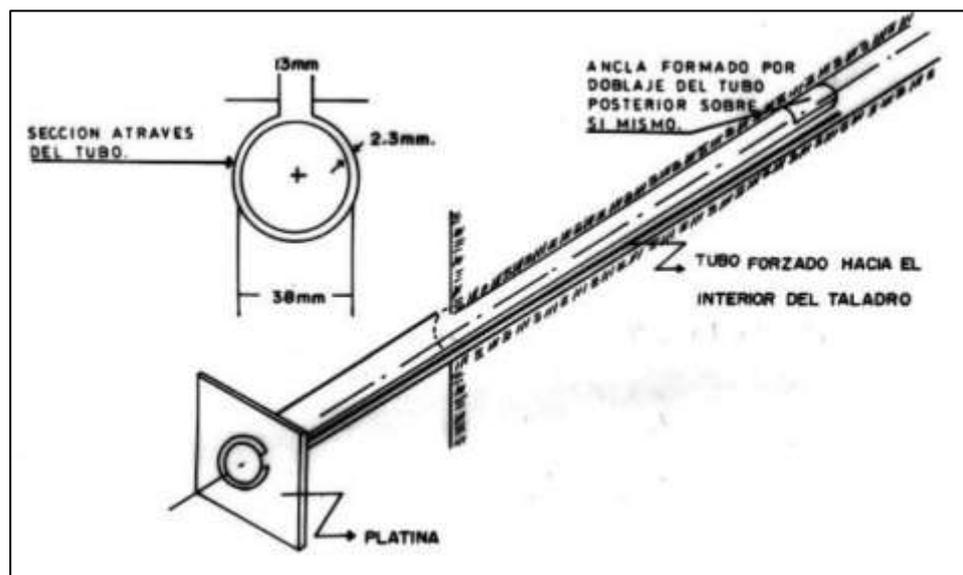
**b. Pernos de anclaje:**

Pernos sistemáticos, 4–5 m de longitud, espaciados 1–1.5 m en la corona y hastiales con malla.

El uso de pernos se utiliza en situaciones muy puntuales, dado que se considera un refuerzo, es decir ayuda a disminuir o elimina la probabilidad de desprendimiento de rocas en un determinado lugar, a diferencia de una entibación el perno tiene un área de influencia de soporte que se verá más adelante, en cambio una entibación es para una determinada sección de labor.

**SPLIT SET**

En casi todo el perno anterior el diámetro de las varillas del Split set tiene un diámetro superior al del taladro donde se va a colocar. esta varilla está constituida por una chapa de 2.3 mm de espesor, plegado en forma de tubo, dejando una separación longitudinal para que el tubo pueda disminuir el diámetro al colocar el perno.



**Figura 15:** Pernos Split



**Figura 16:** Pernos Split en la labor minera Zenit 1.

**c. SHOTCRETE**

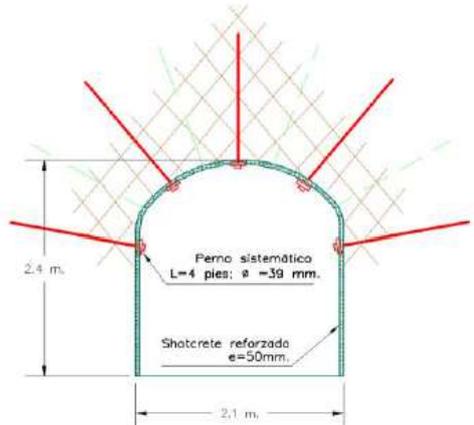
Se deduce que para un RMR menor a 40 una calidad de roca muy mal, esta roca puede ser controlada con Shotcrete de 100-150 mm en la corona y 100 mm por los lados, y en caso que exista sobreesfuerzo será necesario cambiar el sostenimiento por cimbras metálicas.

Considerando una roca mala con sobre esfuerzo en la periferia de las excavaciones cada 1 m, inmediatamente después de la excavación. Es importante el alineamiento, verticalidad transversal, longitudinal y perpendicular a labor, deben estar bien anclada, entibada, topeada y bloqueada en toda la periferia de la cimbra para evitar el desplazamiento

entre las cimbras se colocará como mínimo dos tirantes entre cimbras por cada hastial.

El diseño de la mezcla de Shotcrete para un  $m^3$  consiste en cemento portland (380 Kg), agregado entre arena y gravilla (1800 kg), agua (170 Lt), fibra de acero (40 Kg), aditivo superplastificante (2.5 Lt) y aditivos acelerantes de gragua (3 galones); La relación de agua – cemento debe ser 0.45 para llegar a la resistencia requerida. En el Grafico N° 05 se muestra el análisis de resistencia del Shotcrete para una cuña con 7.45 ton de peso, y considerando 280 Kg/cm<sup>2</sup> (28 MPa) de resistencia a la compresión simple y una resistencia al corte de 2MPa.

Tabla 20  
Configuración del Shotcrete y pernos

	Espesor de Shotcrete (cm)	5
	Densidad (t/m <sup>3</sup> )	2.7
	Alto de la cuña (m)	2.1
	Espesor de la cuña (m)	1
	Capacidad shotcrete (ton/m <sup>2</sup> )	200
	Peso Muerto de la cuña Max (ton)	7.45
	Capacidad de Pernos (ton)	3.0
Factor de Seguridad	4	



**Figura 17:** Shotcrete en la labor minera.

#### **d. Malla metálica**

La malla metálica principalmente se utiliza para los siguientes tres fines:

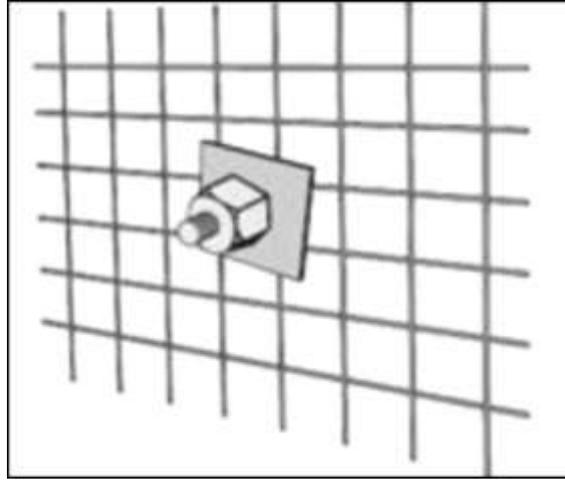
- Primero para prevenir a caída de rocas ubicada entre los pernos de roca, actuando en este caso como sostenimiento de la superficie de la roca.
- Para detener los trozos de roca caída desde la superficie ubicada entre los pernos actuando como un elemento de seguridad.
- Tercero como refuerzo de Shotcrete.

Existen dos tipos de malas:

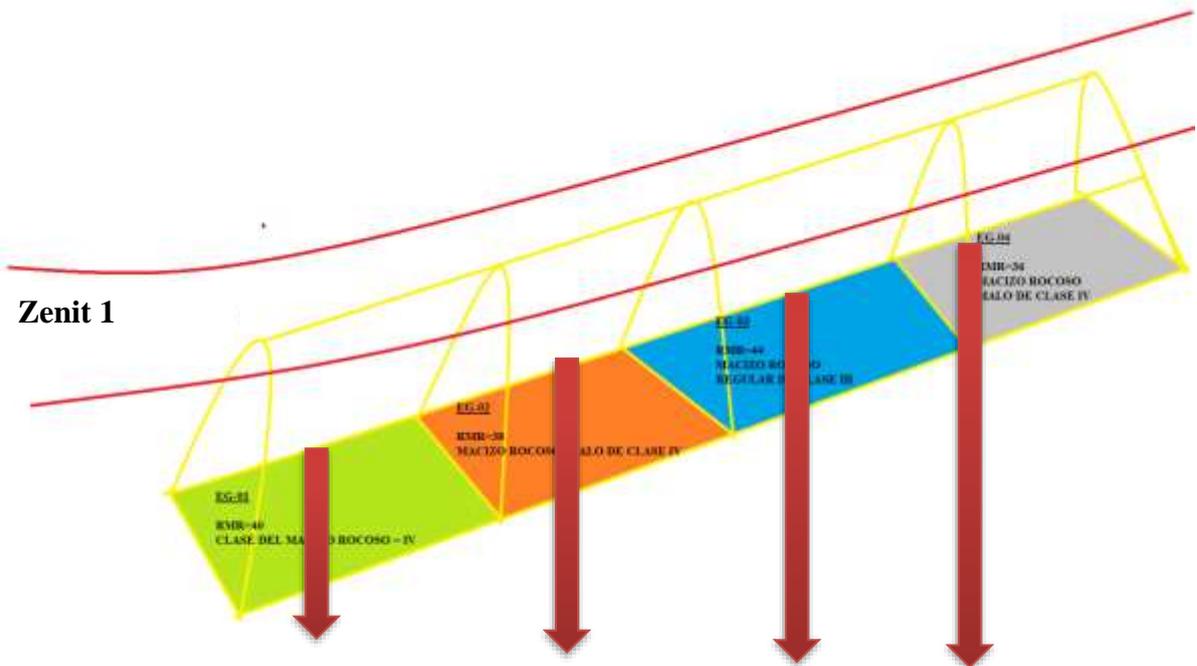
- La malla eslabonada.
- la malla electrosoldada.

Consiste en una cuadrícula de alambres soldados en sus intersecciones generalmente de #10/08, con cocada de 4" x 4", constituidas en material de acero negro que pueda ser galvanizada. Esta malla viene en rollos o

planchas, los rollos tienen 25 m de longitud por 2 m de ancho y las planchas usualmente tienen 3 m de longitud por 2 m de ancho.



**Figura 18:** Diseño de malla





**Figura 19:** Elementos de sostenimiento en Zenit 1, en base la clasificación del RMR de Bieniawski.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

Para la evaluación de la estabilidad de excavaciones subterráneas se tiene varios métodos y sostenimiento, pero mi investigación está en relación a la bibliografía de Ewes L. (2011). En su tesis “desprendimiento de rocas que generan accidentes fatales en la minería peruana”, cuyo trabajo fue motivado por el creciente número de accidentes mortales en el sector minero. Por lo cual considero que su trabajo es una alternativa para poner en marcha un programa conducente a prevenir, controlar y administrar la seguridad y salud ocupacional con eficacia y eficiencia para la extracción de mineral en las labores mineras, que mediante la aplicación de la geomecánica RMR Bieniawski si se establece un tipo de sostenimiento adecuado para la concesión Zenit 1.

Pero no concuerda con la tesis Carhuamaca J. (2009) en su tesis “evaluación y optimización del sostenimiento con cimbras en mina subterránea” que para poder entender la interacción de la roca soporte debe ser evaluada con la modelación mediante métodos numéricos de simulación de programas Phases 6.0, del comportamiento de las cimbras más usadas en la mina Rosaura (THN-29, 6H20), aplicado a los esfuerzos tensionales al que está sometido una excavación y para eso tendría que realizar un estudio más detallado para evaluar y determinar con mayor certeza el tipo de sostenimiento adecuado en base a simulaciones de programas o métodos numéricos.

Esta investigación concuerda con la clasificación geomecánica que actualmente los métodos de clasificación geomecánica más usados donde muchos investigadores lo han utilizado para proponer soluciones a diferentes problemas en minas y túneles los

empleados son los siguientes: método de Deere et al. (1967), basado en el RQD; método de Bieniawski (1989), basado en el RMR y el Q de Barton, Lien & Lunde (1974), basado en un índice Q. Todos ellos representan un gran número de experiencias prácticas sobre casos históricos que proporcionan un criterio técnico veraz y actual.

La limitación sobre esta investigación se basa en la falta de aplicación de estudios topográficos, uso de software para la aplicación en las labores mineras.

Evaluar y comparar costos para la selección del tipo de sostenimiento adecuado de cimbras con respecto a uso de madera que se viene realizando actualmente como un tipo de sostenimiento para la labor minera Zenit 1, conocer el comportamiento de las cimbras frente a las presiones del terreno bajo diferentes condiciones de instalación.

Realizar un estudio hidrogeológico para evaluar los niveles de aguas freáticas que se presentan en las labores mineras.

Los logros y resultados de mi investigación es dar a conocer lo importante que es la aplicación de las clasificaciones geomecánica en base a la recolección de datos en campo siendo estos aplicados para determinar un sostenimiento adecuado y seguro para las excavaciones subterráneas.

Dar a conocer que se debe realizar un estudio más detallado para poder así tener mejor resultado en la evaluación de seleccionar adecuadamente el tipo de sostenimiento.

El aporte a esta investigación es que para la extracción del mineral en la mina Zenit 1, sea de manera segura, realizando las evaluaciones geomecánica adecuada para evaluar un sostenimiento adecuado para que no cause ningún tipo riesgo en los trabajadores que van a realizar la extracción del mineral y trabajar en un ambiente

seguro sin riesgos a ocurrir algún evento que pueda causar accidentes mortales a los trabajadores.

#### **4.2. Conclusiones**

- Se realizó el mapeo geomecánico del macizo rocoso para determinar un tipo de sostenimiento adecuado y de acuerdo a los datos obtenidos de la caracterización del macizo rocoso es mala debido al afloramiento que alteraron el macizo rocoso siendo esta inestable para su extracción del mineral.
- Se evaluó los parámetros geomecánicos de RMR de Bieniawski y se determinó que el tipo de sostenimiento depende de la calidad del macizo rocoso y su competencia. para determinar mediante estudios geomecánicos el tipo de sostenimiento y el tiempo el cual va a durar para las labores mineras.
- En relación al objetivo de la lección de la metodología se encontró que el estudio más completo es de realizar mediante uso de simulación de programas de sostenimientos y esfuerzos tensional del macizo rocoso para evaluar y determinar con mejor aceptación la determinación de un tipo de sostenimiento más adecuado para la extracción de mineral en las labores subterráneas.

## REFERENCIAS

- Alford, C., Brazil, M., & Lee, D. H. (2007). Optimisation in Underground Mining. In *Handbook Of Operations Research In Natural Resources* (Vol. 99, pp. 561–577). <https://doi.org/10.1007/978-0-387-71815-6>
- Anon. (1985). MINE DESIGN: COMPUTERS PLOT UNDERGROUND LAYOUTS. *World Mining Equipment*, 9(4).
- Armengaud, J., Casaux-Ginestet, G., Cyr, M., Husson, B., & Jolin, M. (2017). Characterization of fresh dry-mix shotcrete and correlation to rebound. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.220>
- Brady, B. H. G., & Brown, E. T. (2006). *Rock Mechanics for underground mining: Third edition*. *Rock Mechanics for underground mining: Third edition*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2116-9>
- Cai, M., Kaiser, P. K., Uno, H., Tasaka, Y., & Minami, M. (2004). Estimation of rock mass deformation modulus and strength of jointed hard rock masses using the GSI system. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41(1), 3–19. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(03\)00025-X](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(03)00025-X)
- Farjow, W., Daoud, M., & Fernando, X. N. (2011). Advanced diagnostic system with ventilation on demand for underground mines. In *2011 34th IEEE Sarnoff Symposium, SARNOFF 2011*. <https://doi.org/10.1109/SARNOF.2011.5876449>
- Goel, R. K., Singh, B., & Zhao, J. (2012). *Underground Infrastructures*. *Underground Infrastructures*. <https://doi.org/10.1016/C2010-0-67210-5>

## ANEXOS

### Anexo N° 1: Instrumentos de investigación: Tabla de clasificación de resistencia

Tabla 21  
*Resistencia de la muestra.*

MUESTRA 1					
Resistencia de la Roca Intacta	Ensayo Carga Puntual Digital	<10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa
Valor		15	12	7	4

### Anexo N° 2: Instrumentos de investigación: Tabla de clasificación de presencia de agua

Tabla 22  
*Presencia de agua.*

DESCRIPCIÓN	RANGO
Completamente Seco	15
Semi Húmedo	10
Húmedo	7
Mojado	4
Flujo de Agua	0

**Fuente:** Gonzáles, 2002.

### Anexo N° 3: Instrumentos de investigación: Tabla de clasificación de RQD

Tabla 23  
*Determinación del RQD.*

RQD (%)	Calidad de la Roca
100 – 90	Muy Buena
90 – 75	Buena
75 – 50	Regular
50 – 25	Mala
0 – 25	Muy Mala

**Fuente:** Gonzáles, 2002.

#### Anexo N° 4: Instrumentos de investigación: Tabla de clasificación de espaciado entre discontinuidades

Tabla 24  
*Espaciado entre discontinuidades.*

Fractura	Espaciado	Espaciamento (cm)
<b>Promedio</b>		

#### Anexo N° 5: Instrumentos de investigación: Tabla de descripción del espaciado entre discontinuidades

Tabla 25  
*Descripción del espaciado.*

Descripción	Espaciado	
	Mm	Cm
Extremadamente cerrado	< 20	< 2cm
Muy cerrado	20 – 60	2cm – 6cm
Cerrado	60 – 200	6cm – 20cm
Moderado	200 – 600	20cm – 60cm
Espaciado	600 – 2000	60cm - 2m
Muy espaciado	2000 – 6000	2m - 6m
Extremadamente espaciado	> 600	> 6m

**Fuente:** Gonzáles, 2002.

#### Anexo N° 6: Instrumentos de investigación: Tabla de la clasificación de la persistencia

Tabla 26  
*Descripción de persistencia.*

Descripción de Persistencia	
Persistencia	Longitud (m)
Muy Baja Persistencia	< 1
Baja Persistencia	1 – 3
Persistencia Media	3 – 10
Alta Persistencia	10 – 20
Muy Alta Persistencia	> 20

**Fuente:** Gonzáles, 2002.

## Anexo N° 7: Instrumentos de investigación: Tabla de descripción de la abertura

Tabla 27  
*Abertura de las discontinuidades.*

Descripción de la Abertura	
Descripción	Abertura
Muy Cerrada	Ninguna
Cerrada	< 0.1 mm
Parcialmente Abierta	0.1 – 1.0 mm
Abierta	1 – 5 mm
Muy Abierta	> 5 mm

Fuente: Gonzáles, 2002.

## Anexo N° 8: Instrumentos de investigación: Tabla de descripción de la rugosidad

Tabla 28  
*Clasificación de la rugosidad.*

Rugosidad	Puntaje
Muy Rugosa	6
Rugosa	5
Ligeramente Rugosa	3
Ondulada	1
Suave	0

Fuente: Gonzáles, 2002.

## Anexo N° 9: Instrumentos de investigación: Tabla de descripción del relleno

Tabla 29  
*Relleno de las discontinuidades.*

Grado	Descripción	Estimación en Terreno de la Resistencia
S1	Arcilla muy blanda	Penetra fácilmente varias pulgadas con el puño.
S2	Arcilla blanda	Penetra fácilmente varias pulgadas con el dedo.
S3	Arcilla semidura	Penetra fácilmente varias pulgadas con el dedo, usando esfuerzo moderado.
S4	Arcilla dura	Deja fácilmente hendidura fácilmente hendidura por la acción del dedo pulgar, pero penetra solamente con gran usando esfuerzo moderado.
S5	Arcilla muy dura	Mallada fácilmente por la uña del pulgar.
S6	Arcilla extremadamente dura	Mallada con dificultad por la uña del pulgar.
R0	Extremadamente Débil	Mallada por la uña del pulgar.

Fuente: Gonzáles, 2002.

### Anexo N° 10: Instrumentos de investigación: Tabla de descripción de la meteorización

Tabla 30

*Meteorización de las discontinuidades.*

Término	Descripción
Fresco	No hay señales visibles de meteorización. Si acaso una tenue decoloración en superficies de discontinuidades más desarrolladas.
Levemente meteorizado	Decoloración indica meteorización de la roca intacta y superficies de discontinuidad. La roca puede estar algo más débil externamente que en condición fresca.
Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo. La roca puede estar fresca o descompuesta y/o desintegrada a suelo.
Altamente meteorizado	Más de mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrado. La estructura del macizo
Completamente meteorizado	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado. La estructura del macizo original está prácticamente intacta.
Suelo residual	Todo el material rocoso está descompuesta o desintegrada a suelo. La estructura del macizo original y su textura ha sido destruida. Hay un gran cambio de volumen, pero el suelo no ha sido transportado.

Fuente: Gonzáles, 2002.

### Anexo N° 11: Instrumentos de investigación: Tabla de clasificación del RMR

Tabla 31

*Cálculo del RMR para el macizo rocoso.*

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
		Puntuación	20	17	13	6	5		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m		
		Puntuación	20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min			

5	Relación de agua / Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando
Puntuación		15	10	7	4	0

**Fuente:** Bienawski, (1989)



Anexo N° 13: Plano geomecánico

