

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA**

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

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**TESIS**

**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL REFUGIO  
MINERO FIJO EN EL NV 3240 CR 397 EN LA UNIDAD PRODUCTIVA DE ANTAPITE  
- CIA SIERRA ANTAPITE S.A.C.**

PRESENTADO POR:

**Bach. HINOSTROZA ESCALANTE, Jemerson**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO DE MINAS**

**AYACUCHO – PERÚ**

**2022**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi querida madre Claudia Escalante Hinostroza y a mi querido padre Nemesio Hinostroza Moreno, por su sacrificio y su perseverancia, gracias por haber sido siempre mi mayor motivación.

Y a mis hermanos Marcial, Rolando, Juan, Junior, Cinthia, Ingrid y Jazmín, por brindarme su apoyo en momentos de dificultad y por haber contribuido de manera incondicional en mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por haberme acogido y permitido formarme en sus aulas, a los docentes de cada materia que, con sus conocimientos, sabiduría y experiencia, me transmitieron y formaron.

Al Ing. César Alarcón Medina, Superintendente de Seguridad y salud Ocupacional y Medio Ambiente SSOMA de SIERRA ANTAPITE S.A.C., por haberme permitido realizar mis investigaciones para la realización de esta tesis en dicha empresa, por ello estoy eternamente agradecido.

A los ingenieros, maestros y compañeros de trabajo que conforman la empresa de Sierra Antapite S.A.C., por sus enseñanzas y conocimientos compartidos con mi persona.

Muchas gracias.

## RESUMEN

La Unidad Productiva de Antapite perteneciente a Sierra Antapite S.A.C., presenta muchos riesgos en las labores de excavación; dichos riesgos pueden ser controlados, sin embargo al tener que continuar las labores de excavación los trabajadores se alejan más de la zona de salida; pudiendo tener accidentes de derrumbe que pueden bloquear los accesos a la salida; entonces los trabajadores pueden quedar atrapados, por eso se tienen que tener planes de contingencia para emergencias en interior mina, como parte de este plan, es necesario tener un refugio minero fijo en interior mina de acuerdo al Anexo N° 19 del D.S. N° 024-2016-EM, “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería” y su modificatoria el D.S. N° 023-2017-EM.

Por lo dicho en el anterior párrafo, el estudio realizado en esta investigación tiene por objetivo demostrar; que el lugar elegido en el Nv. 3240 CR 397 para la construcción del refugio minero; es estable y seguro, se ha realizado un modelamiento de esfuerzos inducidos en dos dimensiones (2D) con el apoyo del programa Phases2D, que realiza análisis numérico de esfuerzo-deformación por el método de elementos finitos; para poder analizar el comportamiento de los esfuerzos respecto a la excavación para el refugio minero, que tiene una luz de 2.70 metros, con una área total de construcción de 43.20 m<sup>2</sup> a una profundidad de 135 metros.

El estudio geomecánico, diseño y dibujo, fue hecha por el área de Ingeniería y planeamiento bajo supervisión del área de Seguridad y Salud Ocupacional y Medio Ambiente (SSOMA) de la unidad minera, para poder demostrar que el macizo cumple con el criterio de seguridad que según la Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas de OSINERGMIN tiene que ser  $F.S > 1$ .

**Palabras clave:** Refugio minero, Estabilidad y Seguridad.

## ABSTRACT

The Antapite Productive Unit belonging to Sierra Antapite S.A.C., has an extractive activity that due to the condition of its nature; it presents many risks in the excavation work; These risks can be controlled, however, as the excavation work has to continue, the workers move further away from the exit area; being able to have landslide accidents that can block the accesses to the exit; then the workers can be trapped, for that reason they have to have contingency plans for emergencies inside the mine, as part of this plan, it is necessary to have a fixed mining shelter inside the mine according to Annex No. 19 of the D.S. N ° 024-2016-EM, "Regulation of Occupational Safety and Health in Mining" and its amendment the D.S. No. 023-2017-EM.

For what has been said in the previous paragraph, the study carried out in this investigation aims to demonstrate; that the chosen place in the Nv. 3240 CR 397 for the construction of the mining refuge; It is stable and safe. Two-dimensional (2D) induced stress modeling has been performed with the support of the Phases2D program, which performs numerical stress-strain analysis using the finite element method; in order to analyze the behavior of the efforts regarding the excavation for the mining refuge, which has a span of 2.70 meters, with a total construction area of 43.20 m<sup>2</sup> at a depth of 130 meters.

The geomechanical study, design and drawing was carried out by the Engineering and Planning area under the supervision of the Occupational Health and Safety and Environment (SSOMA) area of the mining unit, in order to demonstrate that the massif meets the safety criteria that according to the OSINERGMIN Guide to Geomechanical Criteria for Design, Construction, Supervision and Closure of Underground Works, it must be  $FS > 1$ .

**Key words:** Mining refuge, Stability and Security.

## INTRODUCCIÓN

Para poder construir un refugio minero fijo en interior mina, se tuvo que realizar diferentes estudios que garanticen una estabilidad y seguridad de acuerdo a los ensayos que se le hace al macizo rocoso y que en un modelo matemático como el software Phase 2 de elementos finitos podamos verificar que el Factor de Seguridad sea mayor a 1 y esto es un indicativo de que el macizo rocoso es estable y seguro, pero la construcción del refugio minero, no solo debe resumirse a los resultados del modelamiento, sino que esta debe ser reforzado con elementos de sostenimiento activo, en ese sentido el refugio minero fijo construido en el NV 3240 CR 397 de la mina Antapite se reforzó con pernos de Split set de 5 pies de longitud para garantizar la estabilidad del refugio en momentos de sometimiento a vibraciones (terremotos, vibración por la voladura, etc).

Es importante entender que la implementación de un refugio minero fijo en interior mina, obedece a los parámetros de dimensión que tienen las labores, en Antapite se optó por implementar un refugio minero fijo por que las dimensiones de excavación son de 2.70 m x 2.70 m y en esta sección no se podría trasladar un refugio minero móvil ya que no se tendría el espacio necesario para que el equipo pueda trasladar con facilidad.

La implementación del refugio minero, es netamente preventivo; para que los trabajadores atrapados en interior mina a causa de un bloqueo de las salidas por derrumbes en interior mina, esto nos permitirá mantenerlos a salvo con todo lo necesario hasta que se pueda realizar el rescate desde el exterior, para que no pueda ocurrir accidentes que a nivel nacional e internacional se suscitaron.

El autor

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTO .....	II
RESUMEN .....	III
ABSTRACT.....	IV
INTRODUCCIÓN .....	V

### CAPITULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 GENERALIDADES .....	1
1.1.1 Ubicación y Accesibilidad.....	2
1.1.2 Concesiones Mineras .....	3
1.1.3 Breve Historia de la Unidad Minera Antapite .....	5
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	6
1.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	7
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	8
1.4.1 Problema General .....	8
1.4.2 Problemas Específicos .....	8
1.5 JUSTIFICACIÓN .....	8
1.6 ANTECEDENTES .....	9
1.7 HIPÓTESIS.....	10

1.7.1 Hipótesis General.....	10
1.7.2 Hipótesis Específicos.....	10
1.8 OBJETIVOS.....	10
1.8.1 Objetivo General.....	10
1.8.2 Objetivos Específicos.....	11
1.9 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	11
1.10 VARIABLES.....	12
1.10.1 Variable Independiente.....	12
1.10.2 Variable Dependiente.....	13
1.11 LIMITACIONES.....	13
1.12 ALCANCE.....	13

## **CAPITULO II**

### **ASPECTOS GEOLÓGICOS**

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	14
2.2 GEOLOGÍA LOCAL.....	16
2.2.1 Geomorfología.....	16
2.2.2 Estratigrafía.....	17
2.3 PRINCIPALES VETAS DE LA U.M. ANTAPITE.....	17
2.4 GEOLOGÍA ECONÓMICA.....	21
2.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	24



**CAPITULO III**  
**OPERACIONES MINERAS**

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO OPERATIVO.....	26
3.1.1 Criterios de Diseño de Mina.....	26
3.1.2 Elección del Método de Explotación.....	30
3.2 MÉTODOS DE MINADO DE LA UNIDAD MINERA ANTAPITE.....	30
3.2.1 Método de Explotación de Corte y Relleno Ascendente Convencional.....	30
3.2.1.1 Ciclo de Minado en Corte y Relleno Ascendente Convencional .....	31
3.2.2 Método de Explotación de Sublevel Stopping con Taladros Largos.....	33
3.2.2.1 Ciclo de Minado en Sub Level Stopping con Taladros Largos.....	35
3.3 DISEÑO DE MINADO SUBTERRANEO .....	36
3.3.1 Labores de Preparación.....	36
3.3.2 Labores de Desarrollo.....	37
3.3.3 Labores de Explotación .....	37
3.4 OPERACIONES UNITARIAS .....	37
3.4.1 Ventilación.....	37
3.4.2 Perforación.....	39
3.4.3 Voladura.....	41
3.4.4 Sostenimiento.....	41
3.4.5 Carguío y Transporte .....	41

3.4.6 Servicios Auxiliares .....	41
----------------------------------	----

## **CAPITULO IV**

### **MARCO TEÓRICO**

4.1 MACIZO ROCOSO.....	43
4.2 DESCRIPCIÓN CUANTITATIVA DEL MACIZO ROCOSO .....	44
4.2.1 Propiedades de Roca Intacta .....	44
4.3 MAPEO GEOMECÁNICO SUBTERRÁNEO .....	47
4.3.1 Mapeo Geomecánico por Celdas .....	48
4.3.2 Mapeo Geomecánico por Línea de Detalle.....	49
4.3.3 Mapeo Geomecánico por Arco Rebatido.....	49
4.4 ÍNDICE DE CALIDAD DE ROCA RQD.....	50
4.4.1 Frecuencia Lineal de Discontinuidades .....	51
4.5 CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO .....	54
4.5.1 Sistema RMR.....	55
4.5.2 Sistema Q.....	61
4.5.3 Índice GSI (Índice de Resistencia Geológica).....	62
4.6 CORRELACIONES ENTRE SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN .....	63
4.7 ESFUERZOS EN EXCAVACIONES SUBTERRÁNEOS .....	64
4.7.1 Estimación de Esfuerzos In Situ .....	65
4.8 FACTOR DE SEGURIDAD .....	67

4.9 REFUGIO MINERO .....	68
4.9.1 Tipos de Refugio Minero .....	69
4.10 REQUISITOS MÍNIMOS DE SEGURIDAD DE LAS ESTACIONES DE REFUGIO MINERO SEGÚN EL ANEXO N° 19 DEL RSSO D.S 024-2016-ME Y MODIFICATORIA D.S 023-2017-ME.....	71

**CAPITULO V**  
**MARCO ANALÍTICO**

5.1 ANÁLISIS DE DATOS.....	75
5.2 UBICACIÓN Y ACCESO DEL REFUGIO MINERO.....	76
5.3 ANÁLISIS GEOLÓGICO.....	77
5.3.1 Geología Local del Refugio Minero .....	77
5.4 INVESTIGACIONES GEOMECÁNICAS.....	77
5.4.1 Caracterización del Macizo Rocosó .....	77
5.4.2 Aspectos Estructurales.....	78
5.4.3 Distribución de Discontinuidades.....	80
5.4.4 Clasificación del Macizo Rocosó .....	82
5.4.5 Zonificación Geomecánica de la Masa Rocosá .....	84
5.5 CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA INTACTA .....	85
5.5.1 Resistencia de la Roca Intacta .....	85
5.5.2 Resistencia de la Masa Rocosá .....	87

5.5.3 Condiciones de Aguas Subterráneas.....	88
5.5.4 Esfuerzos In-situ del Refugio Minero.....	89
5.6 SOSTENIMIENTO DEL REFUGIO MINERO.....	92
5.7 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CONTROLADA POR ESFUERZOS Y DEFORMACIONES APLICANDO EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM) .....	95
5.8 DISEÑO DEL REFUGIO MINERO FIJO .....	97
5.9 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL REFUGIO MINERO .....	99
5.9.1 Costos Fijos.....	99
5.9.2 Costos Variables .....	100
5.9.3 Costos Totales.....	101
CONCLUSIONES .....	102
RECOMENDACIONES.....	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
ANEXOS .....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Accesibilidad a la U.M de Antapite. ....	3
<b>Tabla 1-2:</b> Lista y Área de Concesiones Mineras. ....	4
<b>Tabla 1-3:</b> Lista y Área de Concesiones de Beneficio. ....	4
<b>Tabla 2-1:</b> Reservas Minables de la U.M. Antapite. ....	23
<b>Tabla 3-1:</b> Clasificación de Macizos Rocosos en Función de la Permeabilidad. ....	47
<b>Tabla 4-2:</b> Interpretación de Valores de RQD. ....	51
<b>Tabla 4-3:</b> Relación Entre RQD y Frecuencia Lineal. ....	52
<b>Tabla 4-4:</b> Interpretación de los Valores de RMR. ....	55
<b>Tabla 4-5:</b> Valoración de la Presencia de Agua en el Frente. ....	57
<b>Tabla 4-6:</b> Criterios Para la Valoración de la Resistencia de Discontinuidades. ....	58
<b>Tabla 4-7:</b> Criterios Para la Valoración de la Alterabilidad por Efecto del Agua. ....	58
<b>Tabla 4-8:</b> Ajuste por Orientación del Túnel Respecto a las Discontinuidades Principales. ....	59
<b>Tabla 4-9:</b> Interpretación del Índice Q (Barton, 1974). ....	62
<b>Tabla 4-10:</b> Correlaciones Entre los Sistemas de Clasificación de Macizo Rocoso. ....	64
<b>Tabla 4-11:</b> Criterios Para la Estimación del Módulo de Deformación de Macizos Rocosos. ....	66
<b>Tabla 4-12:</b> FS Recomendados Según Plazo de Estabilidad. ....	68
<b>Tabla 5-1:</b> Características Estructurales de Estructuras Mayores. ....	79
<b>Tabla 5-2:</b> Sistemas Estructurales Principales. ....	80
<b>Tabla 5-3:</b> Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso en Refugio Minero. ....	84

<b>Tabla 5-4:</b> Valuación del Macizo Rocosó del CR 397 Según tabla de Bieniawsky .....	84
<b>Tabla 5-5:</b> Ensayo de Compresión Triaxial. ....	86
<b>Tabla 5-6:</b> Ensayo de Constantes Elásticas.....	86
<b>Tabla 5-7:</b> Ensayo de Corte Directo. ....	87
<b>Tabla 5-8:</b> Parámetros de Resistencia de la Masa Rocosá Involucrado con el Refugio Minero..	87
<b>Tabla 5-9:</b> Dimensiones de Diseño.....	92
<b>Tabla 5-10:</b> Tabla Geomecánica RMR de la Unidad Minera Sierra Antapite S.A.C. ....	94
<b>Tabla 5-11:</b> Tabla de Costos Fijos de la Construcción del Refugio Minero Fijo. ....	100
<b>Tabla 5-12:</b> Tabla de Costos Variables de la Construcción del Refugio Minero Fijo.....	101

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Mapa de Ubicación de la Unidad Minera Antapite. ....	2
<b>Figura 1-2:</b> Cuadrícula de las Concesiones Mineras y Concesión de Beneficio. ....	5
<b>Figura 2-1:</b> Columna Estratigráfica Regional.....	16
<b>Figura 2-2:</b> Columna Estratigráfica Local. ....	17
<b>Figura 2-3:</b> Mineralización Hidrotermal de las Vetas de la U.M Antapite. ....	18
<b>Figura 2-4:</b> Geología Estructural de la U.M. Antapite. ....	25
<b>Figura 3-1:</b> Diseño de Método de Corte y Relleno Ascendente Convencional.....	32
<b>Figura 3-2:</b> Ciclo de Minado del Método de Corte y Relleno Ascendente Convencional. ....	32
<b>Figura 3-3:</b> Diseño de Método de Explotación de Sublevel Stoping.....	35
<b>Figura 3-4:</b> Ciclo de Minado del Método de Explotación de Sublevel Stoping.....	36
<b>Figura 3-5:</b> Diagrama del Circuito de Ventilación de la Zona Alta... ..	38
<b>Figura 3-6:</b> Diagrama del Circuito de Ventilación de la Zona Baja.....	39
<b>Figura 3-7:</b> Malla de Perforación en el Método de Minado de Corte y Relleno Ascendente Convencional. ....	40
<b>Figura 3-8:</b> Estándar de Perforación de Taladros Largos.....	40
<b>Figura 4-1:</b> Diagrama del Macizo Rocosos y de las Estructuras. ....	44
<b>Figura 4-2:</b> Relación Entre Espaciamiento de Discontinuidad y RQD.....	53
<b>Figura 4-3:</b> Gráfico Para la Puntuación de la Resistencia a la Compresión Simple de la Roca Intacta ( $\sigma_c$ ).....	56

<b>Figura 4-4:</b> Gráfico Para la Puntuación del Número de Discontinuidades por Metro .....	57
<b>Figura 4-5:</b> Valores de Fe en Función del RMR. ....	59
<b>Figura 4-6:</b> Valores de Fs en Función del ICE. ....	61
<b>Figura 4-7:</b> GSI (Hoek, Marinos 2000). ....	66
<b>Figura 4-8:</b> Ratio del Esfuerzo Horizontal y Vertical para Diferentes Módulos de Elasticidad..	66
<b>Figura 5-1:</b> Ubicación y Accesos del Refugio Minero NV 3240 CR 397 – Mina Antapite.....	77
<b>Figura 5-2:</b> Mapeo Geomecánico por el Método de Línea de Detalle - CR 397 NV 3240.....	79
<b>Figura 5-3:</b> Diagrama Estereográfico de Planos de Sistemas Principales de Estructuras del Refugio Minero.....	81
<b>Figura 5-4:</b> Diagrama de Rosetas de los Sistemas Principales de Estructura.....	82
<b>Figura 5-5:</b> Estaciones 1 y 2 Donde se Obtuvieron las Muestras de Roca... ..	83
<b>Figura 5-6:</b> Simbología Cromática por Calidad de Roca. ....	85
<b>Figura 5-7:</b> Diagrama de los Esfuerzos Vertical y Horizontal Respecto a la Excavación CR 397.....	91
<b>Figura 5-8:</b> Comportamiento de los Esfuerzos Respecto al Contorno de la Excavación CR 397.....	91
<b>Figura 5-9:</b> Gráfica de Grimstad and Barton (2015), a Partir del Cual se Define los Requerimientos de Sostenimiento.....	93
<b>Figura 5-10:</b> Isovalores de Factores de Seguridad (F.S) en Condiciones Actuales del Refugio Minero (cruce 397). ....	95



<b>Figura 5-11:</b> Isovalores de Factores de Seguridad (F.S) en el Hipotético Caso que la Explotación de la Veta Pampeñita (GA 428) Este sin Relleno .....	96
<b>Figura 5-12:</b> Diseño del Refugio Minero – Vista en Planta. ....	97
<b>Figura 5-13:</b> Diseño del Refugio Minero – Vista Longitudinal. ....	98
<b>Figura 5-14:</b> Diseño del Refugio Minero – Vista Transversal. ....	98
<b>Figura 5-15:</b> Vista del Refugio Minero Respecto a la Altura de la Persona.....	99

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 GENERALIDADES**

Sierra Antapite S.A.C. es el nuevo propietario de la Mina Antapite, la cual fue explotada en el pasado por Inversiones Mineras de Sur S.A. (INMINSUR S.A.) y Compañía de Minas Buena Ventura. Durante este tiempo fueron explotadas varias vetas en la mina Antapite, con la reactivación de la explotación por Sierra Antapite S.A.C.

El yacimiento es aurífero en vetas angostas emplazado en rocas volcánicas tercerarias sobre el batolito de la costa, debido a la acción de productos hidrotermales que ascendieron por medio de fracturas y microfracturas, llevando iones libres de oro y sulfuros.

Las operaciones mineras cada día se hacen más lejanos de las bocaminas, esto obliga tener estaciones de refugio minero en caso de siniestros, para que estos se puedan construir se deben evaluar las condiciones de estabilidad del macizo rocoso donde será emplazado.

### 1.1.1 Ubicación y Accesibilidad

La Unidad Minera de Antapite, se encuentra ubicado geográficamente en las coordenadas centrales UTM (Universal Transversal de Mercator) 8'454,733 N y 492,836 E (WGS84 18S), en el flanco Oeste de la Cordillera Occidental, en la parte meridional del distrito Laramarca, provincia de Huaytará en el departamento de Huancavelica, emplazada en la cuenca de la quebrada Huinchulla, con una cota que varía de los 3,000 msnm hasta los 4,100 msnm.

Para poder acceder a la Unidad Minera de Antapite, desde la Ciudad de Lima se tiene que ir primero a la ciudad de Ica por una vía asfaltada (km 303 de la Panamericana Sur), luego; por el poblado de los Aquijes, de donde parte la vía asfaltada hacia Córdova para luego llegar a la U.M. Antapite. Si se desea acceder a la Unidad Minera por la ciudad de Ayacucho, se tiene que ir por la vía afirmada de la vía Los Libertadores hasta el Distrito de Betania y tomar la vía Betania-Córdova-Antapite (trocha carrosable).

**Figura 1-1:** Mapa de Ubicación de la Unidad Minera Antapite.



**Fuente:** Plan de Minado 2020 – U.M. Antapite.

**Tabla 1-1: Accesibilidad a la U.M Antapite.**

<b>Tramo</b>	<b>Distancia (Km)</b>	<b>Condición de Vía</b>	<b>Tiempo (Hrs)</b>	<b>Estado de Vía</b>
Lima - Ica	303	Asfaltada	3.5	Buena
Ica - Desvio (Aquijs)	4	Asfaltada	0.5	Buena
Desvio Aquijs - Córdova	16	Asfaltada	1.0	Buena
Desvio Aquijs - Córdova	84	Afirmada	2.0	Regular
Córdova - U.M. Antapite	30	Afirmada	1.0	Regular
<b>Total</b>	<b>437</b>	<b>Total</b>	<b>8.0</b>	

**Fuente:** Elaboración Propia

### 1.1.2 Concesiones Mineras

La Unidad Minera Antapite comprende 19 concesiones mineras donde desarrolla sus operaciones mineras y dichas concesiones representan una superficie total de 15,900 Ha, y una concesión de beneficio de 50.51Ha, el titular minero de todas las concesiones es la Compañía Minera Antapite SAC. En la concesión de la Unidad Minera Antapite figuran las coordenadas UTM, en la tabla 1-2, se pueden observar las 19 concesiones con sus dimensiones en Ha, y también se puede apreciar que las concesiones se encuentran en las comunidades de Misacancha y Ocoyo, es donde sierra Antapite concentra sus operaciones mineras.

En las concesiones de Beneficio se tiene instalada la planta de procesos de la unidad Minera Antapite, cuya planta tiene una capacidad de tratamiento de 750 tmsd de manera continua y se viene produciendo barras doré de oro a partir de un mineral que analiza 2.5 a 4 gramos de oro por tonelada, las instalaciones de la planta de procesos, se tiene constante mantenimiento para no poder tener algún tipo de evento, la seguridad es estricta ya que se hacen manipuleo de sustancias químicas peligrosas como el cianuro, que se debe tener un control estricto.

**Tabla 1-2: Lista y Área de Concesiones Mineras.**

N°	Concesiones	Área (Ha)
1	Antapite 1	900
2	Antapite 2	700
3	Antapite 3	900
4	Antapite 4	800
5	Antapite 6	700
6	Antapite 7	1 000
7	Antapite 9	700
8	Antapite 13	1 000
9	Antapite 14	500
10	Antapite 15	1 000
11	Antapite 16	1 000
12	Antapite 26	200
13	Antapite 28	1 000
14	Antapite 73	1 000
15	Antapite 74	1 000
16	Antapite 75	900
17	Misacancha uno	1 000
18	Misacancha dos	1 000
19	Ocoyo	600
	<b>Total</b>	<b>15 900</b>

**Fuente:** Plan de Minado 2020 – U.M. Antapite.

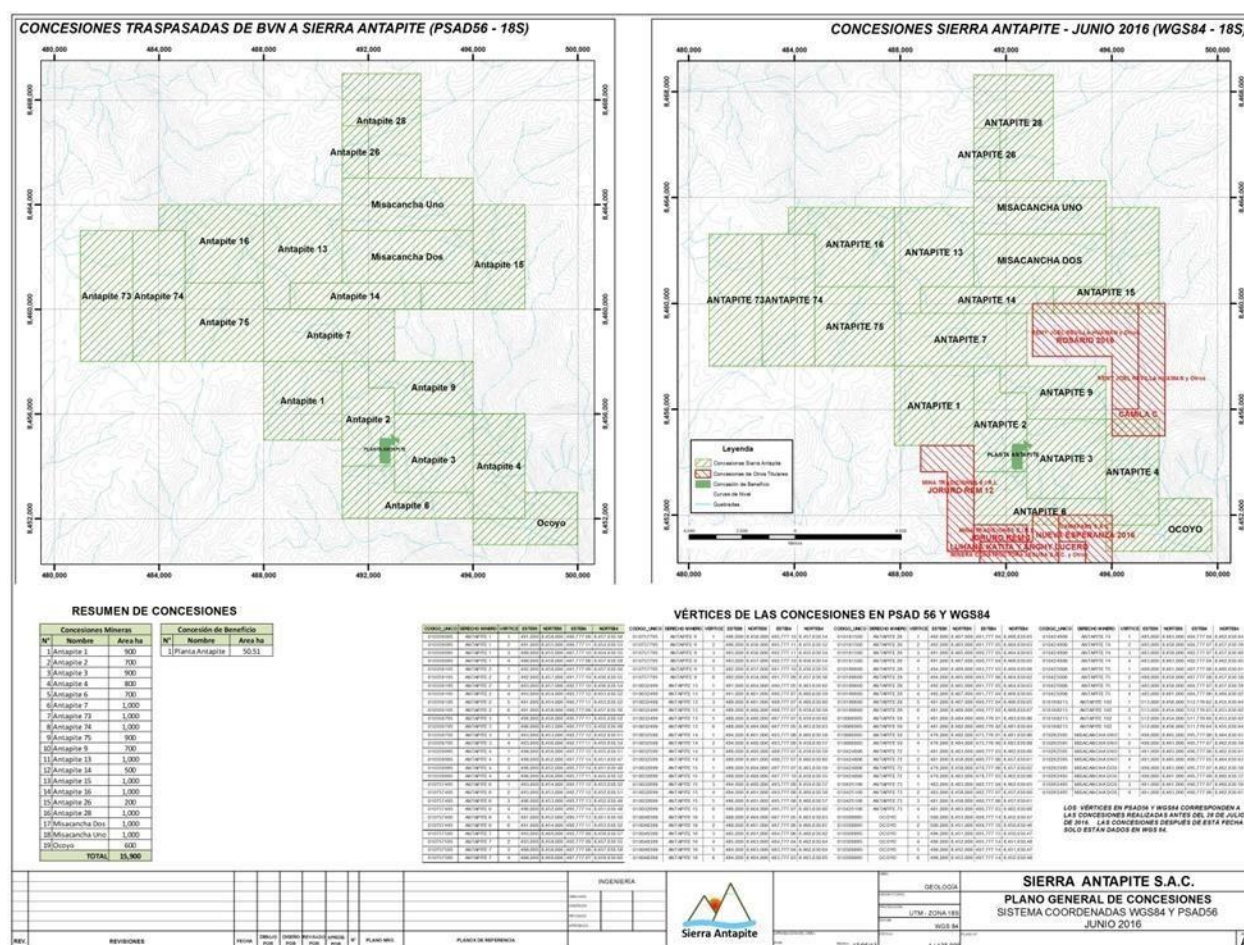
**Tabla 1-3: Lista y Área de Concesiones de Beneficio.**

N°	Concesiones	Área (Ha)
1	Planta Antapite	50.51
	<b>Total</b>	<b>50.51</b>

**Fuente:** Plan de Minado 2020 – U.M. Antapite.

Las concesiones de la U.M. Antapite, si bien concentra una extensión de 15, 900 ha, estas son compartidas con actividades de propias de las comunidades, que conviven con las operaciones mineras en perfecta armonía entre comunidad y mina.

Figura 1-2: Cuadrícula de las Concesiones Mineras y Concesión de Beneficio.



Fuente: Plan de Minado 2020 – U.M. Antapite.

### 1.1.3 Breve Historia de la Unidad Minera Antapite

La Unidad Productiva de Antapite inicia sus operaciones en el año 2001, bajo la administración de la Compañía de Minas Buenaventura, Antapite es una comunidad ubicada a 3.300 msnm en la provincia de Huaytara en la región de Huancavelica en la cabecera de los ríos Ica y Río Grande, con comunidades aledañas dedicadas a la actividad de la agricultura y ganadería, principales actividades de los comuneros de Antapite.

El recurso hídrico eran escasas en la comunidad ya que su consumo era principalmente para la actividad de ganadería y agricultura, para lo cual para poner en operación la mina; se tenía que

llegar a un acuerdo con los comuneros para el uso compartido del agua entre comunidad y mina, en esos términos Buenaventura construye un reservorio de agua de capacidad de 120 m<sup>3</sup> que compartiría con las comunidades aledañas a la mina; para la ganadería y la agricultura, y también se usaría para los campamentos de la mina y para las operaciones de perforación en interior mina.

En el año de 2007, se comienza a producir síntomas de conflictos sociales con la comunidad de San Pedro de Ocobamba donde el tema central del conflicto era el uso del recurso hídrico. En el año 2008, el conflicto se agrava y como medida para poder mejorar la relación de comunidad y mina; Buenaventura planteó apoyar diversos proyectos de infraestructura de la comunidad y del pueblo de Ocobamba, para poder mejorar la calidad de vida de los comuneros, mejorar la producción de sus productos y su ganadería, pero bajo estas condiciones la mina Antapite tenía problemas de expansión y exploración, que obligó a Buenaventura paralizar las operaciones en el año 2013.

Entonces Buenaventura decide vender la mina Antapite y es ahí en diciembre del 2016, Sierra Sun Group con su gerente general el ingeniero Graham Speirs, holding peruano que agrupa a 4 compañías de la mediana minería, adquirió la mina cuando llevaba dos años con sus operaciones detenidas, después de 14 años de actividad, con nuevas políticas socioambientales en lo cual hay una aceptación de la comunidad y que sigue operando hasta el día de hoy y compartiendo el recurso hídrico con la comunidad y mina.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Desde que empezó a operar la mina Antapite en el año 2001, se está utilizando el método de explotación de corte y relleno ascendente, el relleno es básicamente detrítico (desmonte) también se están haciendo trabajos de recuperación de recuperación del relleno con el método de sub level

stopping dejando las aberturas sin relleno temporal y generando inestabilidad en las cajas, cuando la mina comienza a profundizarse; las operaciones, las cajas techo y piso quedan inestables en algunas partes donde la condición de la roca es mala, estas suelen sufrir alteraciones en su estado natural, sufriendo alteraciones que causan inestabilidad.

En el NV 3240 se tiene proyectos de profundización hasta los 600 metros, esto lleva a que en las partes superiores de las labores se generen inestabilidad del macizo rocoso; sumado a esto las constantes vibraciones que generan las voladuras también generan inestabilidad en la masa rocosa; pero el problema es mayor cuando en los meses (octubre – abril) temporada de lluvia; la filtración del agua de lluvia en el macizo rocoso genera un lavado de los fracturas de la masa rocosa generando cuñas y desprendimiento de las rocas en las labores mineras.

Las condiciones desfavorables mencionados en el anterior párrafo son potenciales para que en algún momento la mina pueda sufrir algún derrumbe o desprendimiento de alguna cuña generando bloqueos en las vías de acceso en las labores mineras generando que los trabajadores queden atrapados en el interior de la mina y si no se tuviera un refugio minero en interior mina entonces a los trabajadores atrapados les esperaría la peor de las suertes ya que los trabajos de rescate demorarían dependiendo del punto del derrumbe y la complejidad de las operaciones.

### **1.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

En la presente investigación respecto al estudio geomecanico en el NV 3240 CR 397 se responderán preguntas referentes al análisis y evaluación geomecánica del punto de construcción del refugio minero fijo como:

¿Es estable el lugar elegido para la construcción del refugio minero fijo?

¿Cumplirá el CR 397 del NV 324 con el Factor de Seguridad a la unidad  $FS > 1$ ?



¿Es necesario la construcción del refugio minero fijo?

¿Por qué el refugio minero tiene que ser fijo?

¿Qué sanciones puede tener la mina Antapite si no cuenta con un refugio minero?

## **1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.4.1 Problema General**

- ¿Cuál es la importancia de evaluar la estabilidad del CR 397 del NV 3240 para implementar un refugio minero fijo de acuerdo al Anexo N° 19 del D.S. N° 024-2016-EM, “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería” y su modificatoria el D.S. N° 023-2017-EM en la U.M. Antapite?

### **1.4.2 Problemas Específicos**

- ¿Cumple el CR 397 del NV 3240 con el factor de seguridad mayor a la unidad ( $FS > 1$ )?
- ¿De qué manera contribuye la implementación del refugio minero fijo a la gestión de Seguridad y Salud Ocupacional de la U.M. Antapite?
- ¿Cumple el lugar CR 397 con lo exigido por el Anexo N° 19 del D.S. N° 024-2016-EM, “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería” y su modificatoria el D.S. N° 023-2017-EM.?

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

La Unidad Productiva de Antapite de acuerdo a la evaluación de riesgos presenta 13 (trece) peligros críticos, para los cuales se implementaron sus medidas de control; en la base de datos de la unidad Antapite, no se registraron accidentes por derrumbe en interior mina hasta la fecha de la elaboración de esta tesis, sin embargo; se presentaron otros accidentes, pero las posibilidades de

que puedan ocurrir los derrumbes en interior mina son altas; ya que los trabajos de recuperación de relleno presentan altas probabilidades para este suceso, que puede tener como consecuencia el atrapamiento de los trabajadores.

Sin embargo, la historia de la minería a nivel global nos da a conocer que los accidentes de derrumbe ocurrieron en algunas minas del mundo.

## **1.6 ANTECEDENTES**

Pablo Miguel Capacuti Oviedo, en su trabajo titulado “ Estándares y Requisitos Mínimos de Seguridad para la Instalación de Estaciones de Refugio en Casos de Siniestros Según el D.S 023-2017-EM” Concluye que La implementación de los refugios, debe realizarse con criterios tanto técnicos como de gestión que permita integrar coherentemente estas cámaras o mecanismos al Sistema de Gestión de Seguridad y a su vez permitan tener un buen desempeño para poder actuar de manera inmediata ante la ocurrencia de una emergencia.

Santos Valle Israel Jhonson, en su trabajo de investigación “Implementación de Refugios Mineros En el Nv 4100, Como Parte de Respuesta a Emergencias; en la Empresa Minera Los Quenuales- Unidad Minera Yauliyacu” Concluye que los refugios mineros de acuerdo a la normativa legal vigente debe haber una persona responsable que gestione la inspección y realice mantenimiento periódico necesario del refugio minero; además realizar auditorías anuales posteriormente a la implementación del refugio minero, a fin de garantizar su funcionalidad para poder identificar algunas mejoras en la operatividad del refugio minero.

Los antecedentes de los autores líneas arriba mencionados, son importantes para poder realizar una mejor investigación respecto a las construcciones de refugios mineros, ya que nos permite tener información para poder mejorar los proyectos de refugios mineros.

## **1.7 HIPÓTESIS**

### **1.7.1 Hipótesis General**

- ¿La evaluación geomecánica del CR 397 en el NV 3240 ayuda a mejorar la viabilidad para la ejecución de la implementación de un refugio minero fijo de tal manera cumpla con lo exigido por el Anexo N° 19 del D.S. N° 024-2016-EM, “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería” y su modificatoria el D.S. N° 023-2017-EM.?

### **1.7.2 Hipótesis Específicos**

- ¿La implementación del refugio minero fijo en el CR 397 del NV 3240 impacta significativamente a la gestión de Seguridad y Salud Ocupacional de la U.M. Antapite?
- ¿Qué exista labores en el nivel inferior que no estén rellenos, no afecta a la estabilidad del macizo rocoso y el factor de seguridad del macizo es superior a unidad ( $FS > 1$ )?
- ¿La ubicación del CR 397 del NV 3240 es estratégico para la implementación del refugio minero fijo, por ello impactará y cumplirá con lo exigido por el Anexo N° 19 del D.S. No 024-2016-EM, “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería” y su modificatoria el D.S. N° 023-2017-EM.?

## **1.8 OBJETIVOS**

### **1.8.1 Objetivo General**

- Determinar la estabilidad del macizo rocoso en el CR 397 en el NV 3240 de acuerdo a la exigencia del Anexo N° 19 del D.S. N° 024-2016-EM, “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería” y su modificatoria el D.S. N° 023-2017-EM para la implementación de un refugio minero fijo en la U.M. Antapite.

### 1.8.2 Objetivos Específicos

- Determinar el factor de seguridad del CR 397 del NV 3240 que debe ser mayor a la unidad ( $FS > 1$ ).
- Determinar la contribución de la implementación del refugio minero fijo a la gestión de Seguridad y Salud Ocupacional de la U.M. Antapite.
- Determinar si cumple el CR 397 en el NV 3240 con lo exigido por el Anexo N° 19 del D.S. N° 024-2016-EM, “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería” y su modificatoria el D.S. N° 023-2017-EM.

### 1.9 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación se realizará en la Unidad Minera de Antapite de la compañía minera de Sierra Sun Group S.A.C., la información será tomada de los archivos de la Unidad Minera, algunos datos como los ensayos de las rocas estas se enviara a los laboratorios las muestras para poder sacar los datos reales de esfuerzos tales de compresión y tensión, se elaborara el plano de diseño del refugio minero con el apoyo del área de planeamiento de la misma unidad, se identificara los puntos de muestreo con el apoyo de los geomecanicos de la unidad minera, se realizara los trabajos de gabinete en modelamientos en el área de planeamiento de la Unidad Minera Antapite.

- a) Enfoque:** las estrategias de la investigación de este proyecto de investigación, es para poder evaluar la estabilidad del CR 397 den NV 3240 para poder implementar el refugio minero fijo, que el macizo rocoso tenga loas condiciones exigidos por las normas de seguridad y que el factor de seguridad sea el óptimo para tener un refugio minero seguro.
- b) Alcance o nivel de investigación:** El alcance de esta investigación es solo para el NV 3240 CR 397 de la Unidad Minera Antapite, si se desea implementar otro refugio minero se deberá hacer otros estudios y ensayos.

En este proyecto de investigación el nivel de investigación es de manera descriptiva ya que está orientado a conocer los indicadores para conocer la estabilidad del macizo rocoso.

- c) **Diseño:** Se realizará ensayos de las muestras de los puntos E1 y E2 del CR 397 del NV 3240, conocido los parámetros de la roca se realizará simulaciones de elementos finitos en el software PHASE 2, se solicitará a las áreas de planeamiento, geología y seguridad, las informaciones de planos, muestras y normas para poder plasmarlo y procesarlo en el gabinete.
- d) **Temporalidad:** Se estudiarán e investigarán los datos de la Unidad Minera Antapite de una antigüedad de los últimos 05 años.
- e) **Población:** La población de estudio será la Unidad Minera de Antapite perteneciente a la compañía minera de Sierra Sun Group S.A.C.
- f) **Muestra:** La muestra se tomaron en las estaciones E1 y E2 del CR 397 del NV 3240, roca natural Andesíticos.
- g) **Técnicas e instrumentos de recolección y procesamiento de datos:** Se realizará tomas de muestras, ensayos, recopilación de datos y entrevistas a los jefes de área de planeamiento, geomecánica y seguridad, se realizará modelamientos de estabilidad en el software PHASE 2, autocad y office, se revisará y recopilará información de las bibliografías referente al tema y de trabajos de investigación de tesis.

## 1.10 VARIABLES

### 1.10.1 Variable Independiente

- Evaluación geomecánica del macizo rocoso

### **1.10.2 Variable Dependiente**

- Estabilidad del macizo rocosa.
- Factor de seguridad.
- Implementación de un refugio minero fijo.

### **1.11 LIMITACIONES**

En la presente investigación, se tuvo diferentes limitaciones para poder desarrollar de manera más profunda, en materia de costos, fue una de las limitaciones ya que los gastos de la elaboración fueron financiados enteramente por el tesista, en materia de información, se tuvo que analizase en ocasiones informaciones pasadas ya que no se cuenta con algunas informaciones actualizadas.

### **1.12 ALCANCE**

El alcance del presente trabajo de investigación es de aplicación para la construcción del refugio minero fijo en el NV 3240 CR 397 de la U. M. Antapite, los estudios realizados son exclusivamente geomecanicos del macizo rocoso donde se emplazará el refugio minero fijo, en la presente investigación, no se tomarán datos de implementación de los elementos que requiere el refugio minero; solo se tocarán temas de estabilidad y análisis geomecanico.

## **CAPITULO II**

### **ASPECTOS GEOLÓGICOS**

#### **2.1 GEOLOGÍA REGIONAL**

La Estratigrafía Regional está comprendido por una secuencia de rocas sedimentarias y volcánicas que datan desde Jurásico inferior representado por la formación Yura, continuando con las formaciones volcánicas del Terciario de edades neógenas, representado por varias formaciones volcánicas, entre la más reciente está la Formación Pocoto, “también afloran pequeñas intrusiones de granodiorita, monzogranito y diorita, parte del Batolito de la Costa, que intruyen la secuencia Mesozoica y parcialmente las secuencias volcánicas del Terciario. Asimismo, hay pequeños stocks de sub-volcánicos de tipo andesita, riolita y dacita”.

En el área minera de Antapite, las rocas volcánicas y sedimentarias volcánicas se encuentran en una unidad posiblemente Eoceno-Oligoceno (Cenozoico), ubicada en un desajuste del lecho rocoso prevolcánico Mesozoico (formaciones Labra, Gramadal, Hualhuani, Chaclatacama y Chúlec). observado. de la costa peruana de Batrice, concentrada en la Sierra Central del Perú y a caballo entre la región de Huancavelica.

La unidad basal incluye una secuencia volcánica terciaria que va desde la andesita basáltica hasta la dacita, que se subdivide tentativamente en el grupo basal piroclástico de toba alojada en los batolitos de la costa peruana.

Varias unidades sedimentarias eruptivas, eruptivas, piroclásticas y volcánicas ocurren sobre esta secuencia.

Esto se puede clasificar libremente en tres secuencias. En las unidades inferior, media y superior, cada secuencia comienza con domos de flujo, flujos de lava y materiales piroclásticos que son principalmente gotas.

La Unidad Inferior está compuesta por lava, domo, brecha inferior (Machucancha), toba y lahar (Chonura), todos andesíticos a andesíticos basálticos, con polimita y ortobrechas, hay una fase fragmentaria. La Unidad Intermedia se compone de lavas naturales, domos intermedios y brechas, lahares y tobas, que van desde lavas andesíticas que contienen plagioclasa, clina y ortopiroxeno labradorita hasta lavas basálticas. Además, hay lagunas con una matriz que parece toba. Estas secuencias tienen inserciones desde areniscas de toba gruesa hasta limolitas arcillosas pobremente estratificadas.

La unidad superior está compuesta por depósitos volcánicos y ensamblajes piroclásticos que tienden a llenar depresiones estructuralmente controladas como la unidad Mamawanga, entre otras.

Estas rocas son típicamente andesíticas. Estas tres unidades están permeadas por flujos piroclásticos andesíticos, dacíticos y posiblemente romboidales. La actividad volcánica en la región está bloqueada por una serie de intrusiones volcánicas, que incluyen acumulaciones y terraplenes andesíticos, y flujos piroclásticos dacíticos, la región de Huancavelica se encuentra en una zona de esfuerzos de compresión.



**Figura 2-1:** Columna Estratigráfica Regional.

Era	Sistema	Serie	Unidad Formación	Símbolo	Descripción
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno (reciente)	Depósitos aluviales	Qr-a	Acumulación de gravas redondeadas, limos y arcillas, no consolidadas.
			Depósitos Coluviales	Qr-co	Materiales rocosos de diverso tamaño pero de litología homogénea incluidos en una matriz limo-arcillosa o limo-arenosa.
		Pleistoceno	Depósitos Aluviales Antiguos	Qp-a	Conglomerados semi-consolidados de gravas sub-redondeadas de tamaño variado, con algunos horizontes arenosos.
			Depósitos Glaciares	Qp-g	Acumulaciones de gravas de tamaño variable y de formas angulosas a sub-angulosas. También limos, arenas y gravilla.
				Pocoto	Ts-p
MESOZOICO	TERCIARIO	Superior	Caudalosa	Ts-ca	Coladas y brechas andesíticas, con intercalaciones lenticulares de piroclastos y areniscas tobáceas.
			Castro Virreyna	Ts-c	Intercalación de derrames lávicos, aglomerados y tufos de naturaleza andesítica.
			Formación Pariatambo	Ks-pt	Margas de color marrón oscuro o gris y lutitas negras bituminosas con intercalaciones de calizas
	CRETACEO	Inferior	Formación Chulec	Ki-ch	Bancos de margas con capas delgadas de calizas; intercalados ocurren horizontes delgados de lutitas. Color de la secuencia azul grisáceo.
			Formación Colcapampa	Ki-co	Rocas calcáreas, grises con intercalación de lutitas y margas
			Formación María Elena	JsKi-me	Tobas y aglomerados volcánicos de naturaleza dacítica.
			Grupo Yura	Js-y	Intercalación se areniscas tufáceas y cuarzosas intercaladas con caliza fosilífera.
JURASICO	Superior	Grupo Yura	Js-y	Intercalación se areniscas tufáceas y cuarzosas intercaladas con caliza fosilífera.	

**Fuente:** Columna Estratigráfica Regional INGEMMET 1995.

## 2.2 GEOLOGÍA LOCAL

### 2.2.1 Geomorfología

El desarrollo geomorfológico se halla estrechamente relacionado con la unidad morfoestructural de la cordillera occidental y la intrusión del batolito de la costa, disecada por quebradas profundas, cauces de los ríos, las formaciones de los cerros y quebradas; datan desde la edad Paleozoico hasta el Cuaternario reciente. Las formaciones son del Grupo Mitu y el Grupo Ambo, estas son las formaciones más principales que se tiene en la región Huancavelica.

## 2.2.2 Estratigrafía

La secuencia estratigráfica presente en el área en estudio, de la más antigua a la más reciente, está conformada por una serie de intercalación de roca volcánica, de edad terciaria, formada por depósitos lávicos de composición andesítica, con flujos secuenciales que han englobado a clastos de diferente tamaño y litología, presentando apariencia semejante a zonas brechadas y/o aglomerados volcánicos, distribuyéndose ampliamente en la zona, siguiendo la secuencia cenozoica, se aprecia niveles discontinuos con ligera potencia de naturaleza coluvial. En el Cuadro 2.3 se aprecia la columna estratigráfica local tipo, se observa la era, sistema, serie, unidad o formación, símbolo y descripción de la estratigrafía.

**Figura 2-2: Columna Estratigráfica Local.**

Era	Sistema	Serie	Unidad Formación	Símbolo	Descripción
C E N O Z O I C O	CUATERNARIO	Holoceno (reciente)	Depósitos Coluviales	Qr-co	Gravas, bolones y bloques de roca volcánica, sub-redondeadas, envueltas en una matriz areno-limosa, suelta y blanda, asimismo se aprecia suelo limo-arcilloso, blando, medianamente plástico, con un espesor variable que pocas veces supera valores de 0.5 m a 1.0 m. Aflora rellenando el valle Huinchulla y las faldas de las colinas.
	TERCIARIO	Superior	Pocoto	Ts-p	Derrames dacíticos y andesíticos intercalado con flujos piroclásticos conformados por tobas riolíticas, aflora en la zona sur del cerro Antapite
			Caudalosa	Ts-ca	Potentes bancos de tufo y brechas tobáceas, intercalada con derrames andesíticos y horizontes riodacíticos de coloración violácea.
			Castro Virreyna	Ts-c	Brechas tobáceas andesíticas, con elementos redondeados y angulosos, de color violáceo de composición riolítica, intercalado con flujos de lava, brecha y conglomerados de naturaleza andesítica, afloran en los alrededores de la quebrada Suyto y Huinchulla.

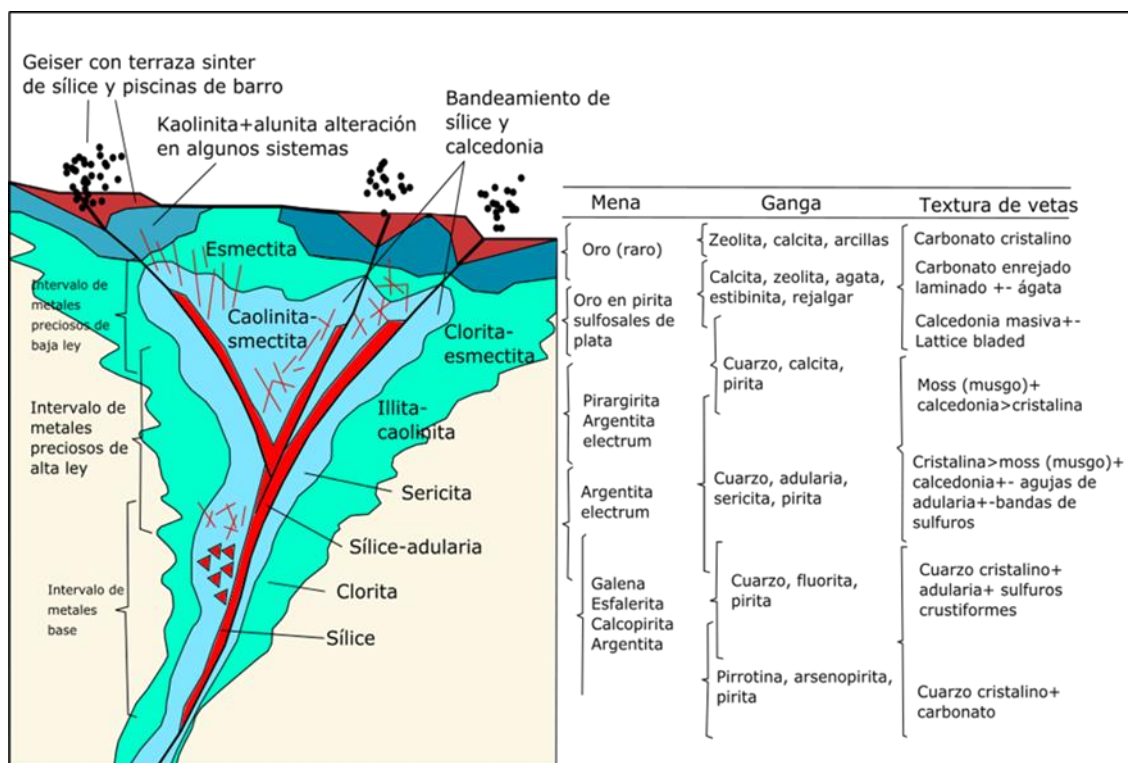
**Fuente:** Columna Estratigráfica Local INGEMMET 1995.

## 2.3 PRINCIPALES VETAS DE LA U.M. ANTAPITE

La mineralización de las vetas de la U.M. Antapite son de origen hidrotermal de tipo relleno de fracturas, de baja sulfuración, estas vetas auríferas contienen plata subordinada, donde el oro se

encuentra en estado nativo o como electrum, gracias a las fuertes presiones y temperaturas sometidos por millones de años, los minerales que se formaron fueron cristalizándose y estas formaron los principales minerales que contienen el oro. El proceso formativo de la mineralización se explica en la figura 2-3.

**Figura 2-3:** Mineralización Hidrotermal de las Vetas de la U.M Antapite.



**Fuente:** Departamento de Geología - U.M. Antapite

- a) **Veta Zorro Rojo:** “Estructura cuyo rumbo promedio es N 58° W, 75° SW de buzamiento, en superficie se tiene reconocido con trincheras y tiene una longitud de afloramiento discontinuo aproximado de 4650 m”.

La mineralización se compone principalmente de cuarzo opalescente, vetillas de cuarzo hialino y finas vetillas de amatista y cuarzo gris, con un ancho de 0,40 a 7,00 m, relleno de los vacíos o mineralogía con limonita y arcilla, se encuentra impregnada de trituración, que

es una recopilación. Cuarzo fracturado, adularico, sericita, pirita, granulometría Au y trazas de plata, el espesor del mineral es de unos 2,00 m, calculado a partir de trabajos subterráneos.

- b) **Veta Pampeñita:** Estructura cuyo rumbo promedio es S 55° E, 68° NE de buzamiento y con ancho promedio de 1.20 m, esta veta solo se tiene reconocido en interior mina.

La mineralización es de origen hidrotermal de baja sulfuración, compuesta principalmente por cuarzo blanco, cortado por venillas de cuarzo hialino y gris, sulfuros con arcillas y óxidos de fierro. La textura que predomina es de brecha y bandeada, las alteraciones principales son la propilitización y oxidación con presencia de limonitas relleno de cavidades y fracturas, con diseminación de pirita.

- c) **Veta Antapite:** Estructura cuyo rumbo promedio es N 58° W, 71° SW de buzamiento. En superficie se tiene reconocido con canales y trincheras, en una longitud de afloramiento discontinuo aproximado de 1,000 m, compuesto por crestones de cuarzo blanco lechoso, con anchos que van desde 0.40 m a 1.90 m, con bandas intermedias de roca volcánica argilizada que en conjunto dan un ancho total de 10 m. La mineralización está compuesta principalmente por cuarzo blanco lechoso, cortados por venillas de cuarzo hialino y gris de hasta 5 cm de ancho, con presencia de limonitas relleno de cavidades y fracturas, con diseminación de pirita y concentraciones esporádicas de esfalerita y galena, con contenido de Au.

Las rocas encajonantes, estas rocas que se concentran principalmente en la caja techo y caja piso, comprende a la Unidad Inferior Machucancha, conformada principalmente por lavas, brechas y tobas, todas de composición andesítica y la Unidad Mamahuanca conformado por tobas andesíticas de tonalidad verde amarillento, propilitizados con

bastante contenido de epidotas, calcitas y cloritas, esta pertenece a la unidad intermedia de lavas, brechas, y tobas, etc.

Debido a que se trata de una vetas-falla (pre y post mineralización) en las cajas piso y techo inmediatas se conforman “falsas cajas” generalmente débiles, fracturadas y panizadas. Estas vetas poseen forma aproximadamente tabular con potencias que varía de 0.25 a 2.50 metros.

- d) Veta Katy:** Estructura cuyo rumbo promedio es de N 60°W y buzamiento de 70°NE con una potencia promedio de 0.45 m. La mineralización es de origen hidrotermal de baja sulfuración con ensamble mineralógico de cuarzo-clorita-pirita y oro como mena. El oro ocurre en cuarzo gris y cuarzo blanco en estado nativo o como electrum, asociados con sulfuros principalmente pirita. La textura que predomina es de brecha acompañada de venillas de óxido de fierro con una matriz de cuarzo, también existen tramos con bandas de cuarzo masivo y venillas de óxido de fierro.

La alteración hidrotermal es débil principalmente propilítica al techo y piso de la veta, esta veta se hospeda en tobas y lavas de la formación Machucancha.

- e) Veta Verónica:** Estructura cuyo rumbo promedio es N 48° W, 72°SW de buzamiento, con una potencia promedio de 0.50 m se encuentra ubicada al techo de la veta Antapite.

La mineralización es de origen hidrotermal de baja sulfuración con ensamble formado por cuarzo, pirita, clorita y óxidos de fe. El oro ocurre en paragénesis con cuarzo gris con intercalación de cuarzo blanco lechoso, en estado nativo o como electrum, estas en proporción de 1:4 en relación a la plata donde también están asociados con sulfuros como la esfalerita, pero principalmente se tiene a la pirita. La litología es conformada por tobas y lavas de la formación Machucancha.

La alteración hidrotermal es principalmente propilítica y está restringida a la veta con un halo de menos de un metro de cuarzo, clorita, sericita y calcita, la alteración hidrotermal se dio con el paso de los millones de años y por efecto del agua de las lluvias.

- f) **Veta Gabriela:** Estructura cuyo rumbo promedio es N 70°W, 80° NE de buzamiento, tiene un ancho promedio de 0.80 m. Gabriela es la continuación de la veta Zorro Rojo.

Hay mineralogía de cuarzo multigeneracional, cuarzo blanco, cuarzo gris y fracturas, con puntos de geoda y clorita presentes en el cuarzo gris, y alteraciones hidrotermales importantes tonificadas por óxidos de fractura. El boxrock en el que se encuentra está compuesto principalmente por lava de composición toba y andesita. Un poco de margas.

- g) **Veta Zorro Rojo Norte:** Tiene Rumbo promedio de N 58°W buzamiento de 70°W con una potencia promedio de 0.70 m. Se ubica en la continuación de Zorro Rojo.

La mineralización es de origen hidrotermal con poco sulfuro y consiste en minerales de cuarzo, calcita, pirita y oro. Ocurre como un electrum asociado con pirita. La textura de brecha es la más común, con una matriz de cuarzo y también grandes intervalos de cuarzo con vetas de calcita. La alteración hidrotermal es débil y la parte superior e inferior de la veta son en su mayoría propilíticas. La roca huésped consiste en toba de brecha y lava de andesita.

## 2.4 GEOLOGÍA ECONÓMICA

La mineralización de la Cordillera Antapite es de tipo relleno de fractura de origen hidrotermal con baja sulfuración por cuarzo, adularia, sericita y pirita. La mineralización incluye oro con pequeñas cantidades de plata, que se encuentra en su estado nativo o como electrum, y contiene varios sulfuros, principalmente esfalerita, galena, calcopirita y sitios de sulfato asociados con la simbiosis tardía del cuarzo asociado con pirita que contiene trazas de p.ej. El oro se concentra en

estos minerales, como tetraedrita y burnita. La mineralización económica de oro ocurre en el crecimiento secundario tardío de cuarzo gris, calcedonia, blanco e hialino. Relación Ag/Au 1/1 a 1,5/1. Las características mineralógicas, estructurales y geoquímicas de las vetas de antapatita revelan sistemas hidrotermales intermedios a profundos. La alteración epitermal generalmente se limita a halos delgados adheridos a las vetas con la presencia de cuarzo-sericita-adularia, esta última evidente bajo el microscopio por tensión y difracción de rayos X.c. Una piedra preciosa de sericita del yacimiento de Zorro Rojo tiene una fecha de 26,34 +/- 0,21 Ma. La sericita se produce como reemplazo del feldespatos o la adularia asociada con el cuarzo y llena los vacíos en las vetas. Luego hacia cajas frescas hay alteración de propilita con presencia de clorita, epidota, calcita, plagioclasa y cuarzo esméctico. Con base en investigaciones petromineralógicas, pudimos determinar la mineralogía de las minas de antapatita. Esta viene dada por los siguientes minerales de mena y ganga:

- Minerales de ganga. - Cuarzo, Sericita, calcita.
- Minerales de mena. - Pirita, Arsenopirita, Marcasita, Esfalerita, Calcopirita, Galena, Oro nativo, Electrum, Magnetita, Covelita, Cobres Grises, Digenita

La mineralogía de las Montañas Antapite se caracteriza por la presencia de varias generaciones de cuarzo. Entre ellos se encuentran bandas de cuarzo blanco y amatista, y texturas alternativas de calcita intersectadas por vetas posteriores de cuarzo hialino blanco y gris, coroforno y calcedonia. El Au se deposita principalmente sobre cuarzo coloforno, blanco y gris hialino. La secuencia volcánica en la que se encuentra el yacimiento de antitita presenta una alteración característica de hiposulfatación (cuarzo-adularia-sericita) según el tipo de yacimiento al que pertenezca. Este cambio es impulsado principalmente por fluidos compuestos de agua de lluvia y pH casi neutro. La distribución vertical y espacial de las zonas de alteración en formaciones hidrotermales son

termómetros pirofilita (200 °C a 250 °C, pH 4 a 5), alunita (< 300 °C, pH 3), cuarzo opal (<100 °C, muy bajo pH), calcedonia (100°C – 200°C), jaspe. Los minerales alterados hidrotermalmente presentes se caracterizan por ser estables en ambientes con pH neutro a casi alcalino y temperaturas superiores a 250°C (sericita-adularia).

En la mineralización de la U.M. Antapite se pueden distinguir tres zonas de alteración hacia el exterior de la vena. En la solidificación inicial de los minerales, está representado por cuarzo lechoso, cuarzo calcedonia y sílice gris con finos puntos de sericita. Estos minerales son los componentes principales de las venas. 2º: Las arcillosas se dan cerca de las vetas de mineralización, siendo los principales minerales formados sericita-cuarzo-adularia-calcita. Esta alteración pertenece a la composición mineralógica de la alteración Phyllus y se forma dentro de pH 4-6 al calor superficial. Temperaturas entre 250°C y 300°C. Esta composición es más pronunciada en el grupo de las arcillas, generalmente adyacentes o asociadas a vetas de cuarzo, y finalmente en la propilita más alejada de las vetas. Se encuentran clorita, calcita, illita, esmectita, caolinita, albita, epidota y magnetita. La mineralización se da a altas temperaturas donde las mediciones de la temperatura de formación de los minerales presentes en los dos primeros definen ubicaciones relativamente profundas en el sistema hidrotermal donde los minerales se concentran como oro nativo o electrum.

**Tabla 2-1:** Reservas Minables de la U.M. Antapite.

<b>Categoría</b>	<b>Mineral (Ton)</b>	<b>Potencia (m)</b>	<b>Ley (gr-Au/Ton)</b>
Probado	105 443	0.74	4.72
Probable	1 672 314	1.93	2.79
<b>Total</b>	<b>1 777 757</b>	<b>1.86</b>	<b>2.91</b>

**Fuente:** Plan de Minado 2020 – U.M. Antapite.



## 2.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

“Estructuralmente el área del Proyecto Antapite está controlado por dos sistemas regionales importantes, el primero de rumbo andino, que se manifiesta como un corredor estructural de rumbo N 50°-60°W, con evidencia de movimientos sinestrales y caída gravitacional al suroeste, destaca en este sistema la falla Chocllanca – Ocoyo relacionada directamente con la veta Zorro Rojo, Pampeñita y Antapite”.

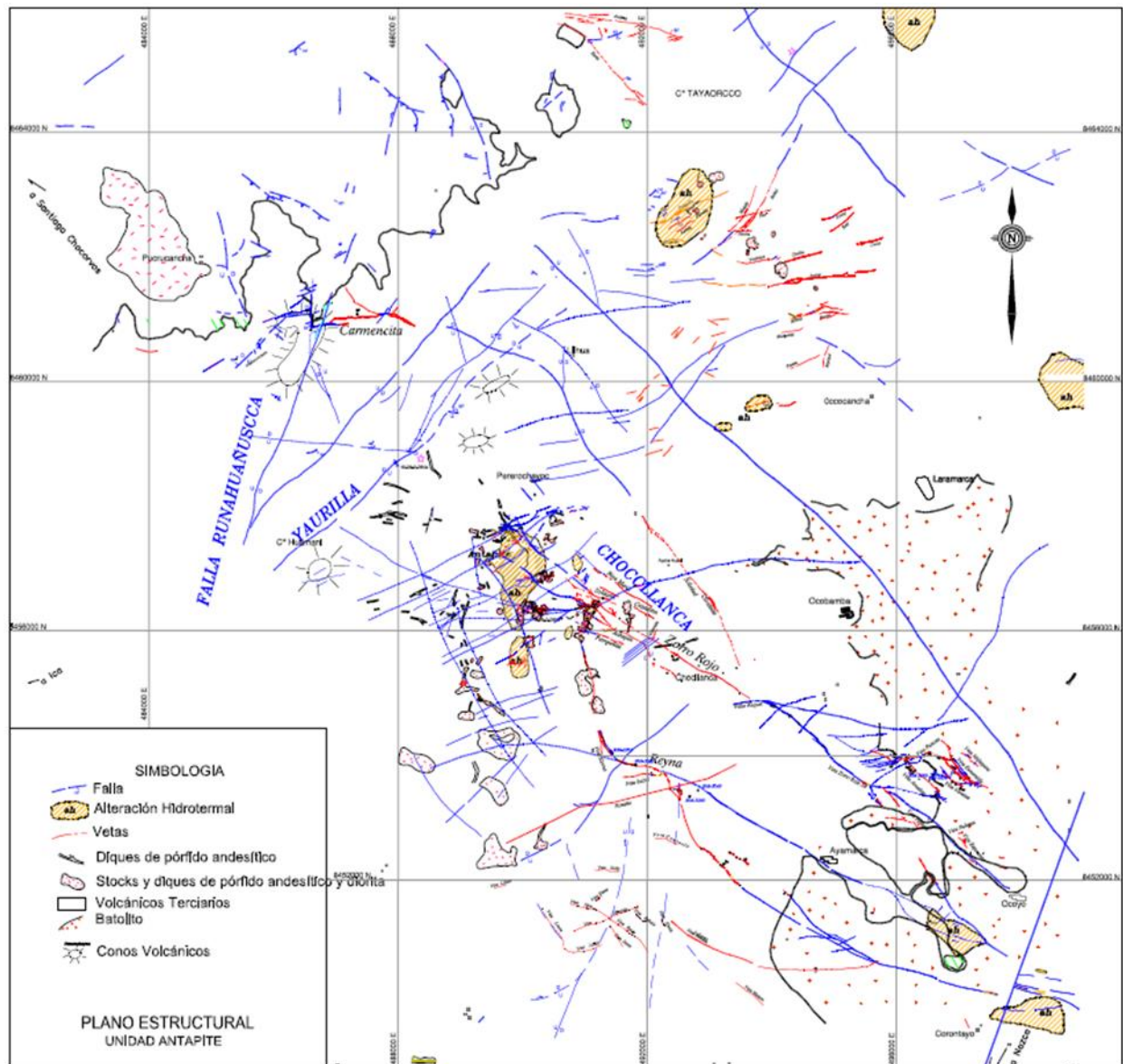
“El segundo sistema es de rumbo transandino representado por las fallas Runahuañuscca y Yaurilla en el área NW del distrito Estos dos sistemas delimitan el sector de mayor concentración de focos volcánicos y estarían controlando la mineralización en fracturas tensionales de las vetas Carmencita, Isabel y Verónica - Cecilia – Lucia, entre otras”.

La zona del Cerro Antapite sería el área de convergencia de los dos sistemas regionales principales, el WNW-ESE denominado Chocllanca – Ocoyo y el SW – NE (Runahuañuscca – Yaurilla).

Las estructuras menores, estas conformadas por diaclasas, en el macizo rocoso mineralizado, presentan discontinuidades con espaciamientos promedios menores a 6 cm, persistencias de 3 – 10 metros, aperturas promedias, de 0.1 – 1.0 mm, rellenos suaves menores a 5 mm, muy intemperizadas y con presencia de agua en condiciones de húmedo a mojado.

El comportamiento de las estructuras menores y mayores, se detallan a continuación en el plano de geología estructural de la U.M. Antapite, en la Figura 2-4, donde podemos apreciar las fallas, alteraciones hidrotermales, las vetas, los diques, el batolito y los conos volcánicos, esta información ayudara a tener un mejor proceso de operaciones mineras, generando una mejor toma de decisiones operativas.

Figura 2-4: Geología Estructural de la U.M. Antapite.



Fuente: Departamento de Geología – U.M. Antapite.

## CAPITULO III

### OPERACIONES MINERAS

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO OPERATIVO

##### 3.1.1 Criterios de Diseño de Mina

- a) **Impactos ambientales del entorno y consideraciones sociales:** La ubicación del área mineralizada y las actividades que allí se desarrollan y planifican son revisadas por el SAC Sierra Antapite para no alterar las condiciones ambientales del entorno. También se consideraron aspectos de transparencia comunitaria en cuanto a la integración de nuevas sucursales a la producción, accesibilidad y rutas de transporte más cortas.
- b) **Naturaleza de la Estructura Mineralizada:** se investigan, analizan y evalúan los orígenes de la mineralización, los patrones de ocurrencia y el control de la mineralización. Esta información ayudó a definir estrategias de exploración mediante la identificación de obras de acceso que facilitaron la identificación simultánea de estructuras mineralizadas en diferentes niveles para activar el sloop después del buzamiento.

c) **Aspectos Geomécánicos:** En la explotación para darle más estabilidad y seguridad a la excavación y sobre todo para obtener una mayor recuperación de reserva, se estudia la naturaleza competente del mineral y su caja para su mejor aprovechamiento. También se analiza la secuencia de explotación y las dimensiones apropiadas de las Unidades Básicas de Explotación (UBE).

d) **Dimensión y Geometría del Depósito Mineralizado:** Estos aspectos se estudiaron y sirvieron para:

Diseñar el plan de accesibilidad mediante la ubicación y desarrollo de labores de acceso, en caja piso hasta interceptar las estructuras mineralizadas, luego sobre estructura continuar con el desarrollo exploratorio en forma longitudinal a la secuencia estratigráfica y al rumbo de las estructuras mineralizadas.

Determinar la separación entre niveles adecuadamente, considerando el efecto del buzamiento en el rendimiento de los equipos de acarreo, también para un mejor control de los contactos y así minimizar los efectos de la dilución, en la etapa de explotación.

La correcta ubicación de las cámaras de acumulación con el objetivo de darle mayor fluidez a la extracción del mineral especialmente en las actividades de traspaso del mineral.

e) **Zoneamiento Mineral:** Se revisará y ordenará la información de los recursos por niveles, aspectos que permitirá ubicar el nivel de transporte o extracción del mineral.

La ubicación adecuada de esta labor permitirá aprovechar el manipuleo del mineral que se extraerá para que luego se traspasa hacia la cámara de carguío en interior mina y en superficie y hacia bolsillos del pique, para luego en la cancha de gruesos transportarlo mediante volquetes.

- f) Hidrogeología y Secuencia Estratigráfica:** La secuencia estratigráfica y la presencia de planos de debilidad, deben estudiarse con más detenimiento, para entender mejor el comportamiento de los niveles freáticos, la presencia de aguas subterráneas y las infiltraciones. Estos aspectos ayudaran al manejo de escorrentías y/o sistemas de drenaje.
- g) Reservas y Ley del Mineral:** El volumen de reservas del proyecto condicionará el orden de magnitud de la operación y el periodo de agotamiento. Es importante señalar; que no obstante a las actividades de exploración en curso.
- h) Recuperación de Reserva y Dilución:** Este aspecto está vinculado a la elección del método de explotación y su auto sostenimiento, en ese sentido podemos manifestar que la naturaleza geomecánica del mineral y roca encajonante resulta favorable para la aplicación de métodos de minado verticales.
- i) Blending y Comportamiento Metalúrgico:** Se podrá manejar la mezcla o “Blending” en interior mina.
- j) Avance y Orientación de la Excavación:** La estrategia de avance de la excavación, será estudiada de tal forma de aprovechar los desarrollos exploratorios como labores de preparación, inicialmente con desarrollos horizontales desde superficie, para luego sobre estructura y siguiendo el buzamiento, continuar sistemáticamente con los tajeos.
- k) Requerimiento de Producción:** El diseño será elaborado para una producción de 800 TMHD. Sin embargo, es necesario señalar que se tiene una buena información geológica disponible, por eso las labores programadas de avance una vez delimitado por las vetas se convierten en tajos de producción por el método de explotación, estos métodos prestan la garantía de ser operativamente de alta producción y seguro.

**l) Extracción de Mineral y Desmante:** Para este propósito se diseñarán las labores de extracción convenientemente ubicadas, haciendo que la descarga del mineral en chutes, en ventanas y cámaras de acumulación para luego cargarla en la cámara de carguío, o directo de scooptram a carro minero y de allí hacia los bolsillos de los piques y/o cancha de gruesos en superficie.

Para el manejo del desmante se considera en el esquema de avances en desmante, descajes y rellenos desde superficie, generando espacios vacíos para que el desmante rellene estos tajeos vacíos.

**m) Capacidad de los Equipos de Producción:** Por las dimensiones de las estructuras mineralizadas de potencia de vetas angostas, se identificará al equipo adecuado para cada operación unitaria del proceso productivo, dándole mayor atención al dimensionamiento del ancho de minado mínimo necesario para albergar cómodamente a los equipos, evitando la sobre rotura y dilución.

**n) Consideraciones Económicas:** Por la naturaleza marginal de las leyes o minerales de baja ley y las limitaciones de disponibilidad de recurso mineral medido indicados, conviene el desarrollo de una estrategia de minado selectivo, el mismo que brinde un mayor recuperación del mineral y que brinde unas operaciones seguras, tanto el método de explotación y todos los factores operacionales puedan ejecutar las operaciones y también con el desarrollo subterráneo debe confirmar las formas geométricas de las estructuras minables, tanto que las vetas puedan tener una mayor recuperación y priorizando en la etapa de explotación el control de la dilución, en un esquema de minado de costos CAPEX y OPEX bajos. Planteando las preparaciones sobre mineral y desarrollo sobre estéril.

### **3.1.2 Elección del Método de Explotación**

Como se mencionó líneas arriba los criterios de minado y con la información disponible a la fecha de la elaboración de estudio de elección de los métodos de explotación, se puede manifestar que las características del comportamiento geomecánico obedece a tener un método de menor costo.

## **3.2 MÉTODOS DE MINADO DE LA UNIDAD MINERA ANTAPITE**

### **3.2.1 Método de Explotación de Corte y Relleno Ascendente Convencional**

En la Unidad Minera de Antapite se presentó la validación de la variante del método de minado, en el cual se muestran las diferentes características de la explotación y donde se puede apreciar en el modelamiento con el software PHASE 2 la estabilidad del macizo rocoso; demostrándose que el método de explotación es factible aplicar.

De las evaluaciones, análisis y modelamientos del método de explotación de Corte y Relleno se obtuvieron las siguientes conclusiones.

- La realización de la explotación de las vetas angostas con el método de minado por corte y relleno ascendente convencional es factible su realización por presentar seguridad y mucha confiabilidad.
- Para validar el método de minado se realizó la clasificación geomecánica de Bieniawski (1989), de la masa rocosa asociada a las vetas angostas las cuales presentan las siguientes características de zonificación geomecánica: La masa rocosa mineralizada constituye una zona geomecánica del dominio Mala A (DG-IVA), las cajas inmediatas otra zona geomecánica de los dominios Regular A y Regular B (DG-IIIB y DG-IIIA) en la caja piso

y Mala B y Mala A (DG-IVB y DG-III A) en la caja techo, las cajas alejadas constituyen una zona geomecánica de los dominios Regular A y Buena (DG-III A y DG-II).

- La resistencia de la roca en el mineral y la caja techo inmediata es Baja, mientras tanto en la caja piso alejada e inmediata es Moderada, teniendo la caja piso alejada mayor resistencia que la caja piso inmediata estas no presentan de manera inmediata las rocas sueltas.
- Se ha observado en las vetas angostas que las condiciones de agua subterránea en las cajas alejadas (techo y piso) son de seco a húmedo; en la caja techo inmediata de húmedo a mojado; en la caja piso inmediata de seco a húmedo y en el mineral de seco a húmedo.
- Con respecto a la profundidad del minado, esta tendrá una profundidad máxima de 320 m aproximadamente, se estima que el esfuerzo vertical será de 8.32 MPa, considerando que la densidad de la roca es de aproximadamente 0.026 MN/m<sup>3</sup>.
- Utilizando toda la información geológica y geomecánica desarrollada previamente se han llevado a cabo los análisis de diseño sobre las condiciones de estabilidad de las excavaciones asociadas al minado de las vetas angostas. Los resultados de estos análisis, sustentan y dimensionan los diferentes componentes estructurales del método de minado propuesto para la recuperación del mineral de la citada veta: “Corte y Relleno Ascendente Convencional”.

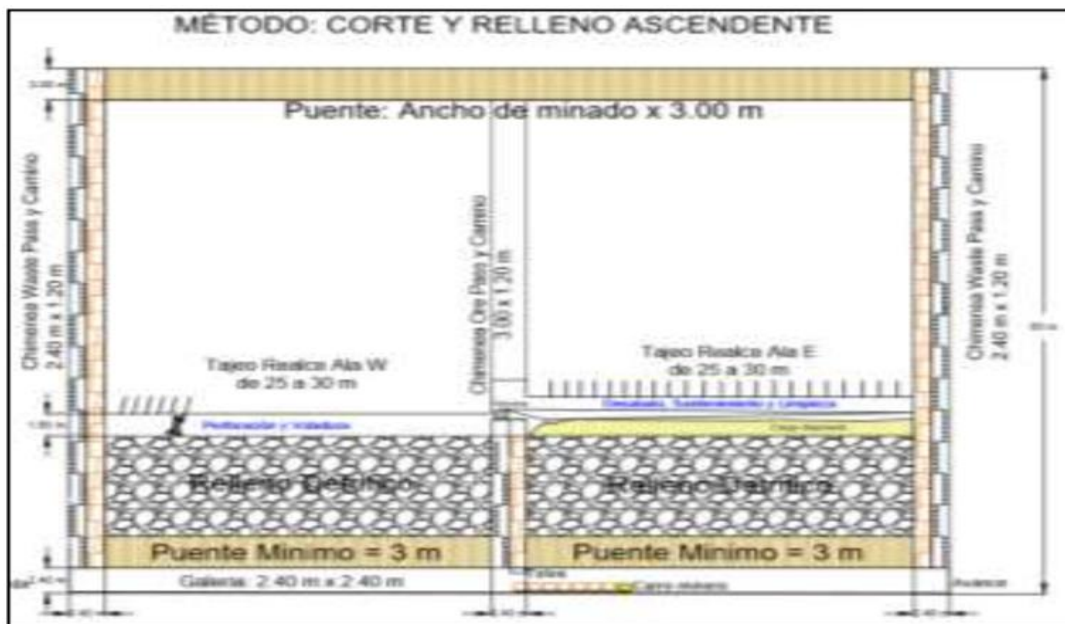
### **3.2.1.1 Ciclo de Minado en Corte y Relleno Ascendente Convencional**

El ciclo de minado inicia con el monitoreo de la ventilación, luego la perforación en retirada en unas de las alas del tajo, mientras que en la otra ala se hace el sostenimiento en avanzada y a su término se comienza limpiar la carga con winche. El ala mencionada inicialmente se dispara y sobre la carga rota se sostiene, en forma simultánea; la otra ala es rellenada. Posteriormente se



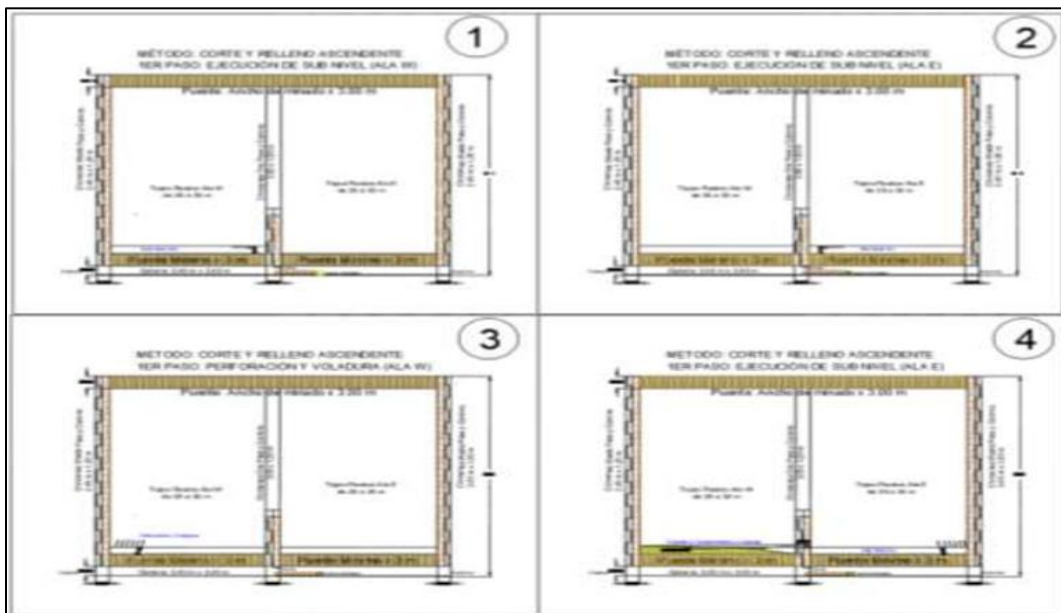
limpia el ala con carga, se comienza la perforación del buzón camino y en la otra ala con el piso rellenado se inicia la perforación en retirada.

**Figura 3-1:** Diseño de Método de Corte y Relleno Ascendente Convencional.



Fuente: Plan de Minado 2020 – U.M. Antapite.

**Figura 3-2:** Ciclo de Minado del Método de Corte y Relleno Ascendente Convencional.



Fuente: Plan de Minado 2020 – U.M. Antapite.

### 3.2.2 Método de Explotación de Sublevel Stopping con Taladros Largos

El departamento de geomecánica de la unidad minera Antapite, presento la validación de la variante del método de minado Evaluación geomecánica del minado subterráneo – Mina Antapite por el método de explotación sub level stopping con taladros largos.

Luego del análisis respecto al método de explotación de Sublevel Stopping con taladros largos, el departamento de geomecánica de la Unidad Antapite se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Se debe entender que el método de minado utilizado en el pasado en las vetas Zorro Rojo, Pampeñita y Antapite fue el “corte y relleno” con sostenimiento de madera y relleno convencional. En esta evaluación se estima la aplicación del método de minado mecanizado “Sub level stopping con taladros largos” con relleno y aprovechando los principios del flujo gravitacional asociado a los métodos de minado por hundimiento.
- De las estructuras mayores las más importantes son fallas que recorren el contacto mineral – caja inmediata, las estructuras menores están conformadas por diaclasas, estas se presentan a manera de pseudoestratos con orientación paralela a la estructura mineralizada, se presentan en la masa rocosa mineralizada como en las cajas. En general, las características estructurales que presenta el mineral le dan una apariencia de masa rocosa formada por bloques rocosos pequeños, pero relativamente duros y cohesionados, y las características estructurales que presentan las cajas, principalmente la caja techo, le dan una apariencia de una masa rocosa formada por típicos bloques tabulares de alta persistencia.
- Para validar el método de minado se realizó la clasificación geomecánica de Bieniawski (1989), de la masa rocosa asociada a las vetas Zorro Rojo, Pampeñita y Antapite las cuales presentan las siguientes características de zonificación geomecánica: La masa rocosa

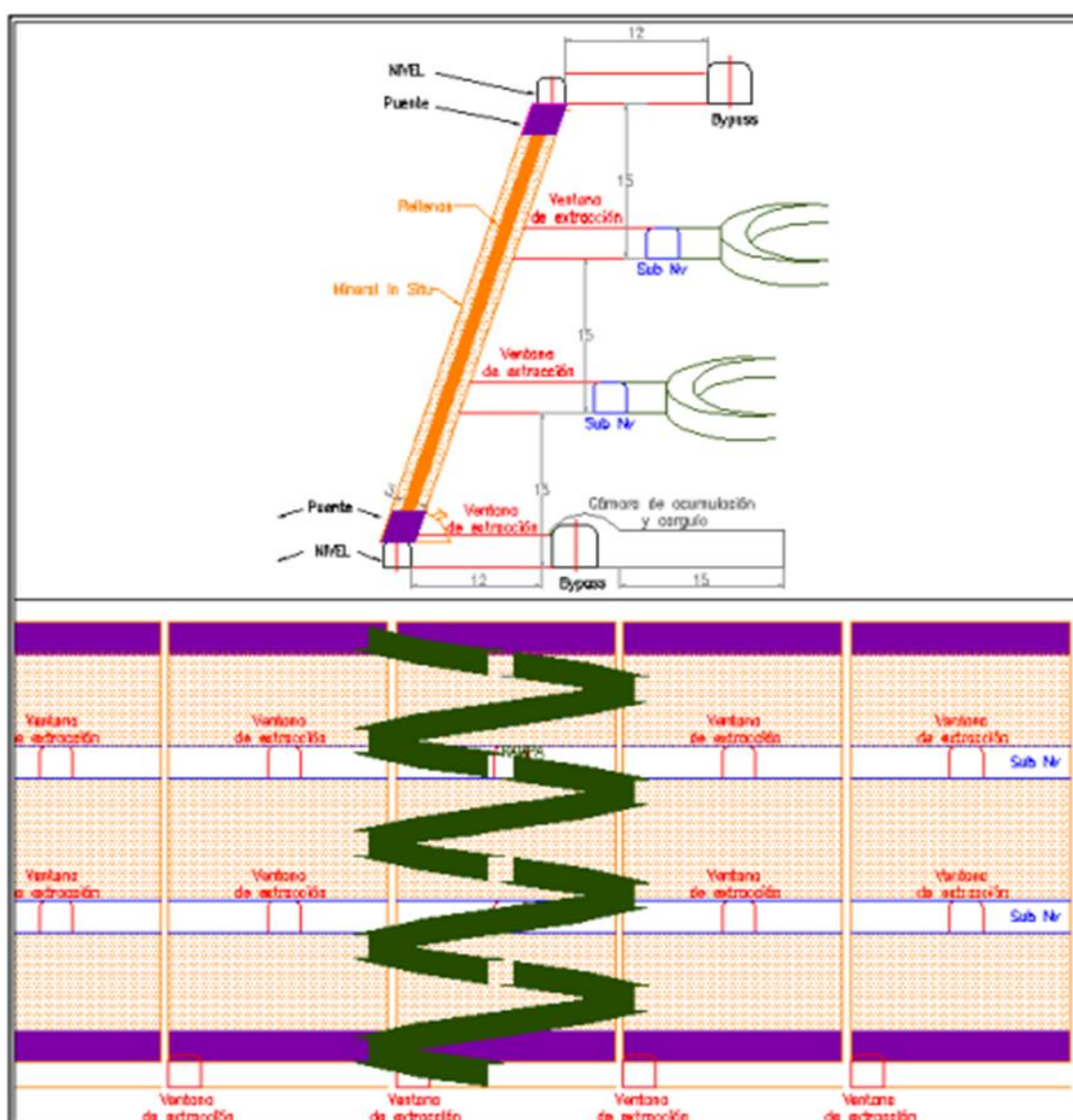
mineralizada constituye una zona geomecánica del dominio Mala A (DG-IVA). Las cajas inmediatas son otra zona geomecánica de los dominios Regular A y Regular B (DG-IIIB y DG-IIIA) en la caja piso y Mala B y Mala A (DG-IVB y DEIIIA) en la caja techo. Las cajas alejadas constituyen una zona geomecánica de los dominios Regular A y Buena (DG-IIIA y DG-II).

- La resistencia de la roca en el mineral y la caja techo inmediata es Baja y en la caja piso alejada e inmediata es Moderada, teniendo la caja piso alejada mayor resistencia que la caja piso inmediata.
- “Las condiciones de agua subterránea en las cajas alejadas (techo y piso) son de seco a húmedo; en la caja techo inmediata de húmedo a mojado; en la caja piso inmediata de seco a húmedo y en el mineral de seco a húmedo”.
- Dado que el minado procederá desde interior mina hacia superficie, se tiene una profundidad máxima de 200 m aproximadamente, se estima que el esfuerzo vertical será de 5.2 MPa, considerando que la densidad de la roca es de aproximadamente 0.026 NM/m<sup>3</sup>. Para esta etapa de minado se puede considerar el mismo valor para el esfuerzo horizontal.
- Utilizando toda la información geológica y geomecánica desarrollada previamente se han llevado a cabo los análisis de diseño sobre las condiciones de estabilidad de las excavaciones asociadas al minado de las vetas Zorro Rojo, Pampeñita y Antapite. Los resultados de estos análisis, presentado, sustentan y dimensionan los diferentes componentes estructurales del método de minado propuesto para la recuperación del mineral de la citada veta: “Sub level stoping con taladros largos”, con la propuesta de del método de explotación se espera una recuperación alta del mineral.

### 3.2.2.1 Ciclo de Minado en Sub Level Stopping con Taladros Largos

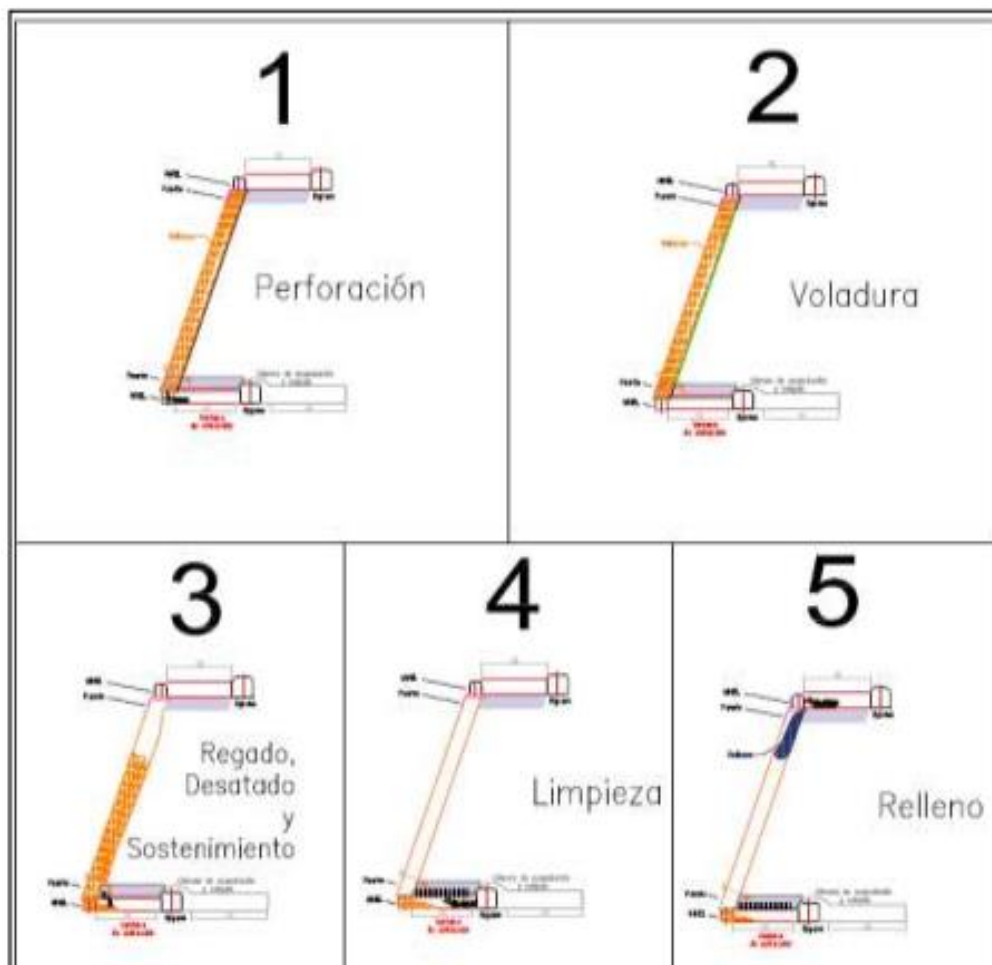
El ciclo inicia con la comunicación de la ventana hacia el tajeo in situ o tajeo relleno. Previo a la perforación tiene que estar sostenida la ventana o la misma galería. La perforación es radial positiva para recuperar el relleno detrítico. En caso de in situ, la perforación es paralela positiva. La limpieza se realiza con scooptram a control remoto en retirada.

**Figura 3-3:** Diseño de Método de Explotación de Sublevel Stopping.



**Fuente:** Plan de Minado 2020 – U.M Antapite.

**Figura 3-4:** Ciclo de Minado del Método de Explotación de Sublevel Stopping.



Fuente: Plan de Minado 2020 – U.M. Antapite.

### 3.3 DISEÑO DE MINADO SUBTERRANEO

#### 3.3.1 Labores de Preparación

Corresponden a las labores que permitirán la accesibilidad y preparación de cada uno de los tajeos para su explotación que son corridas dentro de la veta.

Para el minado CRAC será la labor del subnivel de arranque de sección 1.2x1.8 m. También las chimeneas que bloquean los tajeos de sección 2.4x1.2 m serán considerados preparación, la chimenea central (Ore Pass) de sección 3.0x1.2 m.

Para el minado por taladros largos, se accede a la galería inferior (nivel base) a través de la ejecución de un Bypass principal con sección 2.7x2.7m y distanciado con un pilar efectivo mínimo de 8m y mediante ventanas de acceso con sección 2.4x2.4m distanciado entre ellos con un pilar mínimo de 8m.

### **3.3.2 Labores de Desarrollo**

El diseño considera la excavación de cruceros, rampas o bypass de sección 2.7 m x 2.7 m para el ingreso de scooptrams de 2.5 yd 3 al nivel de producción, esto permitirá facilitar la accesibilidad a las vetas, permitiendo mecanizar el acarreo del mineral entre los tajos donde la limpieza se desarrolla con scooptrams hacia los corros mineros y estos serán transportados por las locomotoras.

### **3.3.3 Labores de Explotación**

Luego de delimitar los tajeos de explotación y una vez concluidas las labores de preparación. La explotación se realiza siguiendo el buzamiento de la veta ya sea de forma ascendente como el corte y relleno ascendente convencional y el minado por subniveles con taladros largos.

## **3.4 OPERACIONES UNITARIAS**

### **3.4.1 Ventilación**

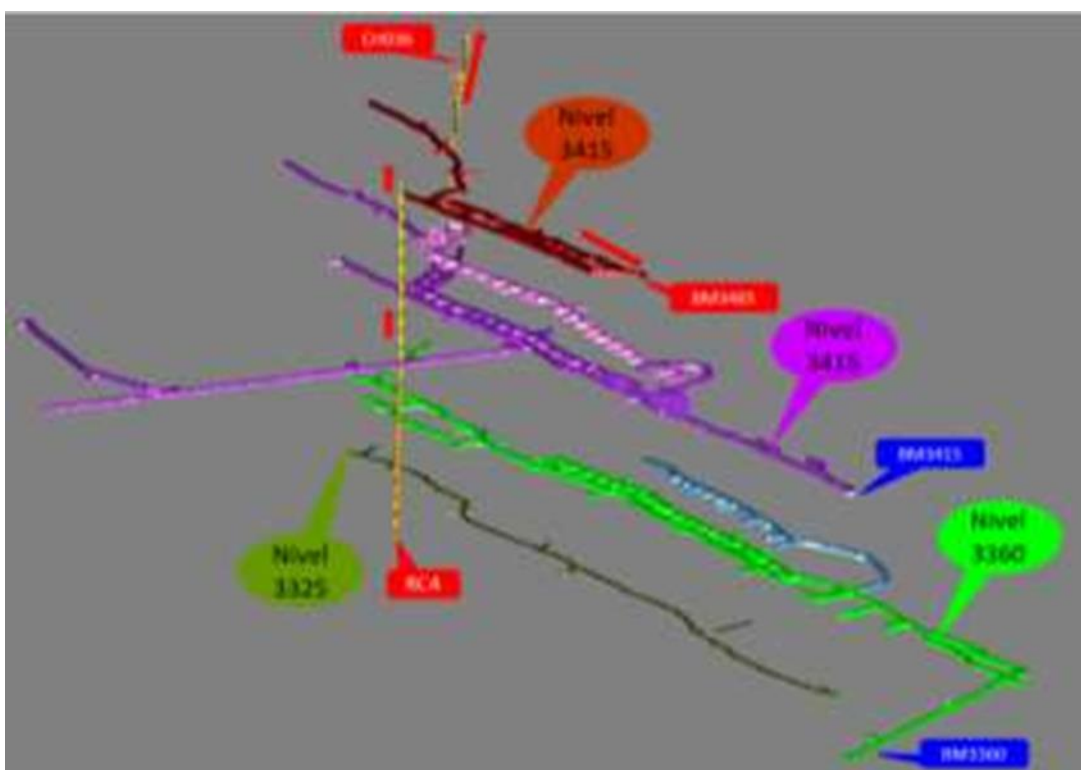
El sistema de ventilación estará conformado por circuitos de ingresos y salidas de aire, ventiladores, reguladores de caudal y controles de ventilación y el caudal del aire que ingresa a interior mina debe ser lo suficiente para que el personal pueda respirar bien y que los equipos funcionen correctamente. Para diseñar el sistema de ventilación de la mina, durante la etapa de desarrollo, preparación y explotación se deben verificar en plano los circuitos de ventilación, para poder tener un mejor control de la ventilación, garantizando que las operaciones sean seguras, y un ambiente fresco; así mismas limpias de aire viciado.

En la U.M. Antapite se cuentan con ventiladores de diferentes capacidades, estas son: 02 ventiladores de 15 000 CFM, 03 ventiladores de 10 000 CFM, 04 ventiladores de 30 000 CFM, 04 ventiladores de 20 000 CFM, y se definieron dos circuitos que se detallan a continuación.

### **Circuito 1: Nv3415 – Nv3360 – Nv3325 (Zona Alta)**

Se definen como principales ingresos de aire las bocaminas BM3415, BM3360 y BM3340, la extracción de aire está principalmente enfocada al RC04, CH036 Y BM3465

**Figura 3-5: Diagrama del Circuito de Ventilación de la Zona Alta.**



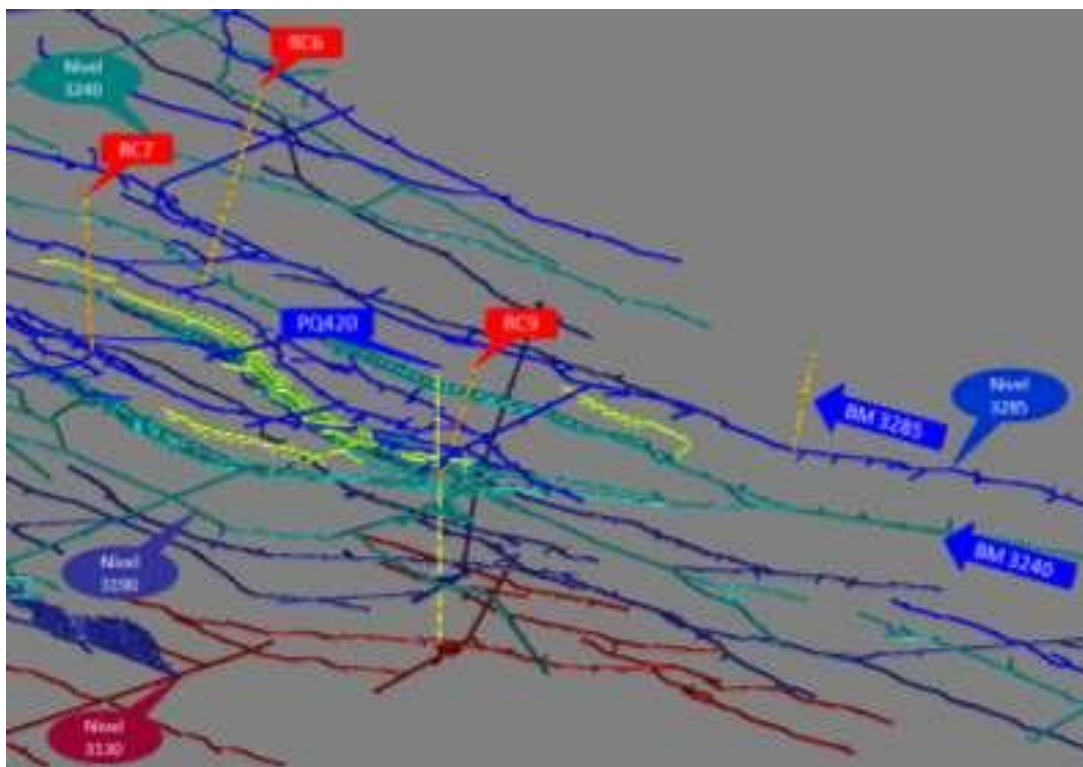
**Fuente:** Plan de Minado 2020 – U.M. Antapite.

### **Circuito 2: Nv3285 – Nv3240 – Nv3190 – Nv3130 (Zona Baja)**

Se definen como principales ingresos de aire limpio a las bocaminas BM3285, BM3240 y el Pique PQ420, la extracción de aire viciado (aire con gas de los equipos y de las voladuras) está principalmente enfocada al RC06, RC07, RC09 y chimenea CH764 por donde sale el aire viciado.



**Figura 3-6:** Diagrama del Circuito de Ventilación de la Zona Baja.



**Fuente:** Plan de Minado 2020 – U.M. Antapite.

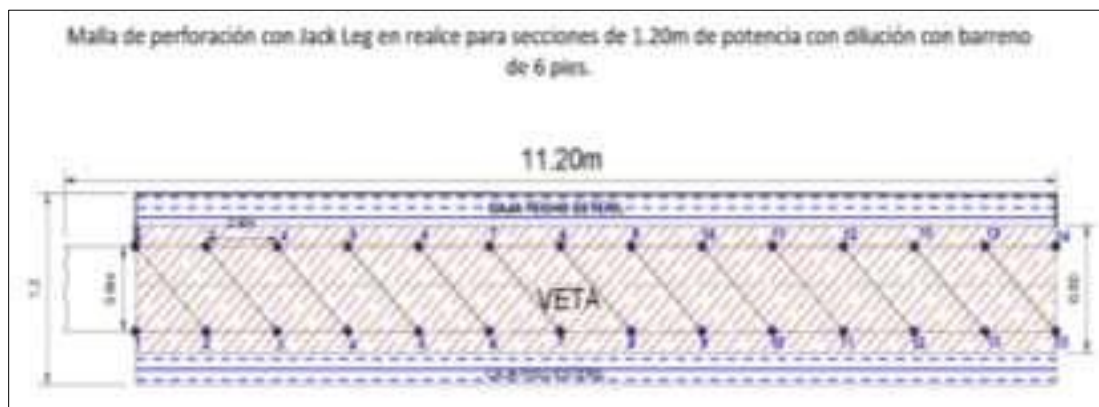
### 3.4.2 Perforación

Las perforaciones se realizan con máquinas chicas y equipos, estas se usarán de acuerdo a la sección de la labor que se está corriendo, entonces para el método de Corte y Relleno Ascendente, La perforación se realizará con equipos tipo Jackleg, que se usaran con energía neumática y la distribución de la malla de perforación se hará dependiendo de la potencia de la estructura mineralizada.

La perforación para el método de taladros largos se realizará con jumbo electrohidráulico quien realizará una perforación radial en la recuperación de rellenos y positivo con negativo en tajos nuevos de taladros largos longitudinales, esta perforación se realizará de acuerdo a la sección de la labor y la malla de perforación de acuerdo a la evaluación del tajo.

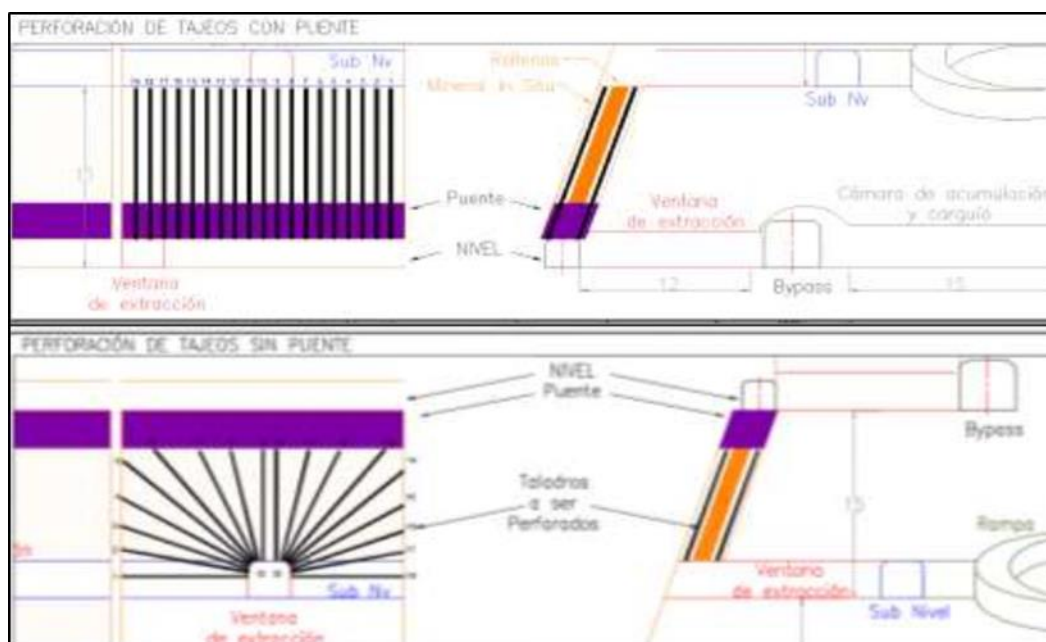


**Figura 3-7:** Malla de Perforación en el Método de Minado de Corte y Relleno Ascendente Convencional.



**Fuente:** Plan de Minado 2020 – U.M. Antapite.

**Figura 3-8:** Estándar de Perforación de Taladros Largos.



**Fuente:** Plan de Minado 2020 - U.M. Antapite.

La malla de perforación se realizará de acuerdo a la evaluación de la roca y del relleno en recuperación, esta lo realizará el área de perforación y voladura junto al área de geomecánica, para que la voladura no genere una sobre excavación que trae problemas de dilución.

### **3.4.3 Voladura**

Para la voladura o disparo, se usarán explosivos convencionales como emulnor, detonadores no eléctricos, unidos por cordón detonante. Así también se tiene autorización de uso de ANFO.

### **3.4.4 Sostenimiento**

El sostenimiento es con cuadros cojos, completos, puntales de avance, malla y Split set de 5 pies y en zonas puntuales 7 pies según recomendación geomecánica.

### **3.4.5 Carguío y Transporte**

Para el método de Corte y Relleno Ascendente, el carguío se hace de forma directa desde la tolva de mineral de cada tajo hacia los carros mineros, posteriores a ello esto es transportado a través de la locomotora hacia el bolsillo del Pique 420, donde finalmente será izado y transportados por volquetes a Planta.

finalmente será izado y transportados por volquetes a Planta. Para el método de Taladros Largos, el carguío se hará desde los frentes disparados hacia la cámara de carguío mediante scooptrams de 2.5 yd<sup>3</sup>, y posteriormente cargarlo con scooptram hacia carros mineros. Este mineral es transportado hacia el bolsillo del Pique 420, para finalmente ser izado y transportado por volquetes a planta.

### **3.4.6 Servicios Auxiliares**

#### **a) Sistema de Aire Comprimido**

El Sistema de aire comprimido comprende el funcionamiento de 3 compresoras ubicados en la casa compresora del NV3415, cuyas características son:

- Compresora G250 (Atlas copco).

- Compresora XLE – N°01 (Ingersoll Rand)
- Compresora XLE – N°04 (Ingersoll Rand)

El aire es trasladado a través de tuberías de 4 pulgadas.

**b) Sistema de Bombeo y Drenaje de Agua**

El drenaje será por gravedad, en los niveles de extracción se ubicarán las respectivas cunetas que servirán para derivar las aguas a las respectivas pozas de sedimentación y tratamiento en superficie. El agua será trasladada por tuberías de 2 pulgadas.

## CAPITULO IV

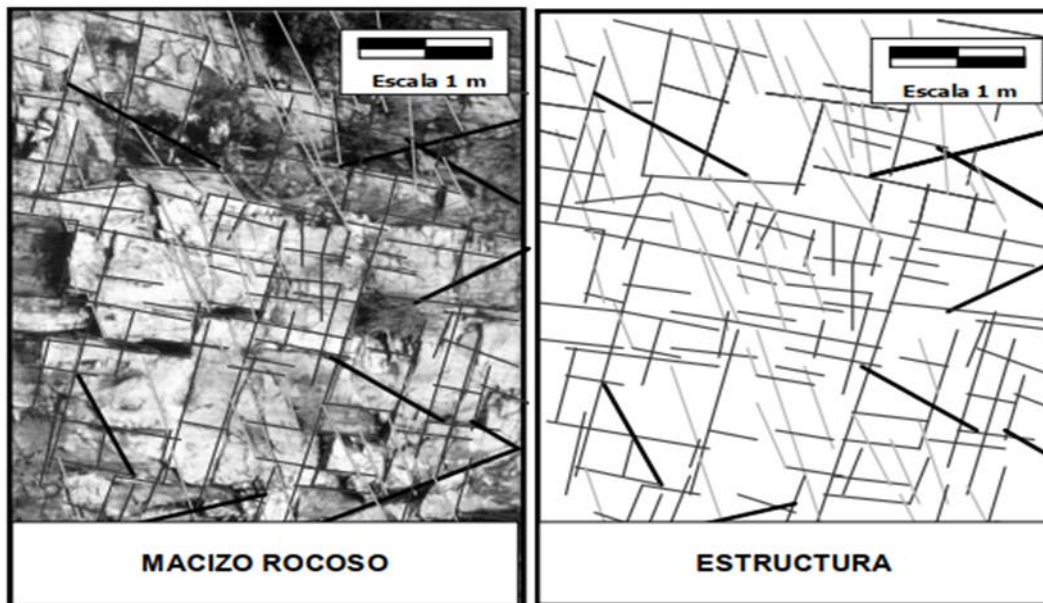
### MARCO TEÓRICO

#### 4.1 MACIZO ROCOSO

“Se define macizo rocoso como la forma en la que se presentan las rocas en el medio natural. Así pues, un macizo rocoso estará definido por la roca y la estructura, que a su vez contendrá planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros caracteres estructurales. Los macizos rocosos son por tanto discontinuos y pueden presentar propiedades heterogéneas y/o anisótropas”. *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*” (Ramirez, 2004, p. 01).

Así como Ramirez define el macizo rocoso, hay muchas definiciones de diferentes autores, sin embargo, los conceptos siempre agrupan las rocas intactas y las estructuras; que pueden tener el macizo rocoso, hay estructuras mayores y estructuras menores, estas estructuras afectan la estabilidad del macizo rocoso, las discontinuidades aparecen producto de la meteorización que sufren las rocas por el paso del tiempo; en la evaluación de los macizos rocosos, las estructuras juegan un rol importante para poder determinar si el macizo rocoso es buena o mala, las técnicas de evaluación se detallaran líneas más abajo.

**Figura 4-1:** Diagrama del Macizo Rocoso y de las Estructuras.



**Fuente:** Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de taludes – Pedro Ramirez-2004.

## 4.2 DESCRIPCIÓN CUANTITATIVA DEL MACIZO ROCOSO

### 4.2.1 Propiedades de Roca Intacta

El macizo rocoso está compuesto por roca intacta y estructuras geológicas. La respuesta de la roca intacta bajo condiciones de esfuerzos especialmente si se trata de roca masiva y rígida de alta resistencia sujeta a altos esfuerzos, puede conducir a condiciones de estallido de roca; mientras que una roca suave y altamente deformable puede conducir a un comportamiento elastoplástico de altas deformaciones que con el tiempo pueden cerrar la excavación o abertura. Las propiedades mecánicas de la roca intacta son: resistencia a la compresión simple, resistencia a la tracción, resistencia al corte, resistencia a prueba triaxial; la determinación de propiedades elásticas como: el módulo de elasticidad, relación de Poisson; y los ensayos para las propiedades físicas de la roca como son densidad, peso unitario, humedad, porosidad, absorción etc., están en su totalidad

estandarizadas por las normas emitidas por la American Society for Testing and Materials (ASTM) o por aquellas propuestas por la ISRM. La preparación de las muestras para los ensayos de las propiedades mecánicas de rocas, sus dimensiones y el número de ensayos son puntos importantes que deben tomarse en cuenta al momento de recoger en el campo los bloques de roca que posteriormente serán remitidos al laboratorio. Cada tipo de ensayo tiene sus normas en cuanto a dimensiones, orientación de ensayo, etc., las cuales deben observarse cuidadosamente si deseamos obtener resultados que sean representativos y válidos para ser empleados en el diseño. A continuación, se listan y resumen brevemente los distintos tipos de ensayos que permiten determinar las propiedades de la roca intacta.

- a) **Ensayo de Propiedades Físicas:** “El principal objetivo de este ensayo es determinar las propiedades físicas de la roca, tales como la densidad ya sea seca o saturada, porosidad aparente y absorción. Para esto, se emplearán los procedimientos establecidos por ASTM e ISRM”.
- b) **Ensayo de Compresión Simple (UCS):** “El ensayo de compresión simple tiene como objetivo determinar la resistencia máxima a la compresión de una muestra cilíndrica de testigo, la cual es sometida a una carga axial sin ninguna carga de confinamiento, que debe ser aplicada de manera continua e incrementada gradualmente hasta que la muestra falle. El esfuerzo normal vertical sobre la muestra, cuando la falla ocurre, es conocido como la resistencia a la compresión simple”.
- c) **Ensayo de Carga Puntual:** El ensayo de carga puntual tiene como objetivo estimar la resistencia a la compresión simple de manera indirecta, mediante la obtención del índice IS (50) en muestras de rocas regulares e irregulares, el análisis se hará en laboratorios;

donde se someterá a las muestras a cargas axiales para determinar su resistencia. Es un ensayo muy sencillo de ejecución rápida.

**d) Ensayo con Esclerómetro o martillo Schmidt:** El ensayo con esclerómetro tiene como objetivo estimar, de manera aproximada, la resistencia a la compresión simple mediante una correlación entre el número de rebotes, dirección de aplicación de carga y la densidad de la muestra. Se puede aplicar tanto a la roca intacta como a las discontinuidades; es un ensayo fácil de realizar, rápido y de uso extendido. A continuación, se detalla el proceso de estimación de la resistencia a la compresión simple a partir de este ensayo:

**e) Ensayo de Corte Directo:** El ensayo de corte directo tiene como objetivo determinar la resistencia al corte de una discontinuidad expresada con el valor del ángulo de fricción residual ( $\phi_r$ ) en muestras de roca previamente fracturadas.

Este ensayo se puede aplicar en muestras de roca dura o blanda, y en muestras que contengan planos de falla o discontinuidades naturales o artificiales. La determinación del esfuerzo cortante de una muestra de roca es importante en el diseño de estructuras tales como: taludes de roca, cimentaciones, túneles, labores subterráneas y otros. El equipo que se emplea en este ensayo es portátil, aplicándose una fuerza normal y una fuerza cortante sobre la muestra. En general, el ensayo es sencillo, barato y brinda un valor que sirve como referencia de la característica de resistencia al corte de una determinada muestra de roca.

**f) Ensayo de Determinación de Propiedades Elásticas:** Este ensayo tiene como objetivo en que las curvas de esfuerzos o deformación, puedan definirse. El módulo de Young (E) o elasticidad y la relación de Poisson ( $\nu$ ) están a través de un ensayo de aplastamiento simple, lo cual está abarcado en un tipo de roca de geométrica cilíndrica, donde, estos parámetros se obtendrán en los laboratorios; donde se someterán a las muestras a cargas

axiales y se miden deformaciones axiales y diametrales con el empleo de extensómetros (LVDT) o strain gauges, que permiten determinar su comportamiento elástico.

- g) Ensayo de Durabilidad a la Sequedad y Humedad:** “Este ensayo tiene como principal objetivo determinar la durabilidad de una muestra, previamente fragmentada, en un determinado periodo de tiempo, para lo cual es sometida a ciclos estándares de sequedad, humedad y desmoronamiento”.

El ensayo permite determinar el índice de durabilidad  $I_d$ , la clasificación estándar se realiza en base a dos ciclos, denominándose este índice como  $I_{d2}$ .

- h) Ensayo de Permeabilidad:** “Estos ensayos de campo o laboratorio tienen como objetivo determinar la permeabilidad en el macizo rocoso con fines geomecánicos, se pueden realizar en el interior de taladros y en excavaciones”.

**Tabla 3-1:** Clasificación de Macizos Rocosos en Función de la Permeabilidad.

Tipo de macizo	Tipo de macizo	Presión (MPa)
Muy impermeable	0-1	1
Prácticamente impermeable	0-3	1
Permeable	>3	1
	1.5-6	0.5
Muy permeable	>3	1
	>6	0.5

**Fuente:** Guía de criterios geomecánicos – Osinergmin 2017.

### 4.3 MAPEO GEOMECANICO SUBTERRANEO

En la minería subterránea se realizan diferentes técnicas de mapeo geomecánico, este mapeo incluye al mapeo por celdas, mapeo por línea de detalle y/o mapeo de arco rebatido, estas son las principales técnicas de mapeo que se usan dentro de la geología estructural para los diferentes



proyectos de túneles y excavaciones subterráneas, cada técnica de mapeo estas deben ser usadas de manera distinta ya que son independientes y tiene sus propias particularidades, las cuales se detallaran a continuación.

#### **4.3.1 Mapeo Geomecánico por Celdas**

El mapeo geomecánico por celdas se desarrolla a través de la ejecución de estaciones geomecánicas, las cuales deben abarcar un área aproximada de 3.00 m x 3.00 m. donde se toman en cuenta los afloramientos de las estructuras en la superficie. Se cuantifican e identifican, aquellas características de macizo rocoso ante el mapeo geomecánico por celdas a base de principios discontinuidades familiares que afloran en la superficie. En cada familia suele determinar el tipo de orientación, resistencia de la pared de discontinuidad, persistencia, rugosidad, apertura, presente y grado de alteraciones, estos datos son tomados en campo del macizo rocoso

Todos estos están destinados a definir los parámetros mediante los cuales se pueden clasificar los macizos rocosos de acuerdo con los sistemas RMR (Rock Mass Rating) y GSI (Geological Resistance Index). De manera similar, las rocas se pueden clasificar con el sistema Q definiendo parámetros como RQD, J<sub>n</sub>, J<sub>r</sub>, J<sub>a</sub>, J<sub>w</sub> y SRF.

Es importante identificar cuándo es apropiado realizar un mapeo geomecánico con celdas en lugar de otra técnica de mapeo. Esto dependerá del tipo de evaluación que se realice y su alcance. Si se requiere una caracterización completa del nivel de la mina en preparación para la zonificación geomecánica, se debe cubrir un área más amplia. Esta zonificación se puede desarrollar mediante la realización de estaciones geomecánicas distribuidas a lo largo del nivel de la mina cubriendo diferentes tipos de rocas. Todas las principales estructuras geológicas también deben registrarse para obtener una mejor evaluación del lecho rocoso.

### 4.3.2 Mapeo Geomecánico por Línea de Detalle

El mapeo geomecánico por línea de detalle registra las discontinuidades expuestas en las paredes de rocas de afloramientos superficiales o labores subterráneas donde se requiere evaluar el macizo rocoso.

“El mapeo consiste en establecer una línea, para lo cual se emplea una cinta de medición sobre la que se identifican todas las estructuras o discontinuidades que intersectan o cortan dicha línea, se toma la orientación de la cara de medición, luego la orientación de la línea o cinta y se procede a registrar cada discontinuidad empezando por la distancia de intersección al origen, continuando con el registro de la orientación (buzamiento y dirección de buzamiento), tipo de terminación, tipo de discontinuidad, persistencia (longitud de semi traza), apertura, relleno, rugosidad, resistencia a la compresión de las paredes de la discontinuidad, meteorización y presencia de agua o factores influyentes”. . *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*” (Ramirez, 2004, p. 27).

La información sintetizada debe registrarse en formularios estándar en un formato que permita almacenar la información de manera clara y sencilla. También es importante definir criterios para determinar cuándo se deben desarrollar dibujos lineales detallados y otros métodos, que dependen esencialmente del tipo y nivel de detalle de la evaluación a realizar.

### 4.3.3 Mapeo Geomecánico por Arco Rebatido

El método de mapeo de arco curvo implica crear un mapa de la superficie de la excavación subterránea, tomando algunos parámetros en campo para luego poder realizar una simulación,

incluidas las bóvedas y los hastiales. Este método de mapeo reproduce una imagen con algunas de las distorsiones e interpretaciones presentes en otros métodos que proyectan características geológicas en un plano o sección, lo que permite un mejor análisis de las evaluaciones geomecánicas, esto genera una mayor confiabilidad en temas de selección de los métodos de mapeo geomecánicos, el método de mapeo por arco rebatido, es más confiable, pero esto significa un elevado costo.

El método del arco curvo fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers, 2001) en 1970 para 'desenrollar' o 'aplanar' alrededor de un túnel o eje para crear una superficie 'plana'. Las características geológicas y geomecánicas se dibujan a escala en la superficie de la pared. Este método es particularmente efectivo ya que permite que las características geológicas de todo tipo de rocas se muestren directamente en el mapa sin proyección, independientemente de su orientación o ubicación. Además, este método, como los demás, es útil para dibujar discontinuidades y errores que son difíciles de proyectar en un plano.

#### **4.4 ÍNDICE DE CALIDAD DE ROCA RQD**

Existe la necesidad de cuantificar la competencia del macizo rocoso como una base común para la comunicación de este tipo de información y el desarrollo de guías de diseño de ingeniería de rocas. El índice de calidad de roca, conocido como RQD (Deere, 1964), es uno de los sistemas más empleados para caracterizar la competencia del macizo rocoso.

El RQD asigna un porcentaje de calificación al macizo rocoso, de 100% (el más competente) a 0% (el menos competente: condición de suelo). La interpretación del valor del RQD se muestra la clasificación de la calidad de la roca y también el valor del RQD que va en rangos de 0 a 100 se muestra en la siguiente tabla 4-2:

**Tabla 4-2: Interpretación de Valores de RQD.**

<b>Descripción del índice de calidad de roca</b>	<b>Valor del RQD</b>
Muy pobre	0 - 25
Pobre	25 -50
Regular	50 -75
Buena	75 -90
Excelente	90 -100

**Fuente:** Guía de criterios geomecánicos – Osinergmin 2017.

El sistema se basa en la frecuencia de medición del número de grietas naturales en el macizo rocoso en la dirección de medición. Si la tasa de fractura aumenta, la puntuación RQD disminuye.

El valor de RQD se expresa como un porcentaje de la suma de todas las partes que exceden los 10 cm de longitud dividida por la longitud total del pozo. El RQD generalmente se mide en cada pozo. Pero a veces se registra para diferentes longitudes de pozo, por ejemplo, cada 10 m. Es importante medirlo en la misma zona geotécnica definida por el tipo de litología.

RQD debe suponer una valoración precedente expeditiva de la relación de masa rocosa, para complementarse más tarde con métodos de clasificación de masa rocosa más sofisticados, según sea necesario.

#### **4.4.1 Frecuencia Lineal de Discontinuidades**

Como alternativa al RQD, la reiteración lineal de discontinuidad también es un indicador para evaluar la resistencia de las diaclasas en el macizo rocoso. Se calcula simplemente sumando el número de roturas naturales (núcleos de diamante o líneas de detalle en superficies rocosas) por metro. La frecuencia lineal de discontinuidades, se tomará en campo para poder luego expresar de manera cuantitativa, mediante una ecuación matemática, determinar el RQD, para luego ver en una tabla la calidad de la roca.

Villaescusa (1992) propuso la siguiente tabla donde se miden los dos parámetros para determinar la calidad de la roca entonces; Villaescusa adjunta las circunstancias de montaña esperadas con RQD y rompa la frecuencia lineal:

**Tabla 4-3:** Relación entre RQD y Frecuencia Lineal.

Calidad de roca	Frecuencia lineal	RQD
Muy pobre	>17	0 – 20
Pobre	12 – 17	20 – 40
Regular	7 – 12	40 – 60
Buena	4 – 7	60 – 80
Muy buena	1.5 – 4	80 – 95
Excelente	< 1.5	95 – 100

**Fuente:** Guía de criterios geomecánicos – Osinergmin 2017.

La estimación RQD a menudo se requiere en áreas donde se realiza el mapeo de líneas parciales o el mapeo de celdas. No es necesario utilizar núcleo en estas zonas porque el dibujo puede dar una mejor idea del macizo rocoso.

Para datos detallados de mapeo de líneas, se puede obtener el paso promedio (número de cortes dividido por la longitud de la sección transversal). Bieniawski (1989) relacionó la distancia media de quiebre con el RQD. Es importante señalar que el RQD máximo sigue la relación propuesta por Priest y Hudson. RQD se puede estimar a partir de la distancia media entre roturas según Priest y Hudson (1976):

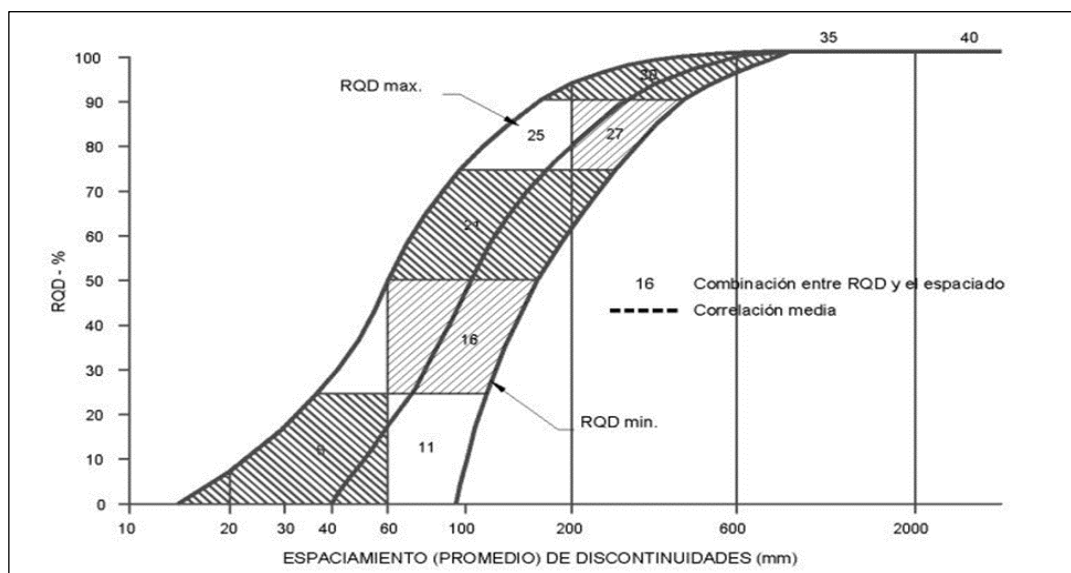
$$RQD = 100 * e^{-0.1\lambda} * (0.1\lambda + 1)$$

Donde:

$$\lambda = 1/(\text{frecuencia de discontinuidades})$$

El gráfico de la figura 4-2, muestra la relación de espacios de discontinuidades y RQD, donde también depende de la dirección del eje de la medición. Para un espaciamiento de discontinuidades promedio dado existe un rango significativo de valores de RQD posibles.

**Figura 4-2:** Relación Entre Espaciamiento de Discontinuidad y RQD.



**Fuente:** Guía de criterios geomecánicos – Osinergmin 2017.

Para el mapeo por celdas, a menudo, está disponible una imagen más tridimensional del espaciamiento de las discontinuidades. Palmström (1982) define a  $J_v$  como número de juntas presentes en un metro cúbico de roca:

$$J_v = \sum \frac{1}{S_i}$$

Donde:

- S: Espaciamiento de juntas en metros para el conjunto de juntas real.

El RQD está relacionado al  $J_v$ , donde se puede determinar el valor del RQD mediante la siguiente ecuación en función de  $J_v$ :

$$RQD = 115 - 3.3 * J_v$$

Y el RQD = 100% cuando  $J_v \leq 4.5$  y RQD=0% cuando  $J_v > 35$

Este término se incluyó en el sistema Q (1974) y Palmström (2005) luego actualizó la relación para que sea:

$$RQD = 110 - 2.5 * J_v$$

Y el RQD = 100% cuando  $J_v \leq 4$  y RQD = 0% cuando  $J_v > 44$

Este método promedia parte de la anisotropía en términos de RQD y proporciona valores más representativos.

#### **4.5 CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO**

Los sistemas de clasificación de rocas están reemplazando los enfoques a gran escala para estimar las propiedades de las rocas. En la industria minera, los índices GSI y los sistemas RMR y Q son parámetros de entrada para muchos métodos de diseño y para muchos programas de modelado numérico. A partir de datos cualitativos es posible obtener datos cuantitativos a través de tablas, que se pueden modelar en un software de modelado. Un sistema de clasificación geomecánica es un intento de expresar las propiedades de resistencia de las rocas con un solo valor. Las masas rocosas suelen ser materiales altamente anisotrópicos y pueden describirse mediante múltiples sistemas de clasificación.

Estos sistemas de clasificación serán útiles para determinar la calidad del macizo rocoso así mismo, también se podrán determinar la extensión de los dominios geomecánicos en una mina subterránea o superficial. El ingeniero debe estimar el valor de clasificación más realístico para los requerimientos de diseño; también, debe tener en cuenta que existen diversas aplicaciones para

cada sistema de clasificación geomecánica. A continuación, se describen los sistemas de clasificación más usados en el Perú.

#### 4.5.1 Sistema RMR

El sistema Rock Quality Rating (RMR) desarrollado por Bieniawski clasifica la calidad de la roca en una escala de 0 a 100, donde 0 es roca muy pobre y 100 es roca muy buena.

Las versiones más utilizadas son RMR76 y RMR89. Ambos contienen estimación de parámetros tales como:

- Resistencia de la Roca Intacta.
- RQD.
- Espaciamiento de discontinuidades.
- Condición de discontinuidades.
- Agua subterránea.

**Tabla 4-4:** Interpretación de los Valores de RMR.

Descripción	RMR	Clase de Macizo Rocoso
Roca Muy Buena	81-100	I
Roca Buena	61-80	II
Roca Regular	41-60	III
Roca Mala	21-40	IV
Roca Muy Mala	0-20	V

**Fuente:** Guía de criterios geomecánicos – Osinergmin 2017.

El puntaje total del RMR está definido por:

$$\text{RMR} = (i) + (ii) + (iii) + (iv) + (v) - \text{Ajuste por orientación de discontinuidades}$$



Esta igualdad del RMR, obedece a tener valores de datos cualitativos y tener datos cuantitativos a partir de unas tablas, que hay para cada condición.

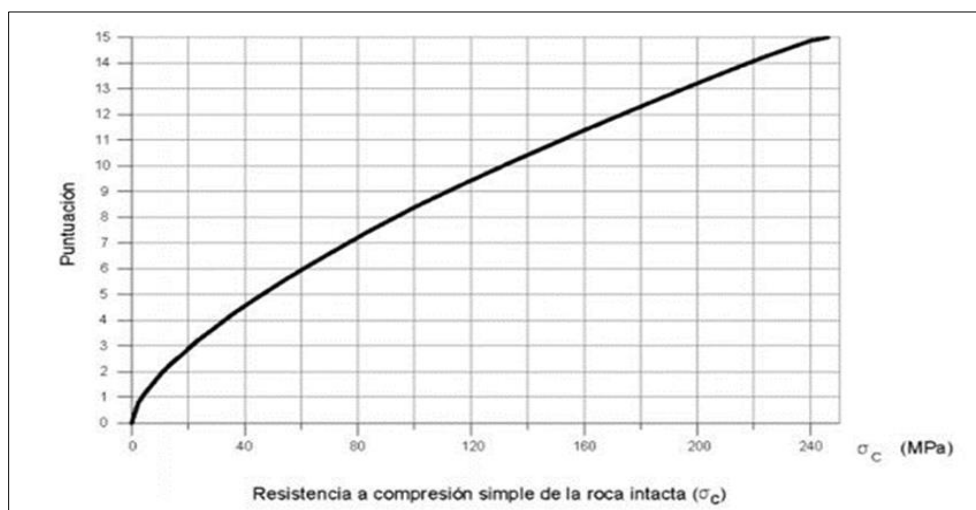
El resultado de cada parámetro para ambas versiones: RMR76 y RMR89 se muestra en la tabla de donde se obtuvieron los valores.

#### 4.5.1.1 Análisis del Sistema RMR14 (Bieniawski 1973)

"El sistema Rock Mass Grading (RMR) es el estándar mundial para la clasificación geomecánica de macizos rocosos. Originalmente desarrollado por Bieniawski en 1973, se actualizó en 1989 y nuevamente en 2014 con criterios de clasificación revisados y combinación agua-roca. La variabilidad de la matriz proporciona más método preciso de identificación del macizo rocoso. La estructura de RMR14 se basa en la suma de cinco parámetros":

##### 1) Resistencia a compresión uniaxial de la roca intacta.

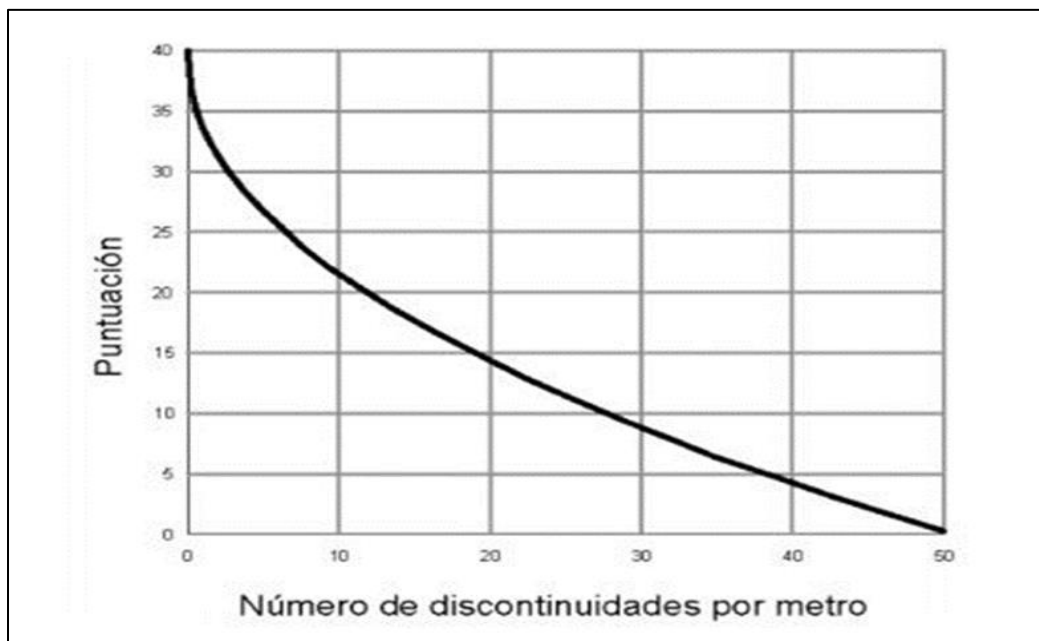
**Figura 4-3:** Gráfico Para la Puntuación de la Resistencia a la Compresión Simple de la Roca Intacta ( $\sigma_c$ ).



**Fuente:** Guía de criterios geomecánicos – Osinergmin 2017.

## 2) Número de juntas por metro.

**Figura 4-4:** Gráfico Para la Puntuación del Número de Discontinuidades por Metro.



**Fuente:** Guía de criterios geomecánicos – Osinergmin 2017.

## 3) Efecto del agua.

**Tabla 4-5:** Valoración de la Presencia de Agua en el Frente.

Estado del macizo	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Flujo de agua
Valoración	15	10	7	4	0

## 4) Resistencia de las discontinuidades.

Las discontinuidades son estructuras que alteran la estabilidad de los macizos rocosos, estas deben tener una valoración de acuerdo a las características de las resistencias de las discontinuidades como se muestra en la Tabla 4-6:

**Tabla 4-6:** Criterios Para la Valoración de la Resistencia de Discontinuidades.

	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	> 10 m
<b>Continuidad</b>	5	4	2	0
	Muy rugosa	Rugosa	Suave	Superficies de deslizamiento
<b>Rugosidad</b>	5	3	1	0
	Duro	Blando		
	< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm
<b>Relleno</b>	5	2	2	0
	Sin alteración	Poco alterado	Muy alterado	Descompuesto
<b>Alteración</b>	5	3	1	0

#### 5) Alterabilidad de la matriz rocosa por efecto del agua.

**Tabla 4-7:** Criterios para la Valoración de la Alterabilidad por Efecto del Agua.

<b>Alterabilidad Id2 (%)</b>			
< 85	60 – 85	30 – 60	< 30
10	8	4	0

El sistema  $RMR_{14}$  ha realizado cambios a los criterios del RMR, estos cambios se obtienen los datos cuantitativos obtenidos de los diferentes estudios y estos mediante ecuaciones básicas se va calculando el  $RMR_{14}$  al cual se va añadiendo dos nuevos factores de corrección, estos se multiplicaran a la suma del  $RMR_b$  y el  $F_0$ , la corrección de da en cálculos matemáticos y de tal manera el  $RMR_{14}$  se corrige de la siguiente manera mediante la siguiente expresión matemática que se muestra a continuación:

$$RMR_{14} = (RMR_b + F_0) * F_e * F_s$$

#### 4.5.1.2 Correcciones del Sistema RMR14 (Bieniawski 1973)

##### a) Corrección por orientación del eje del túnel (F0)

*Tabla 4-8: Ajuste por Orientación del Túnel Respecto a las Discontinuidades Principales.*

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Buzamiento 0 – 20 independiente del rumbo
Avance con el buzamiento		Avance en contra del buzamiento		Buz. 45 – 90	Buz. 20 – 45	
Buz. 45 – 90	Buz. 20 – 45	Buz. 45 – 90	Buz. 20 – 45			
Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	desfavorable Muy	Regular	Regular
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

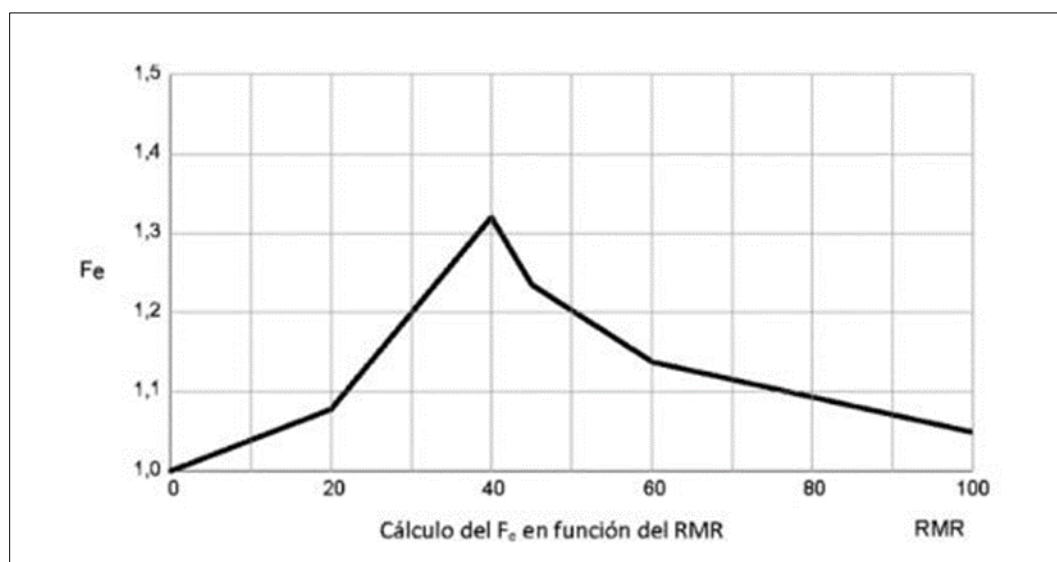
##### b) Corrección por posible excavación mediante tuneladoras (Fe)

El factor de corrección Fe es determinado de la siguiente manera:

$$\text{➤ Para } RMR < 40: F_e = 1 + 2 * \left(\frac{RMR}{100}\right)^2$$

$$\text{➤ Para } RMR > 40: F_e = 1.32 - \frac{\sqrt{(RMR-40)}}{25}$$

*Figura 4-5: Valores de Fe en Función del RMR.*



**Fuente:** Guía de criterios geomecánicos – Osinergmin 2017.

### c) Corrección por influencia de la plastificación del frente (Fs)

Es necesario establecer un factor que considere la plastificación del frente. Para el cálculo de este nuevo factor de corrección FS, es necesario establecer el Índice de Comportamiento Elástico (ICE), las ecuaciones matemáticas que se muestran a continuación para obtener el ICE, están en función de RMR del macizo rocoso, de la profundidad donde se encuentra la excavación del túnel, la resistencia a la compresión simple que se obtiene el dato de los ensayos de laboratorio, así mismo del factor de coeficiente de reparto de los esfuerzos naturales, y finalmente del factor de forma de túnel.

$$\text{Para } K_0 \leq 1: \quad ICE = \frac{3704 * \sigma_{ci} * e^{\frac{RMR-100}{24}}}{(3-k_0) * H} * f$$

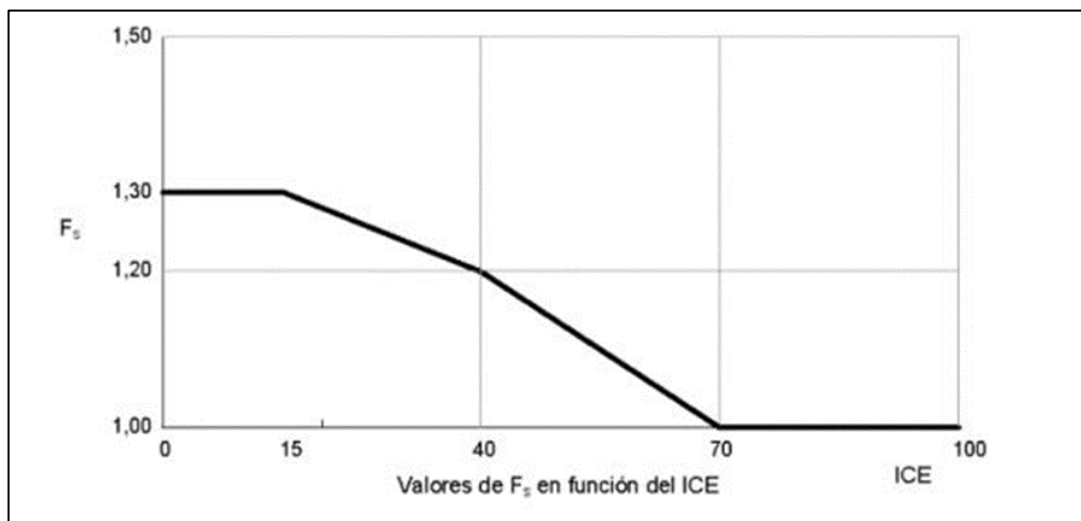
$$\text{Para } K_0 \geq 1: \quad ICE = \frac{3704 * \sigma_{ci} * e^{\frac{RMR-100}{24}}}{(3k_0-1) * H} * f$$

Donde:

- $\sigma_{ci}$ : Resistencia a compresión uniaxial de la roca intacta (MPa)
- $k_0$ : Coeficiente de reparto de los esfuerzos naturales
- H: Profundidad a la que se encuentra el frente del túnel (m)
- $f$ : Factor de forma del túnel

Las expresiones matemáticas que se muestran líneas arriba para el cálculo del ICE, se usará de acuerdo al factor  $K_0$ , el coeficiente de reparto de los esfuerzos naturales, donde se ve el valor de  $K_0$  tiene valores de menores a la unidad y valores mayores a la unidad, de la figura 4-5 se observa que finalmente, se concluye que el  $F_s$  variará entre 1.0 y 1.3, entonces los valores de  $F_s$  serán siempre mayores a la unidad.

**Figura 4-6:** Valores de  $F_s$  en Función del ICE.



**Fuente:** Guía de criterios geomecánicos – Osinergmin 2017.

Asimismo, se ha establecido una correlación entre  $RMR_{89}$  y  $RMR_{14}$ , la cual está definida por la siguiente ecuación:

$$RMR_{14} = 1.1 * RMR_{89} + 2$$

#### 4.5.2 Sistema Q

El Sistema Q fue desarrollado por Barton, Lien y Lunde (1974) en el NGI (Instituto Geotécnico de Noruega), principalmente para planificar excavaciones subterráneas de túneles. El sistema se ha mejorado y actualizado constantemente a medida que la investigación y la ciencia descubren nuevos conocimientos.), dependiendo de la carga y condición de la roca y la absorción de energía del hormigón proyectado. El Sistema Q es un sistema de clasificación de rocas relacionado con la estabilidad de la perforación subterránea para describir la calidad del macizo rocoso. El sistema Q se basa en la estimación de seis parámetros independientes y describe la calidad de la roca Q en función de estos parámetros.

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

Donde:

- Ja: Parámetros basados en el cambio continuo
- Jn: Parámetros basados en el número de familia discontinuidades
- Jr: Parámetros basados en la rugosidad de las discontinuidades
- Jw: Parámetros basados en la presencia de agua
- RQD: Índice de calidad de la roca
- SRF: Factor de reducción de esfuerzos

**Tabla 4-9:** Interpretación del Índice Q (Barton, 1974).







Descripción	Q
Roca Excepcionalmente Mala	0.001 - 0.01
Roca Extremadamente Mala	0.01 - 0.1
Roca Muy Mala	0.1 - 1
Roca Mala	1 - 4
Roca Regular	4 - 10
Roca Buena	10 - 40
Roca Muy Buena	40 - 100
Roca Extremadamente Buena	100 - 400
Roca Excepcionalmente Buena	400 - 1000

**Fuente:** Guía de criterios geomecánicos – Osinergmin 2017.

#### 4.5.3 Índice GSI (Índice de Resistencia Geológica)

El Índice de Resistencia Geológica (GSI) es un índice de propiedades del macizo rocoso que evalúa el macizo rocoso en base a dos criterios: estructura geológica y textura de fractura. Debido a su facilidad de uso, es muy utilizado entre el personal de operaciones peruano.

Figura 4-7: GSI (Hoek, Marinos 2000).

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICO GSI (Hoek & Marinos, 2000). A partir de la litología, estructura y la condición de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio de GSI. No intente ser muy preciso. Escoger un rango de 33 a 37 es mas realista que fijar GSI=35. Tambien notar que esta tabla no se aplica a mecanismos de falla controlado por estructuras. Donde se presenten planos estructuralmente débiles en una orientación desfavorable con respecto a la cara de la excavación, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. La resistencia al corte de las superficies en rocas que son propensas a deteriorarse como resultado de cambios en la humedad, se reducira cuando exista presencia de agua. Cuando se trabaje con rocas de categoria regular a muy mala, puede moverse hacia la derecha para condiciones húmedas. La presión de poros se maneja con un analisis de esfuerzos efectivos.		CONDICIONES SUPERFICIALES				
ESTRUCTURA		MUY BUENA Muy rugoso. Superficies frescas sin meteorización	BUENO Rugoso. ligeramente meteorizada. superficies con oxido	REGULAR Lizas, moderadamente meteorizadas y superficies alteradas.	MALA Espejo de falla, altamente meteorizadas con recubrimiento compacto o rellenos o fragmentos	MUY MALA Espejo de falla, superficies altamente meteorizadas con recubrimiento de arcilla suave o rellenos
		DISMINUYE CALIDAD DE SUPERFICIE →				
DE ROCA		90			N/A	N/A
DE PEDAZOS		80	70			
ENTRELAZADO			60	50		
				40	30	
					20	
DISMINUYE EL ENTRELAZADO						
		N/A	N/A			10
	Intacta o Masivo: Especímenes de roca intacta o masivo in situ con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas.					
	Levemente fracturado: Macizo rocoso no disturbado, muy bien entrelazado, constituido por bloques cúbicos formados por tres familias de discontinuidades					
	Moderadamente Fracturado: Entrelazado, macizo rocoso parcialmente disturbado con bloques angulosos de varias caras formado por 4 o mas familias de discontinuidades					
	Muy Fracturado/Disturbado/Agrietada: Foleada con bloques angulosos formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Persistencia de planos de estratificación o esquistocidad					
	Desintegrado: Pobremente entrelazado, macizo altamente fracturado compuesto de una mezcla de pedazos de rocas angulosas y redondeadas					
	Foliado/Laminado/Cizallado: Falta de formación de bloques debido al pequeño espaciamiento o esquistocidad débil o planos de corte					

Fuente: Guía de criterios geomecánicos – Osinergmin 2017.

#### 4.6 CORRELACIONES ENTRE SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN

Dada la diversidad de sistemas de clasificación de rocas y su amplia aceptación en la minería, varios autores han sugerido correlaciones entre diferentes sistemas de clasificación, los más importantes de los cuales se enumeran en la Tabla 4-10.



**Tabla 4-10:** Correlaciones Entre los Sistemas de Clasificación de Macizo Rocos.

Correlación
$RMR_{76} = 9 * \ln Q_{74} + 44$
$RMR_{76} = RMR_{89} - 5$
$RMR'_{76} = GSI = RMR'_{89} - 5$
$RMR_{14} = 1.1 * RMR_{89} + 2$

**Fuente:** Guía de criterios geomecánicos – Osinergmin 2017.

Se recomienda utilizar información o datos "en bruto", es decir, información recopilada en estudios geomecánicos de campo, para determinar la evaluación de los parámetros del sistema de interés. Esto puede consumir mucho tiempo y recursos, por lo que construimos una base de datos preliminar de información del sistema de clasificación original que es lo suficientemente grande como para realizar análisis estadísticos confiables y luego convertimos las evaluaciones a las nuestras. en un nuevo sistema de taxonomía requerido para un contexto particular. para que se pueda aplicar al resto de la mía. Sin embargo, se recomienda usar la fórmula de correlación solo una vez, ya que usar la fórmula de correlación varias veces generará un error.

#### 4.7 ESFUERZOS EN EXCAVACIONES SUBTERRANEOS

El estrés previo a la extracción representa la presión de los cuerpos rocosos atrapados dentro del lecho rocoso que rodea el depósito antes de la extracción. Estos esfuerzos son fuentes de energía que pueden provocar grietas en las rocas. Por lo tanto, es importante definir el estado de las

contramedidas previas a la extracción, ya que es una parte importante de la evaluación del riesgo de falla de la roca.

#### 4.7.1 Estimación de Esfuerzos In Situ

Sheorey (1994) desarrolló un modelo de estrés que estima la relación entre el estrés horizontal y el vertical (k). Esta ecuación es:

$$K = 0.25 + 7 E_h \left( 0.001 + \frac{1}{z} \right)$$

Donde:

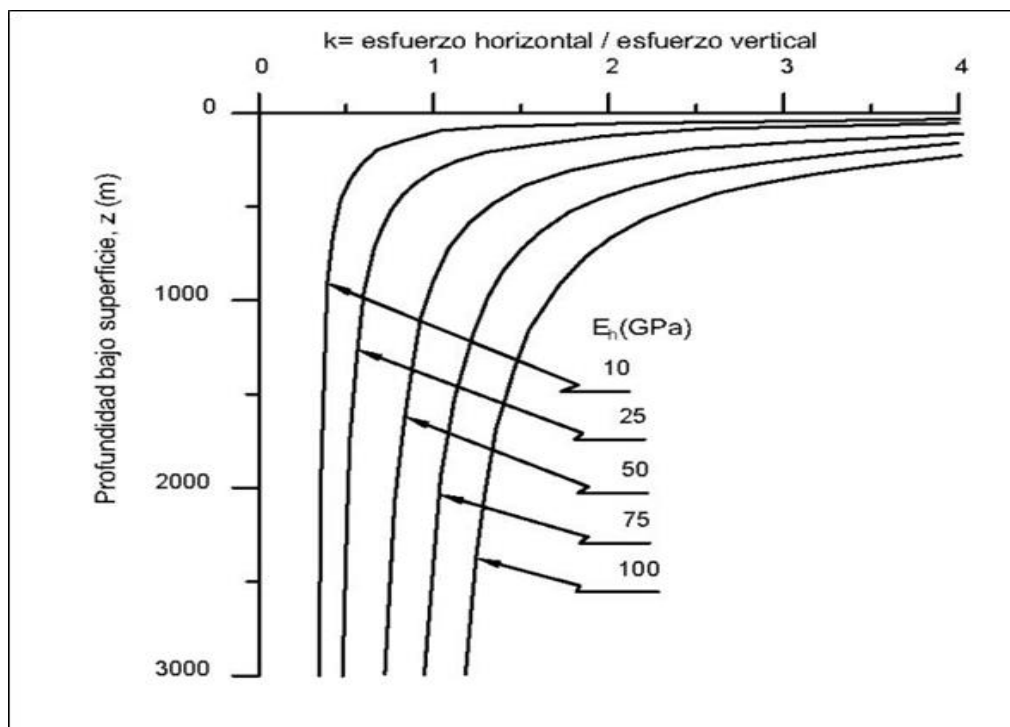
- z: es la profundidad relativa a la superficie
- Eh: Módulo de elasticidad promedio de sobrecarga medido en dirección horizontal, la unidad es GPa

“El valor de K variara de acuerdo a la profundidad de la excavación, en excavaciones que no son tan profundas se tiene que el valor del esfuerzo vertical es igual al valor del esfuerzo horizontal, lo que no ocurre para excavaciones a mayor profundidad. Cuando Z varia de 0 a 250 el esfuerzo es en una dirección es decir el esfuerzo vertical es el único que actúa en las excavaciones”.

Una manera de ver gráficamente esta ecuación para un rango de diferentes módulos de elasticidad, se muestra en la siguiente figura 4-7, donde podremos ver en el grafico la relación del esfuerzo horizontal y el esfuerzo vertical vs la profundidad de la excavación.

En la Figura 4-7, se puede apreciar que el ratio de esfuerzo horizontal y vertical es una curva respecto a la profundidad de la zona de excavación y se dá para diferentes modulos de elasticidad, expresado por el parámetro del módulo de Young.

**Figura 4-8:** Ratio del Esfuerzo Horizontal y Vertical Para Diferentes Módulos de Elasticidad.



**Fuente:** Guía de criterios geomecánicos – Osinergmin 2017.

**Tabla 4-11:** Criterios Para la Estimación del Módulo de Deformación de Macizos Rocosos.

Criterio	Aplicación	Observaciones
$E_{rm} = 2 * RMR - 100$ (Bieniawski, 1978)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Válido para macizos rocosos de buena calidad, <math>RMR &gt; 50 - 55</math>.</li> <li>No válido para macizos rocosos de baja calidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No tienen en cuenta los datos de laboratorio.</li> <li>E no es función del valor de <math>\sigma_{ci}</math> ni de <math>E_i</math>.</li> </ul>
$E_{rm} = 10^{\frac{(RMR-10)}{40}}$ (Serafim y Pereira, 1983)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para macizos rocosos de calidad media a baja (<math>10 &lt; RMR &lt; 50</math>).</li> <li>Especialmente válido para el rango de <math>1 &lt; E &lt; 10</math> GPa.</li> <li>Para macizos rocosos de calidad baja a muy baja se sobreestima el valor de E.</li> </ul>	
$E_{rm} = \left(1 - \frac{D}{2}\right) * \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100} * 10^{\frac{GSI-10}{40}}}$ (Hoek, 2002)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Válido para macizos rocosos débiles o blandos de calidad baja a muy baja y matriz rocosa con <math>\sigma_{ci} &lt; 100</math> MPa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>E es función del valor de <math>\sigma_{ci}</math>.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para <math>\sigma_{ci} &gt; 100</math> MPa la ecuación se reduce a:</li> </ul> $E_{rm} = \left(1 - \frac{D}{2}\right) * 10^{\frac{GSI-10}{40}}$	
$E_{rm} = E_i * \left(0.02 + \frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + e^{\frac{60+15D-GSI}{11}}}\right)$ (Hoek & Diederichs, 2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si no se cuentan con valores de <math>E_i</math>, este puede ser estimado usando la siguiente ecuación:</li> </ul> $E_i = MR * \sigma_{ci}$	- E es función del valor de $E_i$ .

**Fuente:** Guía de criterios geomecánicos – Osinergmin 2017.

## 4.8 FACTOR DE SEGURIDAD

Un enfoque clásico del diseño estructural de ingeniería es considerar la relación entre la resistencia o capacidad de carga del sistema y la demanda o carga de diseño del sistema. El factor de seguridad (FS) es una medida determinista de la relación entre la fuerza de resistencia (capacidad) y la fuerza aplicada (demanda).

El factor de seguridad de una estructura se define como:

$$F.S = C/D$$

Donde:

- C = capacidad de carga del sistema
- D = fuerza o demanda sobre el sistema
- FS = Factor de Seguridad

Hay tres situaciones posibles:

- Si  $C < D$ , luego  $C/D > F.S < 1$  el sistema es inestable.
- Si  $C = D$ , luego  $C/D > F.S = 1$  el sistema está en equilibrio límite.
- Si  $C > D$ , entonces  $C/D > F.S > 1$ , el sistema es estable.

El valor de FS generalmente incluye un valor de aceptación de diseño mínimo determinado principalmente en función de la configuración empírica. Los valores para los que FS se considera el valor mínimo se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 4-12:** FS Recomendados Según Plazo de Estabilidad.

<b>Plazo</b>	<b>Rangos de FS</b>
Estabilidad a largo plazo (LP)	>1.5
Estabilidad a mediano plazo (MP)	1.3 - 1.5
Estabilidad a corto plazo (CP)	1.1 - 1.3

**Fuente:** Guía de criterios geomecánicos – Osinergmin 2017.

Nota: se considera: CP<3 meses, 3 meses<MP<1 año y LP>1 año

“La confiabilidad de la función de capacidad (C) depende de la variabilidad de los parámetros de resistencia al corte del macizo rocoso, las pruebas de falla, los procedimientos de minería, los procedimientos de inspección, etc. Además, la función de demanda (D) incluye la fuerza gravitatoria de las rocas. masa, aceleración sísmica, factores como la tensión ambiental y la ubicación del nivel freático.

#### **4.9 REFUGIO MINERO**

Se trata de cámaras cerradas instaladas en minas ignífugas para proporcionar aire limpio, agua potable y alimentos a los mineros atrapados en entornos peligrosos a causa de accidentes. Un refugio minero es "un espacio protegido por una atmósfera aislada y componentes integrados que crean un entorno vital para las personas atrapadas en una mina subterránea". En áreas cerradas seguras o con problemas severos de ventilación, los refugios evitan la entrada de agentes externos potencialmente dañinos a quienes se encuentran en su interior.

#### **4.9.1 Tipos de Refugio Minero**

Los refugios mineros en minería subterránea se clasifican en fijos y móviles, estas serán instaladas y/o construidas de acuerdo a la sección de las labores y la necesidad de cada unidad minera, en secciones menores a 3.00 m x 3.00 m se recomienda construir refugios fijos.

##### **a) Refugio Minero Fijo**

Son cámaras que se construyen en los macizos rocosos, y estos necesitan tener ciertas características de seguridad de acuerdo a la recomendación geomecánica en temas de sostenimiento, estas cámaras son fijos ya que no se pueden trasportar a otros puntos en avance de las operaciones, para que se pueda tener refugios más cercanos a los frentes de avance; estas se tendrían que construir otras cámaras y acondicionar para poder tener un refugio minero más cercana a los frentes de avance, esto también obedece a que la sección de avance de las labores son menores de 3.00 metros y en estos ambientes de secciones angostas no es posible introducir en interior mina los refugios móviles.

La construcción de los refugios mineros fijos se debe realizar en puntos estratégicos respecto a las labores de avance de las operaciones mineras; así mismo de en lugares que presten las condiciones de seguridad tales como de estabilidad del macizo rocoso y ventilación.

En la construcción del refugio minero fijo en el NV 3240 en el CR 397, se realizará solo si la evaluación geomecánica y el análisis de estabilidad mediante el software PHASE garanticen que el macizo rocoso, es estable y la evaluación de riesgos no se tenga riesgos potenciales de derrumbe o subsidencias. Se construirá para un aforo de 20 personas, evidenciando que no hay para la totalidad del personal en interior mina, esto obliga a construir más refugios mineros en interior mina para poder tener un mejor sistema de emergencias ante siniestros.

*Fotografía 01: Refugio Minero Fijo.*



**Fuente:** Elaboración Propia.

### **b) Refugio Minero Móvil**

Los refugios mineros móviles son aquellos que se pueden transportar de un punto A a otro punto B con el apoyo de algún equipo, ya sean camiones grúa en superficie y scooptrams en interior mina, estas son de aforo variable de acuerdo a la necesidad de cada unidad minera, los contenedores deben de ser herméticos e implementados con todas las exigencias del D.S. 024-2016-EM y modificatoria D.S. 023-2017-EM RSSOM, Anexo 19.

Las estaciones de refugios mineros fijos deben de instalarse en lugares próximos a las operaciones mineras y estas deben estar en lugares secos, iluminados, señalizados y sostenidos de acuerdo a las recomendaciones geomecánicas, deben de tener un procedimiento de uso para que el personal pueda usarlo correctamente, así mismo debe de realizarse el mantenimiento respectivo para evitar su deterioro prematuro como su monitoreo de los elementos que puedan tener fechas de caducidad y ser remplazadas oportunamente.

*Fotografía 02: Refugio Minero Móvil.*



Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.10 REQUISITOS MÍNIMOS DE SEGURIDAD DE LAS ESTACIONES DE REFUGIO MINERO SEGÚN EL ANEXO N° 19 DEL RSSO D.S 024-2016-ME Y MODIFICATORIA D.S 023-2017-ME.**

##### **ANEXO N° 19**

#### **REQUISITOS MÍNIMOS DE SEGURIDAD DE LAS ESTACIONES DE REFUGIO PARA CASOS DE SINIESTROS.**

##### **1. ESTUDIO DE RIESGOS**

El número y ubicación de los refugios se determinará con base en los estudios de riesgo de la unidad minera.



A la hora de determinar la ubicación del albergue se deben considerar, entre otros, los siguientes factores:

- Agua de mina y posibles fuentes de agua cercanas.
- No estarán a más de 500 metros de dicha línea de frente dependiendo de la dirección de la línea de frente.
- Condiciones del terreno para actividad sísmica y otras emergencias.
- Acceso a zonas afectadas por la minería (menor nivel de actividad).
- Mapa de ubicación actualizado en coordenadas UTM WGS 84.

## 2. CONDICIONES FÍSICAS

- Aforo mínimo: la superficie no debe ser inferior a 1,5 metros cuadrados por persona.
- Chimenea ventilada o hueco de 6" de diámetro para comunicar con pisos superiores que a su vez comunican con el suelo.
- Excavación en roca calificada con suficiente resistencia ( $RMR > 60$ ).
- Proporcionar soporte adecuado para cálculos con  $RMR < 60$ .

## 3. SERVICIOS

- Luz eléctrica.
- Líneas de comunicación con el mundo exterior.
- Líneas de agua potable separadas de acuerdo con las normas de calidad de agua potable humana aprobadas por Decreto Supremo no. 031-2010-SA.
- Línea de aire comprimido separada (aire respirable).
- Servicios de higiene química.
- Las instalaciones eléctricas deben cumplir con las normas nacionales sobre equipos eléctricos.

- Servicio de respaldo de energía.

#### 4. ACCESOS Y SEÑALIZACIÓN

- Las rutas a los refugios deben ser de fácil acceso, incluidos los vehículos. Estas rutas deben estar señalizadas.
- Las luces estroboscópicas y las sirenas están ubicadas cerca de la puerta del dosel para facilitar su ubicación en condiciones de visibilidad reducida o humo.

#### 5. CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ausencia de filtraciones en paredes y techos.
- Suelos lisos ignífugos.
- Puertas de escape adicionales.
- Cierre la puerta.

#### 6. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

- Auto-rescate según la capacidad del refugio.
- Dos (2) cilindros de oxígeno con máscaras.
- Dos (2) camillas tipo cesta o similar.
- Dos extintores de polvo químico seco de 12 kg.
- Alfombras según capacidad.
- Herramientas manuales: dos (2) picos, dos (2) palancas, dos (2) martillos, etc.
- Un (1) botiquín de primeros auxilios.
- Lámpara portátil/cargador de lámparas (batería de respaldo).

#### 7. RESERVAS DE ALIMENTOS

- Alimentos no perecederos para al menos 3 días dependiendo de la capacidad.

- Debe indicarse la composición y fecha de caducidad del alimento. También debe haber una indicación de la cantidad de alimentos asignados a cada persona cada día, enfatizando la importancia del racionamiento de alimentos.
- Agua potable en función de la capacidad durante al menos 3 días.

## 8. OTROS

- Manuales de instrucciones y consejos para el manejo del estrés por calor para ayudar a los heridos.
- Los refugios solo deben usarse en emergencias. No se utilizarán como restaurantes, almacenes y otros lugares.
- papel y bolígrafo
- Conjunto actualizado de planes de trabajo.

## 9. INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO

- Inspeccione y mantenga periódicamente las marquesinas para garantizar su funcionalidad.
- Designar a una (1) persona que será responsable de la inspección y mantenimiento del albergue (indicar el nombre y cargo de la persona responsable).

## 10. PRUEBAS

- Al instalar el escudo por primera vez, se debe realizar una prueba de vacío para verificar su estanqueidad.
- Pruebas de sistemas de servicios alternativos (electricidad, alumbrado, etc.)
- Realizar una auditoría integral cada año. • Para refugios móviles, inspeccione después de cada movimiento y cada 6 meses.

## CAPITULO V

### MARCO ANALÍTICO

#### 5.1 ANÁLISIS DE DATOS

Se realizaron observaciones in-situ sobre diferentes aspectos cualitativos geomecánicos relacionados con las labores del proyecto con relación a la construcción del refugio minero, y se elaboró la toma de datos cuantitativos y cualitativos en campo; de las cuales de estas observaciones con las recomendaciones del caso tendientes a mejorar las condiciones del control de la estabilidad del macizo rocoso y por tanto mejorar las condiciones de seguridad de la operación minera de acuerdo al método de explotación que se está usando en la mina, y de labores permanentes como es el caso del refugio minero construido.

El trabajo de campo realizado a la zona de estudio comprendió de la toma de datos tanto cualitativos como cuantitativos que consta de tres etapas de las siguientes actividades:

- a) **Primera Etapa:** Se abordan diversos aspectos generales de interés para la evaluación, relacionados básicamente a los aspectos geológicos.

- b) **Segunda Etapa:** Se presentan los resultados de las investigaciones básicas realizadas, las cuales han permitido evaluar los factores principales de influencia sobre las condiciones de estabilidad del proyecto y estimar los parámetros geomecánicos básicos.
- c) **Tercera Etapa:** Se presentan los resultados de la evaluación de las condiciones de estabilidad del proyecto.

Las utilidades de la información recopilada en campo se procesaron en gabinete para poder determinar de manera precisa los aspectos y parámetros que nos indicarán si el macizo rocoso es estable o inestable, de los cuales; si fuera inestable se tomaran algunas recomendaciones de sostenimiento para poder fortificar el macizo rocoso de manera tal; que el refugio minero esté estable y cumpla con la recomendación de que el factor de seguridad sea mayor a 1.

La investigación se realizará en el NV 3240 CR 397 con el fin de determinar las características geomecánicas del macizo rocoso donde estará emplazado el refugio minero y la evaluación de la estabilidad de la misma; para una construcción segura, estable y perdurable, de acuerdo al avance de las operaciones mineras donde las vibraciones producto de las voladuras no puedan afectar la estabilidad del refugio minero.

## **5.2 UBICACIÓN Y ACCESO DEL REFUGIO MINERO**

El refugio minero se encuentra ubicado en el CR 397 del NV 3240 a una profundidad aproximada de 135 metros con respecto a la superficie y a una distancia de 550 metros a la bocamina 3240, esta es la bocamina más cercana para poder evacuar, si se quiere evacuar por otro acceso, se hará por lo que indica las rutas de escape (Ver Anexo5).

Para poder acceder al refugio minero se debe ingresar por el CR 414 N cortando por el BP 414 NW, ingresando al CR 397, permitiendo el acceso a la puerta principal del refugio minero.

**Figura 5-1:** Ubicación y Accesos del Refugio Minero NV 3240 CR 397 – Mina Antapite.



**Fuente:** Departamento de Geomecánica – U.M Antapite.

## 5.3 ANÁLISIS GEOLÓGICO

### 5.3.1 Geología Local del Refugio Minero

El macizo rocoso de la labor CR 397 en el NV 3240 donde se construirá el refugio minero se encuentra emplazado en tobas andesíticas de texturas cristalolítica en la zona de Pampeñita.

## 5.4 INVESTIGACIONES GEOMECAÑICAS

### 5.4.1 Caracterización del Macizo Rocos

Para la caracterización de la masa rocosa se registraron datos principalmente a partir del mapeo geomecánico de campo, los datos tomados en campo son cuantitativos y cualitativos que luego se procesaran en el software PHASE y la toma de datos se llevó a cabo utilizando el “método de mapeo por Estación o Celdas”. Mediante este método se realizaron mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes en estaciones de medición, representado por un tramo de extensión variable de la excavación.

Los parámetros de observación y medición fueron obtenidos en formatos de registros, los cuales están adecuados a las normas sugeridas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). Estos parámetros fueron:

- Tipo de roca
- Tipo de sistema de discontinuidad
- Orientación
- Espaciado
- Persistencia
- Apertura
- Rugosidad
- Tipo de relleno
- Espesor de relleno
- Intemperización
- Presencia de agua
- Resistencia de la roca
- Frecuencia de fracturamiento

#### **5.4.2 Aspectos Estructurales**

Las características estructurales se establecieron mediante tratamiento estadístico de la información registrada en el mapeo geotécnico, la que se trató de compatibilizar con las observaciones in-situ.

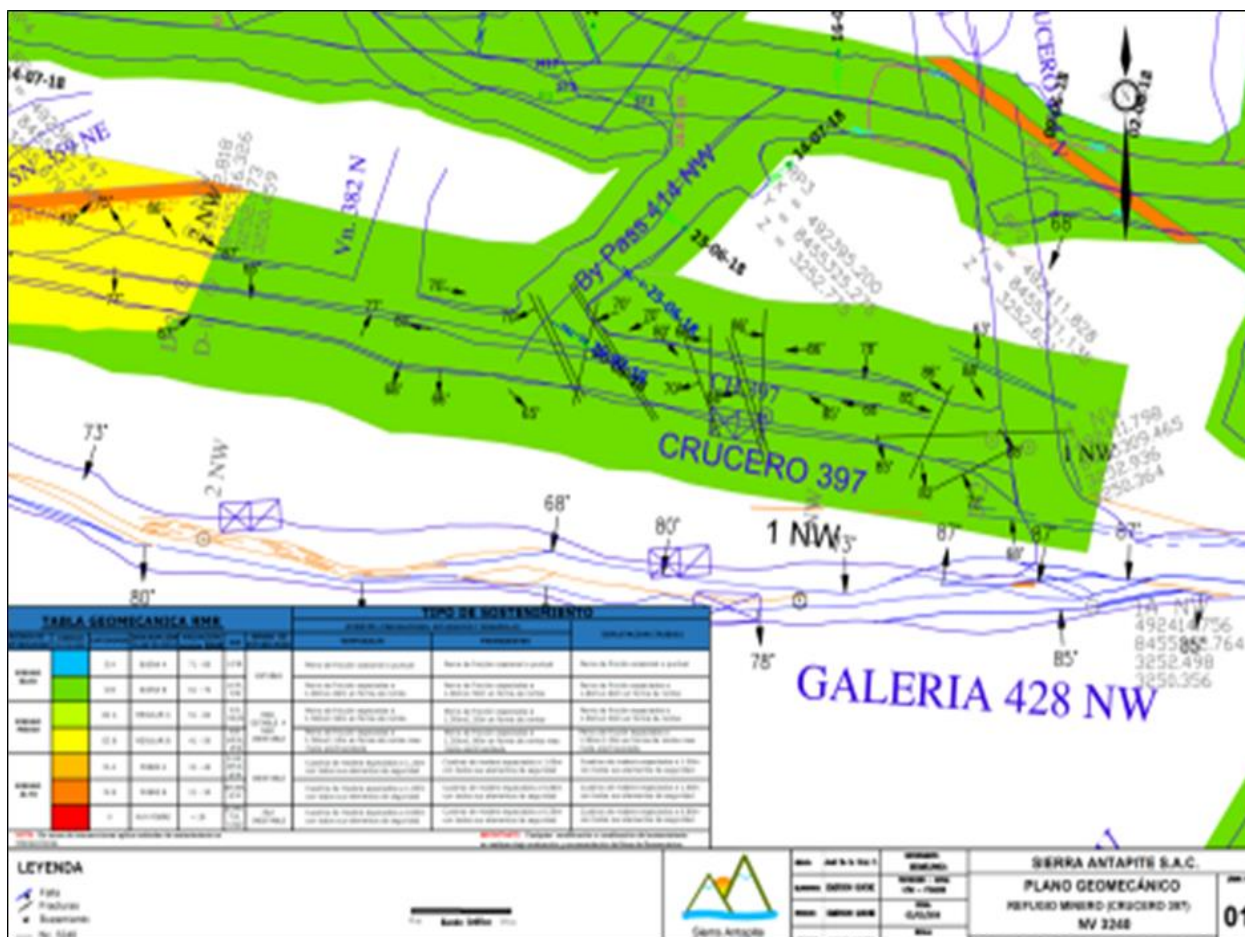
En cuanto a las estructuras mayores, en general conformadas por las diaclasas, estas tienen las siguientes características estructurales, que se puede ver en la tabla 5-1, que muestran datos tomados en campo para su proceso en gabinete.

Tabla 5-1: Características Estructurales de Estructuras Mayores.

Características Estructurales	
Persistencia	: 3 a 10 m
Espaciamiento	: 0.06 a 0.2 m
Apertura	: Cerradas
Superficie	: Ligeramente rugosas intemperizadas
Relleno	: Duro menor a 5 mm
Condiciones de agua	: Seco - húmedo

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5-2: Mapeo Geomecánico por el Método de Línea de Detalle - CR 397 NV 3240.



Fuente: Departamento de Geomecánica – U.M. Antapite.



### 5.4.3 Distribución de Discontinuidades

En la recopilación de datos, se realizaron levantamientos geomecánicos de la estructura primaria de CR 397 para caracterizar la distribución de discontinuidades grandes y pequeñas. El procesamiento de datos direccionales se realizó mediante proyección estereográfica equidistante utilizando una versión mejorada del programa informático DIPS. Versión 6.0 (2012), elaborado por Rocscience, M.S. Diedericks y E. Hook del Rock Engineering Group, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Toronto (Canadá).

En el Refugio Minero (Crucero 397) se tienen definidos dos sistemas estructurales principales y tres secundarios que afectan a la zona, la Primera con orientación NW - SE teniendo como buzamiento y dirección de buzamiento (DIP/DIP DIRECCION) de 69/242. Este es un sistema principal, la segunda con orientación NE – SW con DIP/DIP DIRECCION de 86/282. Sistema principal, la tercera con orientación NE – SW con DIP/DIP DIRECCION de 88/153. Sistema secundario, la cuarta con orientación NE – SW con DIP/DIP DIRECCION de 84/174, sistema secundario, la quinta con orientación NW – SE con DIP/DIP DIRECCION de 86/257, sistema secundario, los datos obtenidos del levantamiento geomecánicos de las estructuras mayores se presentan a continuación

**Tabla 5-2:** *Sistemas Estructurales Principales.*

<b>SET</b>	<b>DIP</b>	<b>DIP DIR</b>
S1	69	242
S2	86	282
S3	88	153
S4	84	173
S5	86	257

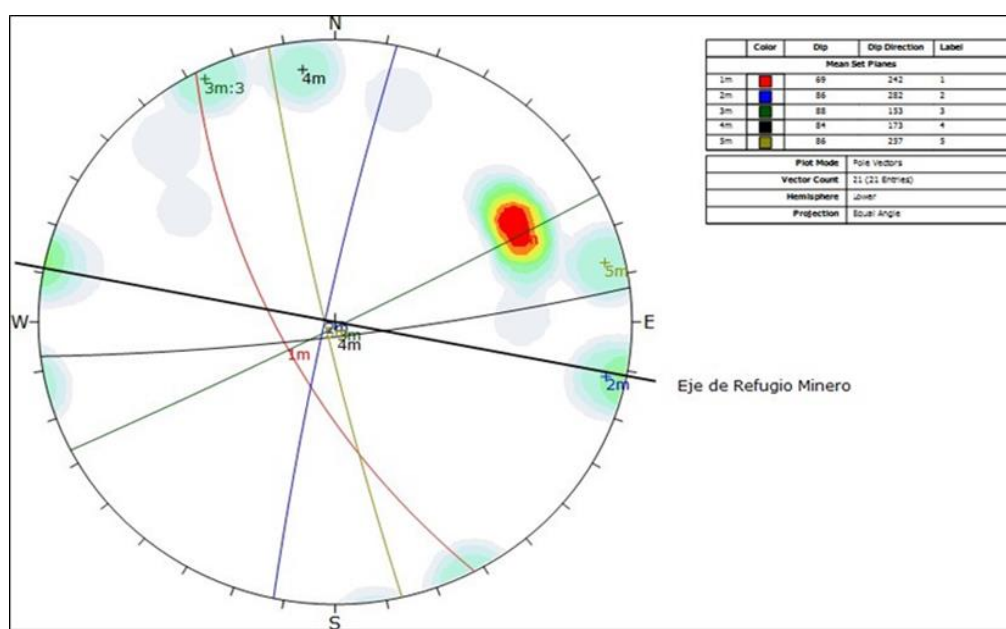
**Fuente:** Plan de Minado 2020 - U.M. Antapite.

En la Figura 5-3 y 5-4 se muestra el estereograma de contornos del Refugio Minero. Todas las características estructurales mencionadas contribuyen a la formación de pequeñas cuñas controladas con desate de rocas y sostenimiento.

Las estructuras mostradas, tienen las siguientes longitudes de persistencia  $S1 = 1$  m,  $S2 = 2$  m,  $S3 = 3$  m,  $S4 = 4$  m y  $S5 = 5$  m, al modelar en el software DIPS, se obtiene la presencia de cuñas, por el corte de las estructuras mayores, estas cuñas se observan que no son de mayor dimensión, estas pueden ser controladas con el desate de rocas con las barretillas, se debe realizar un desate completo antes de iniciar a sostener para evitar accidentes por desprendimiento de rocas.

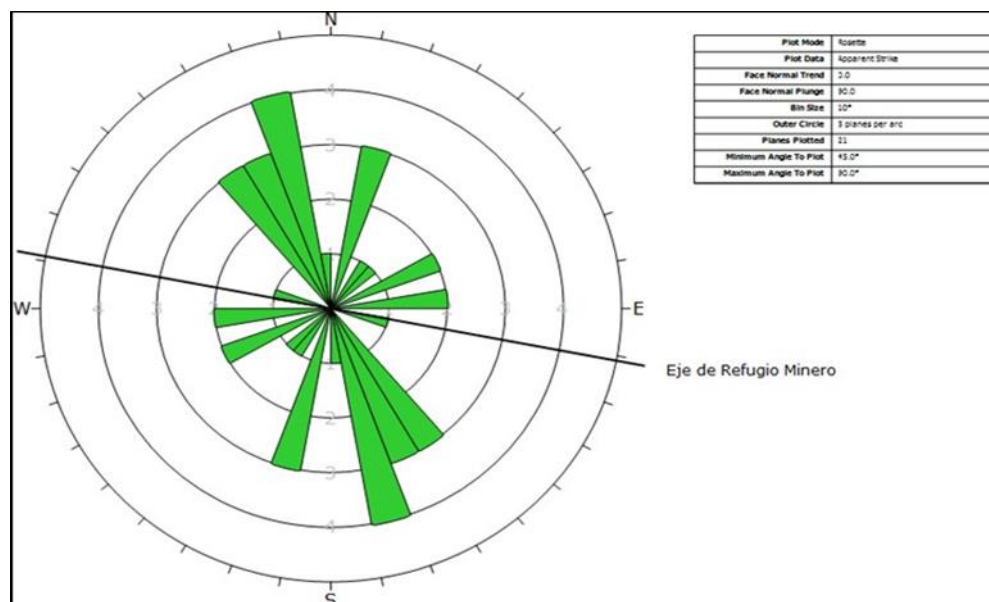
Se debe realizar un constante monitoreo en la labor para poder identificar la presencia de rocas sueltas que se venen eliminar de manera inmediata para poder realizar la construcción del refugio minero y eliminar todo riesgo.

**Figura 5-3:** Diagrama Estereográfico de Planos de Sistemas Principales de Estructuras del Refugio Minero.



**Fuente:** Departamento de Geomecánica – U.M. Antapite.

**Figura 5-4:** Diagrama de Rosetas de los Sistemas Principales de Estructura.



**Fuente:** Departamento de Geomecánica – U.M. Antapite.

Orientación de los sistemas principales con respecto a la orientación del Refugio Minero, donde se aprecia que las estructuras están sub perpendiculares al eje de del Refugio Minero dando una condición regular.

#### 5.4.4 Clasificación del Macizo Rocoso

La clasificación geomecánica de las rocas utiliza la información desarrollada anteriormente y las rocas en cuestión se someten a un mapeo geomecánico utilizando los Criterios de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR: Rock Mass Evaluation 1989), categorizados en varias celdas de detalle.

Los valores de resistencia a la compresión para rocas intactas se obtuvieron utilizando el método que se presenta a continuación. Los valores del índice de calidad de la roca (RQD) se determinaron mediante la puntuación lineal de las discontinuidades utilizando la relación propuesta por Priest & Hudson (1986). donde el principal parámetro de entrada fue la frecuencia de fractura por metro

lineal. La Tabla 5-3 muestra la clasificación geomecánica del macizo rocoso en el área de evaluación.

Los valores de resistencia a la compresión para rocas intactas se obtuvieron utilizando el método que se presenta a continuación. Los valores del índice de calidad de la roca (RQD) se determinaron mediante la puntuación lineal de las discontinuidades utilizando la relación propuesta por Priest & Hudson (1986). donde el principal parámetro de entrada fue la frecuencia de fractura por metro lineal. La Tabla 5-3 muestra la clasificación geomecánica del macizo rocoso en el área de evaluación.

**Figura 5-5:** Estaciones 1 y 2 Donde se Obtuvieron las Muestras de Roca.



**Fuente:** Departamento de Geomecánica – U.M. Antapite.

En las estaciones E1 y E2, se sacaron muestras para la evaluación de los ensayos en laboratorio, ejecutado por la empresa TECSUP, de los cuales se obtuvieron algunos parámetros para poder estimar y calcular los esfuerzos tanto verticales y horizontales al que está sometido el CR 397 donde será construido el refugio minero.

**Tabla 5-3:** Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso en Refugio Minero.

Nº Estación	Nivel	Tipo Litología	RMR	Calidad Roca según RMR
En 1	3240	Roca Andesítica	61	Buena
En 2	3240	Roca Andesítica	65	Buena

**Fuente:** Departamento de Geomecánica – U.M Antapite.

**Tabla 5-4:** Valuación del Macizo Rocoso del CR397 Según Tabla de Bieniawski.

PARAMETROS		VALORES Y CARACTERISTICAS	VALOR SEGÚN TABLA
1	Resistencia a la Compresión uniaxial de Roca Intacta	50 - 100 Mpa	7
2	RQD	90 - 100	20
3	Espaciamiento de las Discontinuidades	6 cm - 20 cm	15
4	Condición de Discontinuidades	*Persistencia	3- 10 m
5		*Apertura	<1.0mm
6		*Rugosidad	Lig. Rugoso
7		*Relleno	duro < 5mm
8		*Intemperismo	Ligero
9	Agua Subterránea	Húmedo	10
10		RMR básico	<b>71</b>
		<b>ROCA TIPO</b>	<b>II BUENA</b>
	Ajuste por orientación de Estructuras	Regular	-5
		RMR ajustado	<b>66</b>











**Fuente:** Elaboración Propia.

#### 5.4.5 Zonificación Geomecánica de la Masa Rocosa

El zoneamiento geomecánico general está dado por los rangos de calidad de la masa rocosa descritos en el acápite anterior. Para el refugio minero CR 397 la masa rocosa constituye una zona geomecánica del dominio Bueno (DG-II).

Según la evaluación geomecánica se obtiene que el CR 397 tiene en la E1 un RMR de 61 y en la E2 un RMR de 65, tomando estos resultados nos da una calidad de roca de II-B que es una roca buena y según la simbología cromática es de color verde.

**Figura 5-6:** Simbología Cromática por Calidad de Roca.

Categoría		RMR	Código de Colores	Descripción
I	I-A	91-100		Roca muy buena I-A
	I-B	81-90		Roca muy buena I-B
II	II-A	71-80		Roca buena II-A
	II-B	61-70		Roca buena II-B
III	III-A	51-60		Roca regular III-A
	III-B	41-50		Roca regular III-B
IV	IV-A	31-40		Roca mala IV-A
	IV-B	21-30		Roca mala IV-B
V	V-A	11-20		Roca muy mala V-A
	V-B	0-10		Roca muy mala V-B

**Fuente:** Guía de criterios geomecánicos – Osinergmin 2017.

## 5.5 CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA INTACTA

### 5.5.1 Resistencia de la Roca Intacta

En relación a la resistencia de la roca intacta, uno de los parámetros más importantes del comportamiento mecánico de la roca intacta, es la resistencia compresiva uniaxial. Los valores fueron obtenidos mediante los siguientes procedimientos:

- Ensayos in-situ con martillo de geólogo.
- Ensayos de Laboratorio.
- Ensayos in-situ de impacto con el martillo Schmidt de dureza.

A continuación, se presenta los resultados de los diferentes parámetros obtenidos en los ensayos de laboratorio realizado por la empresa TECSUP, estas muestran resultados de los ensayos triaxiales, de elasticidad y de corte directo, de las muestras obtenidos en el CR 397 NV 3240 de las estaciones E1 y E2 que luego se procesaran para poder determinar si el macizo rocoso es estable o inestable para poder continuar con del proyecto del refugio minero.

**Tabla 5-5: Ensayo de Compresión Triaxial.**

Sondaje	Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga (kg)	Resistencia (Mpa)	Confinamiento (Mpa)	mi	Ang. Fricción (°)	Cohesión (Mpa)
ANDH17-02	TX-01	6.09	11.93	14705.39	49.34	2	10.2	39.92	9.43
	TX-02	6.08	11.55	17623.98	59.10	4			
	TX-03	6.09	12.19	20118.33	67.69	6			
ANDH17-08	TX-01	4.93	10.15	7636.38	39.34	0	6.51	35.91	10.05
	TX-02	6.07	9.32	14434.49	47.10	2			
	TX-03	6.07	10.74	16419.74	54.71	4			

**Fuente:** Departamento de Geomecánica - U.M. Antapite.

**Tabla 5-6: Ensayo de Constantes Elásticas.**

Sondaje	Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	M. Young (Gpa)	R. Poisson
ANDH17-02	CE-01	6.07	12.23	5.51	0.34
ANDH17-08	CE-02	6.07	11.12	3.29	0.34

**Fuente:** Departamento de Geomecánica - U.M. Antapite.

**Tabla 5-7: Ensayo de Corte Directo.**

Sondaje	Muestra	Área (cm <sup>2</sup> )	Ang. Fricción (°)	Cohesión (Mpa)
ANDH17-02	CD-01	15.09	27.64	0.101
ANDH17-08	CD-02	11.9	26.06	0.095

**Fuente:** Departamento de Geomecánica - U.M. Antapite.

### 5.5.2 Resistencia de la Masa Rocosa

Para estimar los parámetros de resistencia de la masa rocosa se ha empleado el criterio de falla de Hoek & Brown (2002-2007) haciendo uso del programa ROCLAB de Rocscience Inc. (2013).

Para ello se tomaron los valores más representativos de calidad de la masa rocosa involucrada con cada dominio estructural, además de la resistencia compresiva uniaxial estimada y de la constante “mi” de la roca intacta obtenida con los ensayos de laboratorio.

**Tabla 5-8: Parámetros de Resistencia de la Masa Rocosa Involucrado con el Refugio Minero.**

Sector	GSI	$\sigma_c$ (MPa)	$\gamma$ (MN/m <sup>3</sup> )	“mi”	$a_{mr}$	$S_{mr}$	$E_{mr}$ MPa	$\nu$
CT alejada	55	60	0.026	10.205	0.504	0.0067	10329	0.34
CT inmediata	50	38	0.026	10.205	0.506	0.0039	5510	0.34
Mineral	25	20	0.026	10	0.51	0.000133	285	0.3
CP inmediata	50	39	0.026	6.511	0.506	0.0039	3290	0.34
CP alejada	55	60	0.026	6.511	0.504	0.0067	10329	0.34

**Fuente:** Departamento de Geomecánica - U.M. Antapite.

Donde:

- GSI: Calidad de la masa rocosa GSI = RMR (para condiciones húmedas).
- $\sigma_c$ : Resistencia compresiva uniaxial de la masa rocosa.
- $\gamma$ : Densidad de la roca intacta.



- $m_i$ : Constante de la roca intacta.
- $a_{m_r}$ : Constante de la masa rocosa.
- $s_{m_r}$ : Constante de la masa rocosa.
- $E_{m_r}$ : Módulo de deformación de la masa rocosa.
- $\nu$ : Relación de Poisson de la masa rocosa.

Por ser el diseño para el refugio minero se han utilizados los parámetros expuestos líneas arriba, esto para ser conservadores ya que en el terreno se aprecian propiedades con mayor competencia según la calidad del macizo rocoso.

### **5.5.3 Condiciones de Aguas Subterráneas**

La presencia del agua en la masa rocosa de las excavaciones subterráneas tiene un efecto adverso en las condiciones de estabilidad de las mismas. El principal efecto de la presencia del agua en la masa rocosa es la presión que ejerce en las discontinuidades estructurales disminuyendo la resistencia al corte y favoreciendo la inestabilidad de las labores subterráneas. Se ha observado en el refugio minero CR 397 que las condiciones de agua subterránea son de seco a húmedo.

Las características de presencia del agua en el presente estudio han sido consideradas en la valoración de la calidad de la masa rocosa, con lo cual se han realizado todos los cálculos de diseño, sin embargo, en la evaluación en campo no se encontraron aguas subterráneas, estas pueden presentarse en temporadas de lluvia, ya que la ubicación de la U.M. Antapite está en una zona de lluvias y estas pueden generar aguas subterráneas.

Las aguas subterráneas que en geomecánica se conocen como factores influyentes, son perjudiciales para la estabilidad del macizo rocoso, ya que lavan las juntas y las cuñas quedan sueltas; generando una roca suelta.

### 5.5.4 Esfuerzos In-situ del Refugio Minero

Para el presente estudio geomecánico, se han estimado los esfuerzos in-situ tomando en cuenta el concepto de carga litostática (Hoek y Brown, 1978). El refugio minero se encuentra a una profundidad aproximada de 135m.

A esta profundidad se presenta un esfuerzo vertical de 3.51 MPa, considerando que la densidad de la roca es de aproximadamente 0.026 MN/m<sup>3</sup>.

#### a) Cálculo de Esfuerzos Actuantes en el CR 397

Datos

- Altura: 135 m
- Peso específico de la roca: 0.026 MN/m<sup>3</sup>
- Razón de poisson del macizo rocoso: 0.33

Calculamos el factor  $K$  para el cálculo de la concentración de esfuerzos alrededor de la excavación.

$$\frac{100}{Z} + 0.3 \leq K \leq \frac{1500}{Z} + 0.5$$

Reemplazando  $Z = 135$  m

$$\frac{100}{135} + 0.3 \leq K \leq \frac{1500}{135} + 0.5$$

$$\frac{100}{135} + 0.3 \leq K \leq \frac{1500}{135} + 0.5$$

$$1.04 \leq K \leq 11.61$$

$$K=1.04 \text{ y } K=11.61$$

**Esfuerzo Vertical ( $\sigma_v$ ):**

$$\sigma_v = D * g * Z$$

$$\sigma_v = (0.026 \text{ MN/m}^3) * (135 \text{ m})$$

$$\sigma_v = 3.51 \text{ MN/m}^2$$

$$\sigma_v = 3.51 \text{ MPa}$$

**Esfuerzo Horizontal ( $\sigma_H$ ):**

Como la excavación del refugio minero no es a gran profundidad, para excavaciones que no superen los 250 m se usa el K de menor valor.

Para K = 1.04:

$$\sigma_H = K * \sigma_v$$

$$\sigma_H = 1.04 * 3.51 \text{ MPa}$$

$$\sigma_H = 3.65 \text{ MPa}$$

Para K = 11.61

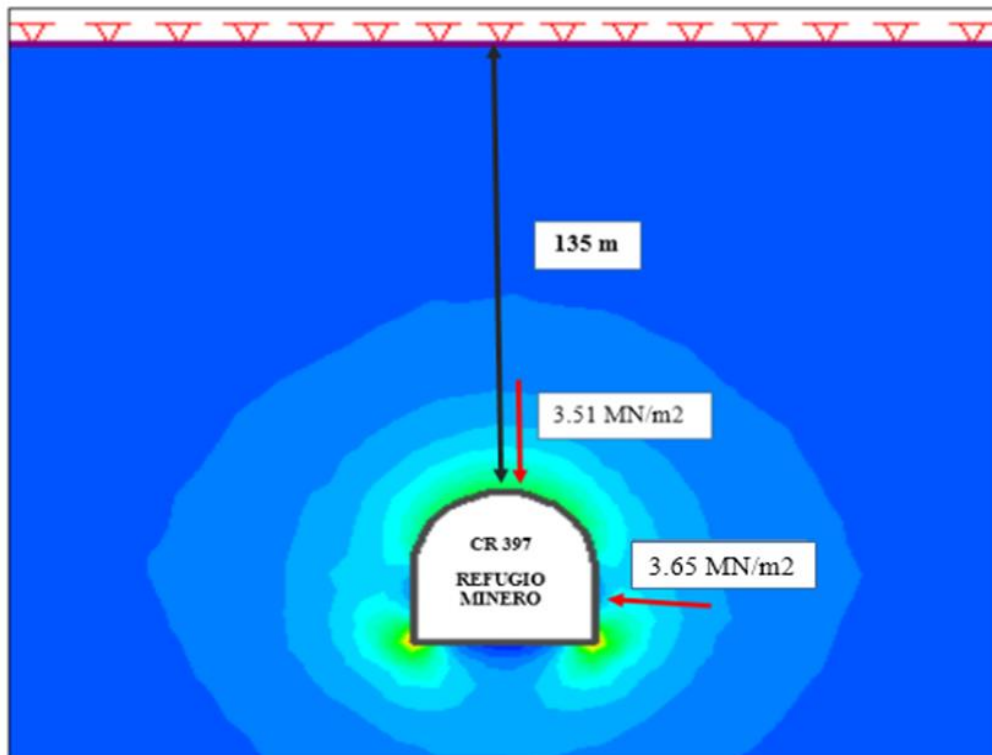
$$\sigma_H = K * \sigma_v$$

$$\sigma_H = 11.61 * 3.51 \text{ MPa}$$

$$\sigma_H = 40.75 \text{ MPa}$$

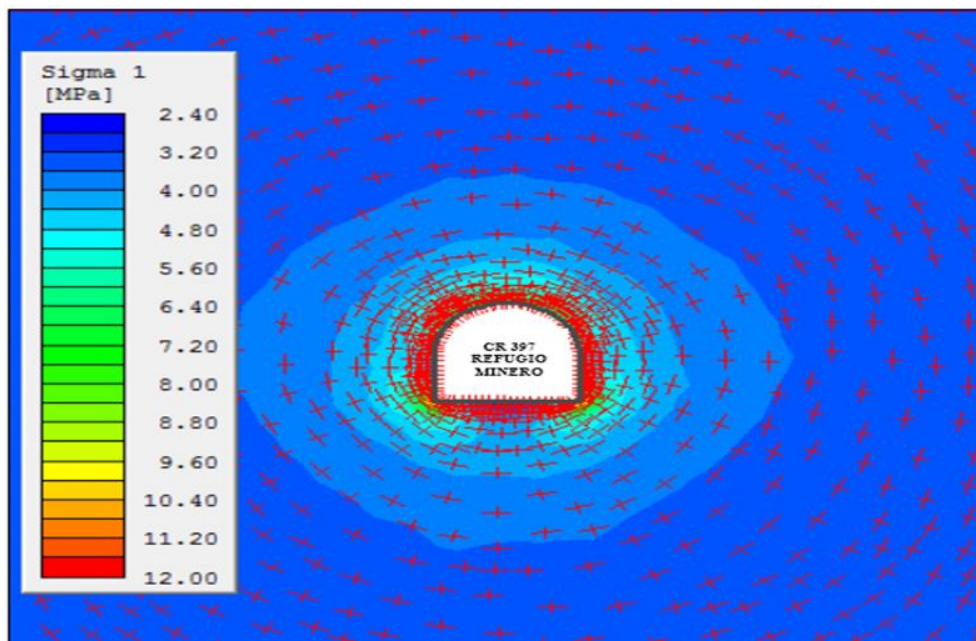
**Nota:** Los valores de K están por encima de 1, entonces los esfuerzos en el macizo rocoso a una profundidad de 135 m. se consideran iguales.

**Figura 5-7:** Diagrama de los Esfuerzos Vertical y Horizontal Respecto a la Excavación CR 397.



**Fuente:** Elaboración Propia.

**Figura 5-8:** Comportamiento de los Esfuerzos Respecto al Contorno de la Excavación CR 397.



**Fuente:** Elaboración Propia.

## 5.6 SOSTENIMIENTO DEL REFUGIO MINERO

Se realizó el análisis que permita determinar el tipo de sostenimiento a emplearse, esto con el objetivo de contener bloques y material alterado propios del macizo rocoso, la evaluación del CR 397 se realizó con una condición especial, ya que la excavación será una labor permanente pero las condiciones de seguridad se tienen que reforzar con sostenimientos activos y pasivos, de tal manera garantice que el refugio minero; no sufrirá algún tipo de daño por temas de factores geomecánicos y de esfuerzo, sino también a factores propios de la operación, como es las voladuras de las labores en avance, cercanas al refugio minero, pero también a factores naturales como es los sismos y terremotos que pueden generar reacomodos y derrumbes en interior mina, por ello es importante el tipo de sostenimiento a emplearse.

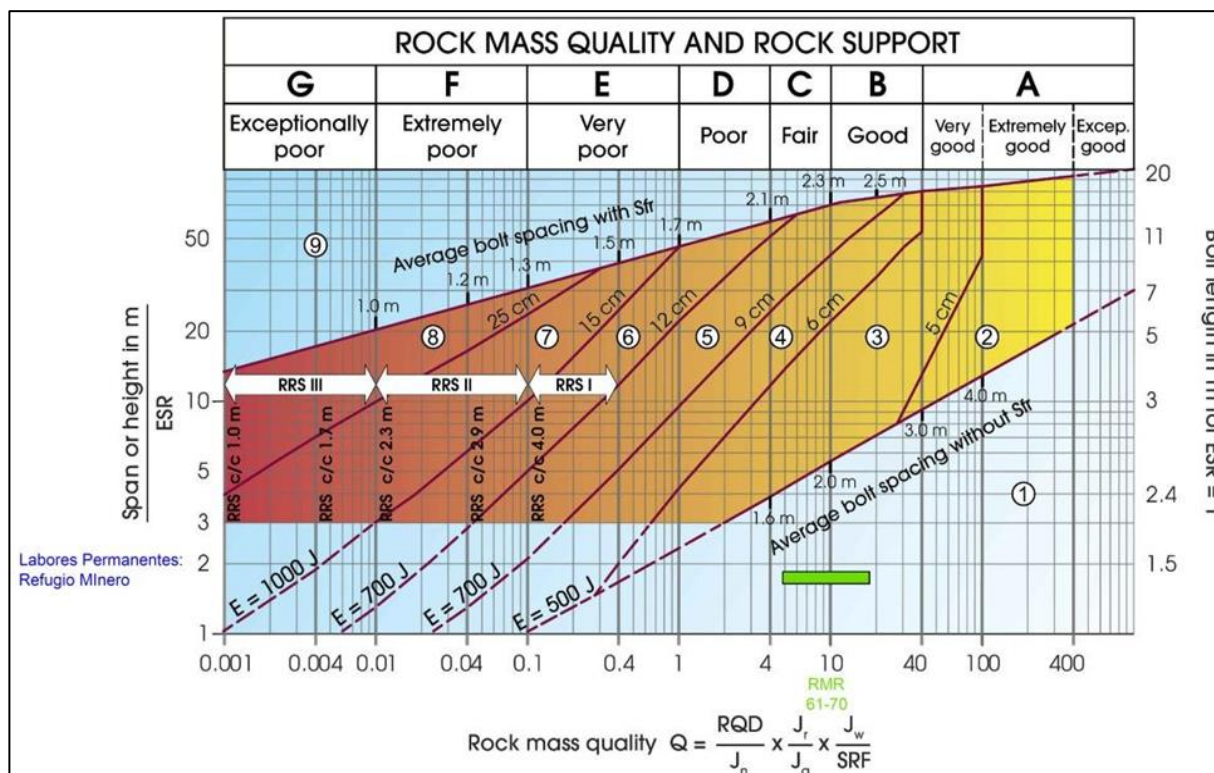
Para definir los sistemas de sostenimiento, se consideró la estimación mediante metodologías empíricas de Grimstad and Barton (2015), que relaciona la calidad del macizo rocoso expresado por el valor de Q de Barton y/o RMR de Bieniawski y la luz de la excavación (S) ajustada por un factor de seguridad según el tipo de excavación (ESR, Excavation Support Ratio). En el plano geomecánico elaborado para el proyecto, se determinaron los rangos de valores de RMRB. De manera que, en la estimación de sostenimiento, se considera como labores temporales, su valor para el parámetro ESR igual a 3 y para labores permanentes es 1.6. En la tabla 5-8 se presenta las dimensiones de luz máxima de diseño, así como también la razón S/ESR.

**Tabla 5-9: Dimensiones de Diseño.**

Labor	Luz Máxima (m)	ESR	LUZ/ESR
Refugio Minero (Crucero 397)	2.7	1.6	1.7

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Figura 5-9:** Gráfica de Grimstad and Barton (2015), a Partir del Cual se Define los Requerimientos de Sostenimiento.



**Fuente:** Departamento de Geomecánica – U.M. Antapite.

A partir del tipo de labor, calidad de macizo rocoso, se define el tipo de sostenimiento a emplearse, de acuerdo a los estándares establecidos en la cartilla Geomecánica de Sierra Antapite.

El sostenimiento activo que se va a colocar en la excavación del refugio minero, se colocara en dimensiones menores a lo que indica el análisis o recomendación geomecánica, ya que las condiciones de sostenimiento, garantizara que el macizo rocoso este estable y no se pueda generar alguna condición de riesgo en el refugio minero.

Se colocarán mallas electrosoldadas para evitar la caída de las rocas y así mismo se colocarán geomembranas para evitar la filtración del agua, que puede dañar la infraestructura del refugio minero, acelerando su inoperatividad del refugio.

**Tabla 5-10: Tabla Geomecánica RMR de la Unidad Minera Sierra Antapite S.A.C.**

TABLA GEOMECANICA RMR							TIPO DE SOSTENIMIENTO		
RIESGO DE ESTABILIDAD	CODIGO DE COLORES	CATEGORIA	DESCRIPCION CLASE DE ROCA	VALUACION SEGUN RMR	GSI	GRADO DE ESTABILIDAD	AVANCES (PREPARACIONES Y EXPLORACION Y DESARROLLO)		EXPLOTACION (TAJEOS)
							TEMPORALES	PERMANENTES	
RIESGO BAJO		II A	BUENA A	71 - 80	LF/B	ESTABLE	Perno de fricción ocasional o puntual	Perno de fricción ocasional o puntual	Perno de fricción ocasional o puntual
		II B	BUENA B	61 - 70	LF/R, F/B		Perno de fricción espaciados a 1.80m x 1.80m en forma de rombo	Perno de fricción espaciados a 1.80m x 1.50m en forma de rombo	Perno de fricción espaciados a 1.80m x 1.80m en forma de rombo
RIESGO MEDIO		III A	REGULAR A	51 - 60	F/R, MF/B	MED. ESTABLE A MED. INESTABLE	Perno de fricción espaciados a 1.50m x 1.50m en forma de rombo	Perno de fricción espaciados a 1.50m x 1.20m en forma de rombo	Perno de fricción espaciados a 1.50m x 1.50m en forma de rombo
		III B	REGULAR B	41 - 50	F/P, MF/R, IF/B		Perno de fricción espaciados a 1.50m x 1.10m en forma de rombo mas malla electrosoldada	Perno de fricción espaciados a 1.20m x 1.00m en forma de rombo mas malla electrosoldada	Perno de fricción espaciados a 1.50m x 1.10m en forma de rombo mas malla electrosoldada
RIESGO ALTO		IV A	POBRE A	31 - 40	F/MP, MF/P, IF/R	INESTABLE	Cuadros de madera espaciados a 1.20m con todos sus elementos de seguridad	Cuadros de madera espaciados a 1.00m con todos sus elementos de seguridad	Cuadros de madera espaciados a 1.20m con todos sus elementos de seguridad.
		IV B	POBRE B	21 - 30	MF/MP, IF/P		Cuadros de madera espaciados a 1.00m con todos sus elementos de seguridad	Cuadros de madera espaciados a 0.80m con todos sus elementos de seguridad	Cuadros de madera espaciados a 1.00m con todos sus elementos de seguridad.
		V	MUY POBRE	< 20	IF/MP, T/P, T/MP	MUY INESTABLE	Cuadros de madera espaciados a 0.80m con todos sus elementos de seguridad	Cuadros de madera espaciados a 0.50m con todos sus elementos de seguridad	Cuadros de madera espaciados a 0.80m con todos sus elementos de seguridad.
<b>NOTA:</b> En zonas de intersecciones aplicar estándar de sostenimiento en intersecciones.							<b>IMPORTANTE:</b> Cualquier modificación o combinación del sostenimiento se realizara bajo evaluación y recomendación del Área de Geomecánica.		

**Fuente:** Departamento de Geomecánica – U.M. Antapite.

De lo anteriormente analizado el sostenimiento recomendado por la tabla geomecánica correspondería a pernos de fricción espaciados a 1.80m x 1.50m en forma de rombo y sistemático, pero por ser el refugio minero se recomienda realizar el sostenimiento con pernos de fricción espaciados a 1.20m x 1.0m + malla electrosoldada, como sostenimiento definitivo.

**Fotografía 03: Sostenimiento del CR 397 NV 3240 con Pernos Split Set y Malla Electrosoldada.**



**Fuente:** Departamento de Geomecánica – U.M. Antapite.

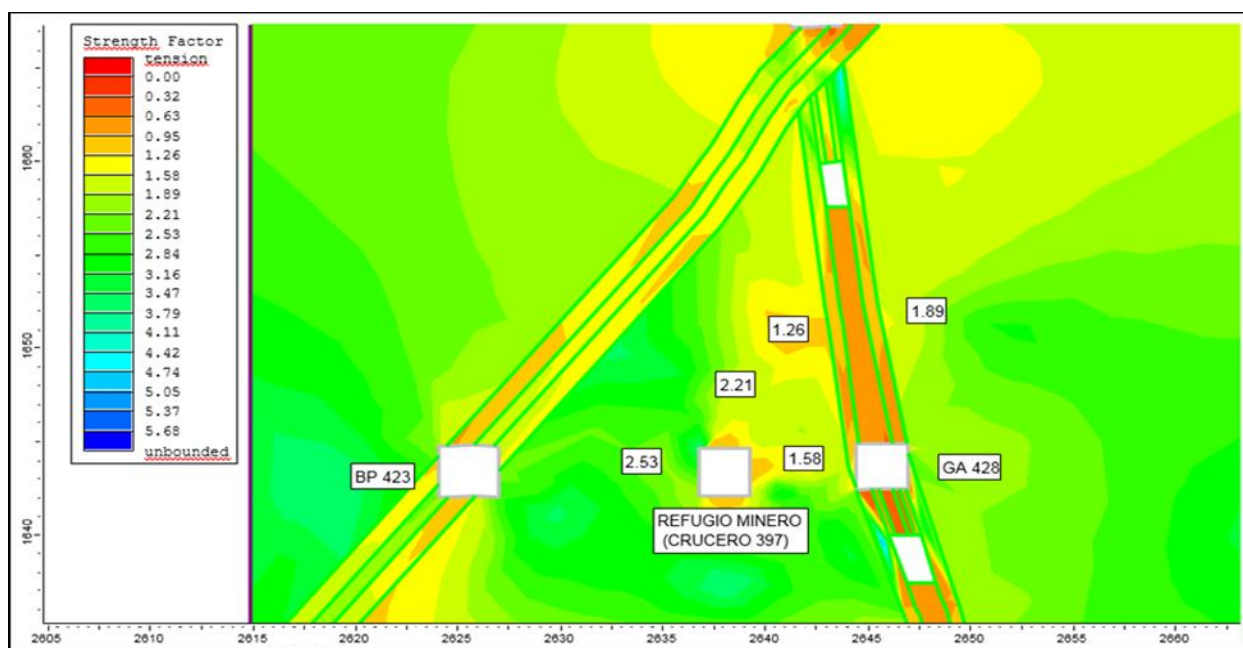


Si bien, los estándares nos entregan una buena referencia de sostenimiento, deben ser usadas sólo como guía, puesto que el diseño de sostenimiento siempre debe estar sujeto a las condiciones locales de la excavación, por lo anterior, es fundamental realizar un estricto seguimiento y control geomecánico mediante mapeo y proyección estructural a medida que se desarrolla las labores.

## 5.7 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CONTROLADA POR ESFUERZOS Y DEFORMACIONES APLICANDO EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM)

Para analizar la estabilidad controlada por los esfuerzos se han realizado modelamientos numéricos esfuerzo/deformación utilizando el software PHASE2 versión 8 de la empresa Rocscience, estos análisis han estado dirigidos a evaluar las condiciones de estabilidad local y global de las excavaciones del refugio minero a las labores que se encuentra adyacentes. Los resultados del análisis de estabilidad controlada por los esfuerzos se presentan a continuación:

**Figura 5-10:** Isovalores de Factores de Seguridad (F.S) en Condiciones Actuales del Refugio Minero (crucero 397).

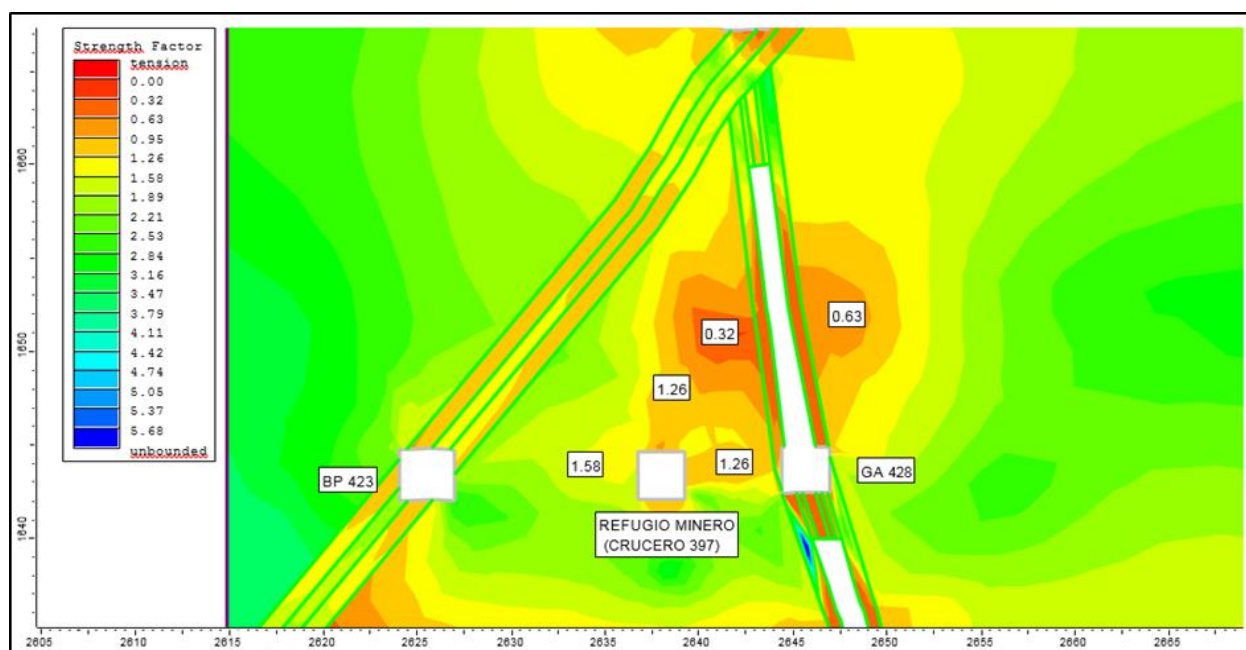


**Fuente:** Departamento de Geomecánica – U.M. Antapite.



En la figura 5-10 se puede observar los Isovalores de Factores de Seguridad (F.S) en condiciones actuales del Refugio Minero (cruce 397) con respecto a la explotación que de la Veta Pampeñita (GA 428) la cual se encuentra relleno. Se aprecia valores superiores a la unidad ( $FS > 1$ ) en el contorno de la excavación para labores permanentes, se mantiene la estabilidad del mismo.

**Figura 5-11:** Isovalores de Factores de Seguridad (F.S) en el Hipotético Caso que la Explotación de la Veta Pampeñita (GA 428) Este sin Relleno.



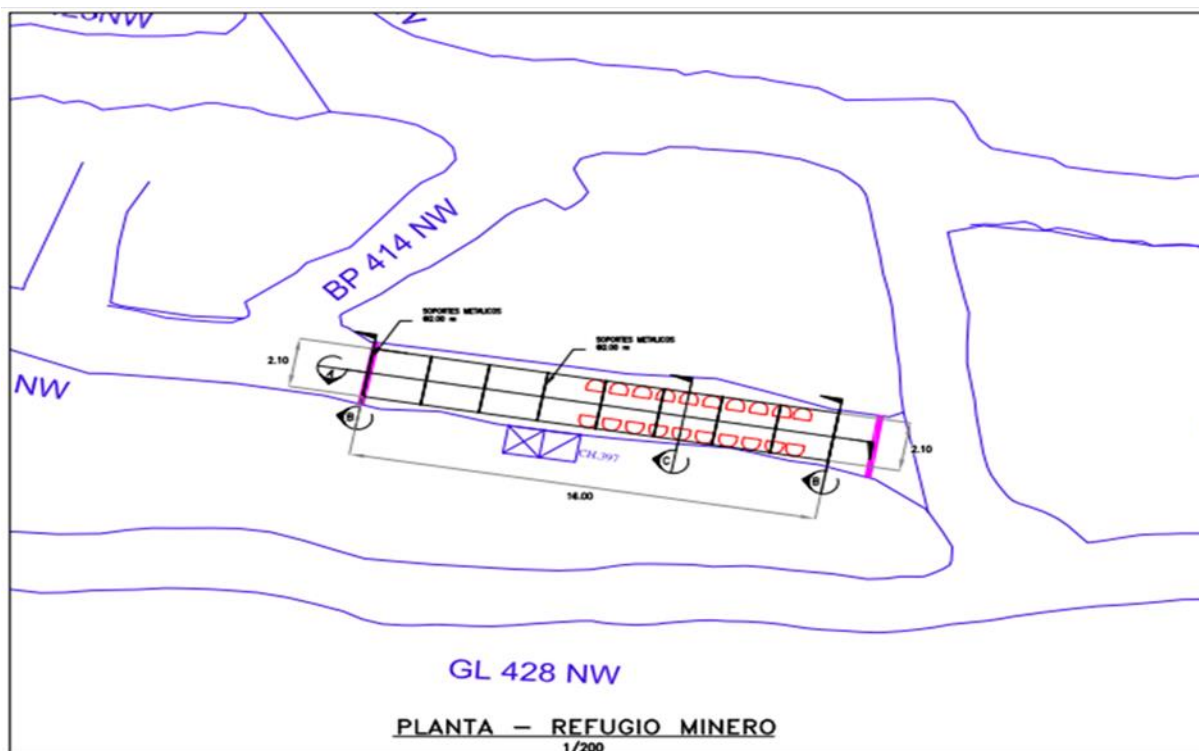
**Fuente:** Departamento de Geomecánica – U.M. Antapite.

En la figura 5-11 se observa los Isovalores de Factores de Seguridad (F.S) en el hipotético caso que la explotación de la Veta Pampeñita (GA 428) este sin relleno con respecto al Refugio Minero (cruce 397). Se aprecia valores superiores a la unidad ( $FS > 1$ ) en el contorno de la excavación para labores permanentes, se mantiene la estabilidad del mismo, esto significa que, si por alguna razón las aberturas de la veta Pampeñita no se rellenasen, se garantiza la estabilidad del refugio minero, teniendo este indicador, de puede garantizar la construcción del refugio minero fijo en el CR 397 en el NV 3240 ya que garantiza la estabilidad y seguridad.

## 5.8 DISEÑO DEL REFUGIO MINERO FIJO

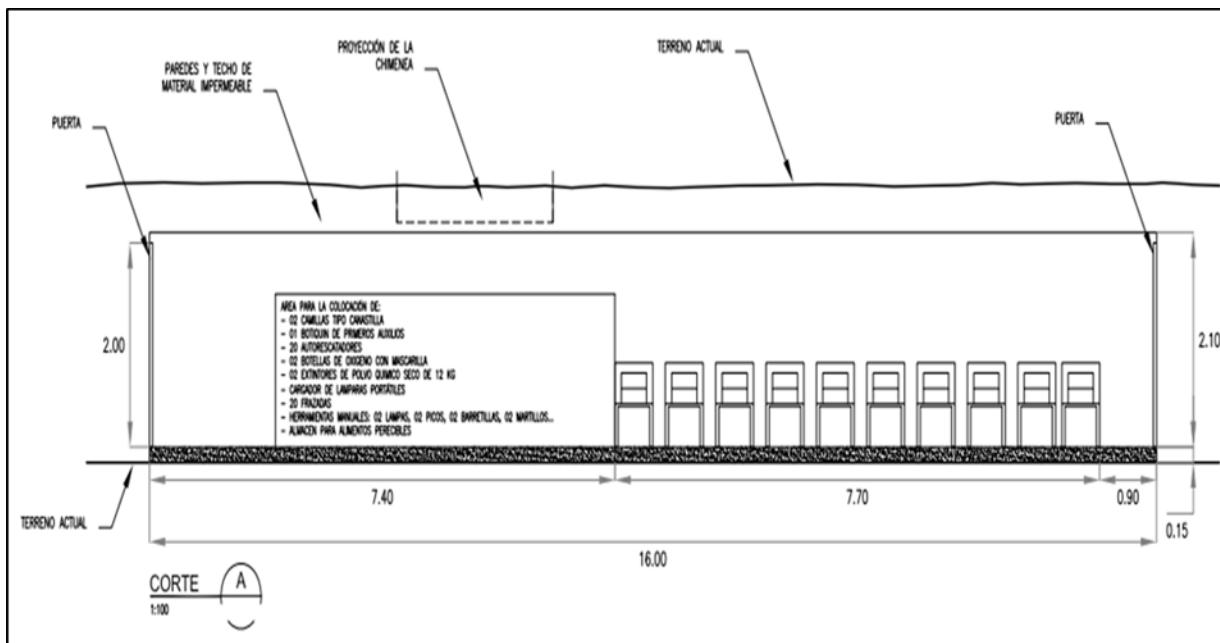
El diseño del refugio minero fijo fue elaborado por el área de Planeamiento de la unidad minera Antapite, según el Anexo N° 19 del RSSO, estos cumplen con lo exigido por la norma, donde el área del refugio minero solo está dada para el aforo de 20 personas, la ubicación del refugio minero obedece también a la cercanía del avance de las operaciones mineras, ya que esta debe ser ubicado lo más cerca posible para una rápida evacuación en caso de siniestros y a la evaluación de riesgos que se realizó en la unidad minera tomando en cuenta los antecedentes que se tenían de derrumbes, huaycos en la unidad minera. La construcción se dio de acuerdo al diseño mostrados en los gráficos.

*Figura 5-12: Diseño del Refugio Minero – Vista en Planta.*



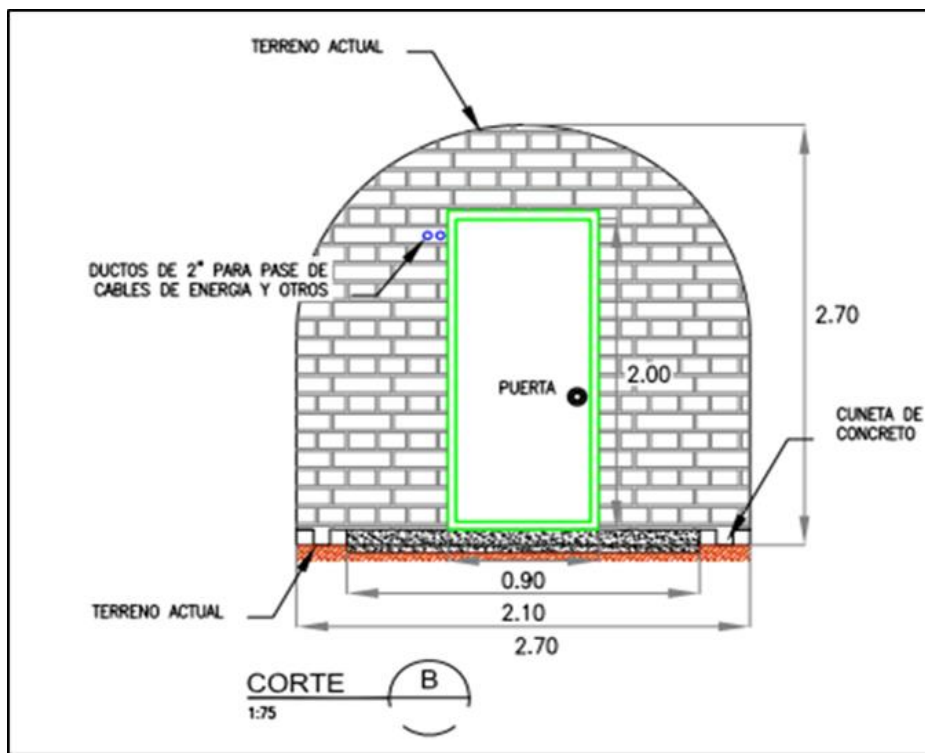
**Fuente:** Departamento de Planeamiento – U.M. Antapite.

Figura 5-13: Diseño del Refugio Minero – Vista Longitudinal.



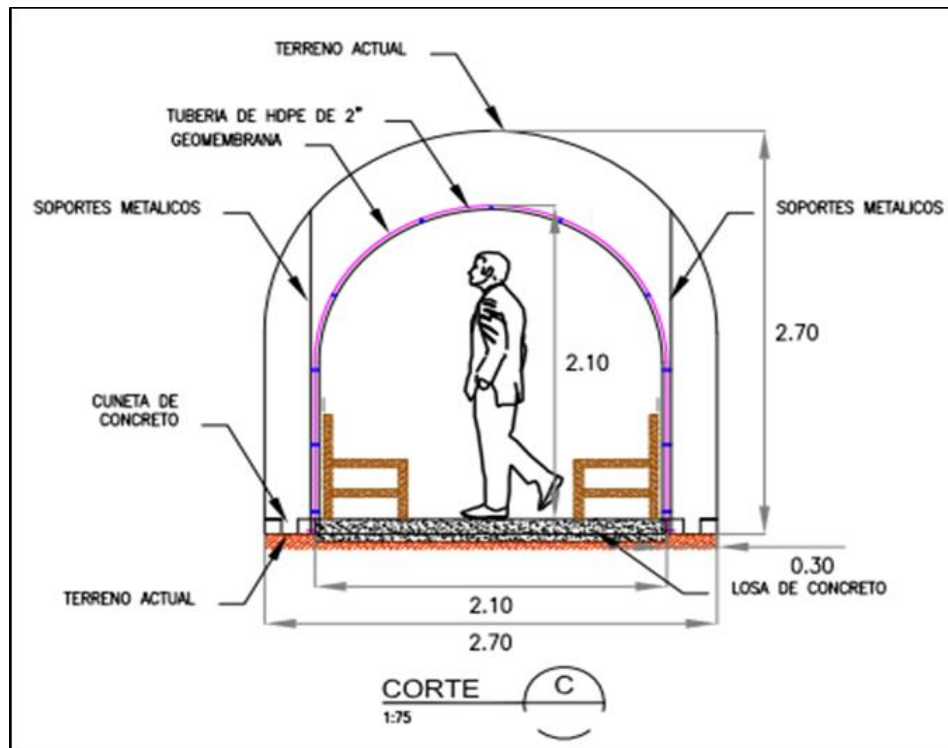
Fuente: Departamento de Planeamiento – U.M. Antapite.

Figura 5-14: Diseño del Refugio Minero – Vista Transversal.



Fuente: Departamento de Planeamiento – U.M. Antapite.

**Figura 5-15:** Vista del Refugio Minero Respecto a la Altura de la Persona.



**Fuente:** Departamento de Planeamiento – U.M. Antapite.

## 5.9 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL REFUGIO MINERO

### 5.9.1 Costos Fijos

Los costos fijos son aquellos cuyo pago es asumido por la empresa de manera constante, que no cambian su valor, independientemente de su participación dentro del proceso de la construcción del refugio minero fijo, a estos costos se les conoce como fijos porque no varían ante los cambios de la producción en este caso la construcción del refugio minero fijo y estos son:

- Pago de mano de obra del maestro.
- Pago de mano de obra del oficial.
- Pago de mano de obra del peón.
- Compra de herramientas y equipos

- Consumo de energía.

**Tabla 5-11:** Tabla de Costos Fijos de la Construcción del Refugio Minero Fijo.

Item	Descripcion	Und	Cantidad	Horas Trabajadas	Días Programados	Precio S/	Total S/
<b>01</b>	<b>MANO DE OBRA</b>						
01.01	Peón	Und	3.00	9.00	16.00	12.03	5,196.96
01.02	Oficial	Und	2.00	9.00	16.00	13.43	3,867.84
01.03	Maestro	Und	2.00	9.00	16.00	16.80	4,838.40
<b>02</b>	<b>HERRAMIENTAS Y EQUIPOS</b>						
02.01	Lampa	Und	2.00		4.00		
02.02	Pico	Und	2.00		5.00		
02.03	Martillo	Und	1.00		5.00		
02.04	Escuadra	Und	1.00		5.00		
02.05	Wincha	Und	1.00		5.00		
02.06	Carretilla	Und	2.00		5.00		
02.07	Barreno	Und	2.00		5.00		
02.08	Corta Sierra	Und	2.00		5.00		
02.09	Cisalla	Und	1.00		5.00		
02.10	Nivel de Mano	Und	1.00		5.00		
02.11	Paneles	Und	6.00		3.00		
02.12	Manguera de Agua	Und	1.00		3.00		
02.13	Regla de Nivel	Und	1.00		3.00		
02.14	Trompito	Und	1.00		3.00		
02.15	Tortol	Und	3.00		5.00		
02.16	Tira Línea	Und	1.00		5.00		
	Costo Directo					S/	<b>13,903.20</b>
	Costos Generales (17.5%)						2,433.06
	Utilidad (10.00%)						1,390.32
	<b>COSTO TOTAL</b>					S/	<b>17,726.58</b>

**Fuente:** Elaboración Propia.

### 5.9.2 Costos Variables

Los costos variables son aquellos costos que se modifican o varían en función a la producción que se desarrolla en un proyecto, y los costos variables en la construcción del refugio minero fijo son:

- Compra de materiales.
- Costo de los insumos de implementación.

**Tabla 5-12:** Tabla de Costos Variables de la Construcción del Refugio Minero Fijo.

<b>ID</b>	<b>Descripción</b>	<b>Medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (S/)</b>	<b>Precio Total (S/)</b>
1	CEMENTO	bol	110.00	27.00	2970.00
2	HORMIGON	m3	12.00	25.00	300.00
3	PIEDRA DE 1/2	m3	10.00	15.00	150.00
4	ARENA	m3	4.00	14.00	56.00
5	LADRILLO KING KONG DE 18 HUECOS	Unid	580.00	1.80	1044.00
6	CLAVO 2"	Kg	3.00	18.00	54.00
7	CLAVO 4"	Kg	2.00	15.00	30.00
8	CLAVO 3"	kg	5.00	16.00	80.00
9	ALAMBRE N°16	Kg	10.00	6.00	60.00
10	ALAMBRE N°8	Kg	5.00	8.00	40.00
11	CAL	KG	2.00	12.00	24.00
13	GEO MEMBRANA	ml	25.00	36.00	900.00
14	PINTURA ESMALTE CENTRUFUGA	balde	3.00	45.00	135.00
15	TINNER	gl	3.00	24.00	72.00
16	RODILLO	Unid	2.00	17.00	34.00
17	BROCHAS DE 4"	Unid	3.00	11.00	33.00
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>S/</b>	<b>5,982.00</b>

**Fuente:** Elaboración Propia.

### 5.9.3 Costos Totales

Los costos totales en la construcción del refugio minero fijo será la suma del costo fijo y el costo variable.

$$CT=CF+CV$$

Costo Total del Proyecto = S/ 17,726. 58 + S/ 5,982.00

**Costo total del Proyecto = S/ 23,708.58**

## CONCLUSIONES

1. La importancia de realizar la evaluación geomecánica detallada del CR 397 del NV 3240, obedece a que el refugio minero es una estación permanente en interior mina y de protección de los trabajadores frente a siniestros que podrían ocurrir y la construcción debe realizarse de acuerdo a los criterios técnicos para la durabilidad de la estación de refugio minero fijo.
2. De acuerdo al análisis de estabilidad controlada por esfuerzos y deformaciones simulado en el software PHASE 2, el refugio minero fijo muestra factores de seguridad por encima de 1.26 el con respecto a la explotación de la GA 428 con relleno o sin relleno mostrando estabilidad del CR 397 den NV 3240.
3. La construcción del refugio minero contribuye a los objetivos de Seguridad y Salud Ocupacional de la Unidad Minera Sierra Antapite reforzando el Plan de Preparación y Respuesta Ante Emergencias en interior mina.
4. La luz del refugio minero es de 2.7 m donde los cálculos geomecánicos nos da recomendaciones que se debe realizar sostenimiento con pernos de fricción espaciados a 1.80 m x 1.50 m sim embargo por ser un refugio minero se cambia a pernos de fricción espaciados a 1.20 m x 1.00 m + malla electrosoldada, esto ayuda a mejorar la estabilidad del refugio minero y su seguridad.

## RECOMENDACIONES

1. Si se requiere construir otra estación de refugio minero de acuerdo al avance de las operaciones, se recomienda realizar una evaluación geomecánica diferente ya que las características de los macizos rocosos son diferentes en cada labor.
2. Para poder mantener limpio y perdurable la estación de refugio minero, se recomienda realizar un PETS de Uso de la Estación de Refugio Minero, tener un programa de mantenimiento de los elementos del refugio minero, así mismo para su correcta utilización del refugio se debe capacitar a los trabajadores en su uso y mantenimiento de la estación del refugio minero.
3. Se recomienda construir una segunda estación de refugio minero ya que para la población del personal en interior mina que se tiene no llegaría a refugiar a todos, ya que el aforo es de 20 personas del refugio y la población de personal por guardia es de 70 personas aproximadamente.
4. Cuando se realiza la construcción de un refugio minero fijo emplazado en un tipo de roca buena con RMR 61 se recomienda utilizar sostenimiento con pernos de fricción espaciadas 1.20 m x 1.00 m + malla electrosoldada ya que el refugio minero es una estación de resguardo y por ello se requiere reforzar la estabilidad.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Plan de Minado (2020). Departamento de Planeamiento & Ingeniería de la Unidad Minera de Antapite

Valdivia, J., (2000). Mina Antapite: Vetas de bonanza y alta ley de Oro. X Congreso Peruano de Geología, SGP, resúmenes.

BMB Consulting Perú. (2009). Informe de evaluación para la implementación de refugios mineros en la Unidad de Producción Huarón.

(Pedro Ramirez (2004). Mecánica de Rocas – Fundamentos e Ingeniería de Taludes.

Miguel, M. (2001). Mineralogía de Veta y alteraciones relacionada a Zonas Auríferas Mina Antapite. Huaytara, Huancavelica: Informe Interno de Cia de minas Buenaventura.

Ministerio de Energía y Minas D.S. No 024-2016-EM, “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería” y su modificatoria el D.S. No 023-2017-EM.

Jorge Acosta - INGEMMET (2011). Memoria Sobre la Geología Económica de la Región Huancavelica.

OSINERGMIN (2017). Guía de Criterios Geomecánicos Para Diseño, Construcción, Supervisión y Cierre de Labores Subterráneas

# ANEXOS

**ANEXO 1:**  
**FOTOGRAFIAS DEL REFUGIO MINERO FIJO.**



**Fotografía 01:** CR 397 del NV 3240 reforzado con pernos Split set y malla electrolosdada preparado para la construcción del refugio minero.



**Fotografía 02:** Estado del refugio minero fijo finalizado la construcción, vista de la entrada principal señalizado y herméticamente construido.



**Fotografía 03:** Interior del refugio minero fijo culminado e implementado con todos los elementos exigido por el Anexo 19 del RSSO.

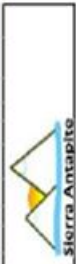


**Fotografía 04:** Fiscalización de OSINERGMIN del área de geomecánica al refugio minero fijo donde no se encontraron no conformidades ni desvíos durante la fiscalización,

## **ANEXO 2:**

**DATA DEL MAPEO GEOMECANICO POR CELDAS.**





LUGAR:  
NIVEL:  
LABOR:

**PAMPENITA**  
3240  
**CRUCERO 397**

HOJA No: **01**  
E GICHE  
FECHA: 3-mar-19

N° ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO	HASTA	JUNTA	ROD	VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)	
	SEMI BOAZIM BT, GR B BZ	BILZAMIENTO					CLASIFICACION DE BEHNSM (1989)	VALOR ADOON
E-01					2	98		
A	%	B	%	C	3	08	RANGO DE VALORES	
	TPO DE ROCA				4	94	30-100 (7)	25-50 (4)
	FREC. FRACTURA				5	91	50-75 (13)	25-50 (8)
	DESC. / mt				6	88	0.5-0.8 (10)	<0.06 (5)
	OBSERVAC.				7	84	3-10m (2)	10-20 m (1)
	RELLENO				8	81	0.1-1.5mm (4)	> 20 m (0)
	ESPAZAMIENTO				9	77	Lisa (1)	Espejo de falla (0)
	BILZAMIENTO				10	74	Duro < 5mm (2)	Suave > 5 mm (0)
	TPO				11	70	Mod Intemp. (3)	Descompuesta (0)
	ESPAZAMIENTO				12	68	Mojado (7)	Playa (0)
	RELLENO				13	63	Regular (-5)	Muy Desfav (-12)
	ESPAZAMIENTO				14	59	Desfavorable (-10)	Muy Desfav (-12)
	RELLENO				15	56		
	ESPAZAMIENTO				16	52		
	RELLENO				17	49		
	ESPAZAMIENTO				18	46		
	RELLENO				19	43		
	ESPAZAMIENTO				20	41		

VALOR TOTAL RMR (Suma de vibración 1 a 6) =		CLASE DE MACIZO ROCOSO	
61	20-0	I	MUY BUENA
61	20-0	II	BUENA
61	20-0	III	REGULAR
61	20-0	IV	MUY MALA
61	20-0	V	NO MUY MALA

PARAMETRO	VALOR ESTIMADO	VALOR ADOON	
R COMPRESION UNIAIAL (Nba)	>250 (16)	100-200 (12)	25-50 (4)
ROD %	90-100 (20)	75-90 (17)	25-50 (8)
ESPAZAMIENTO (m)	<1m long. (6)	0.5-2 (15)	<0.06 (5)
CONDICION ALBERTURA	Cerrada (6)	1-3 m Long. (4)	10-20 m (1)
DE RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	<0.1 mm apart. (5)	1-5 mm (1)
RELLENO	Limpia (6)	Rugosa (5)	Espejo de falla (0)
INTENSIDAD	Sana (6)	Duro < 5mm (4)	Suave > 5 mm (0)
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Lig. Intemp. (5)	Descompuesta (0)
AJUSTE POR ORIENTACION	Muy Favorable (0)	Humedo (10)	Playa (0)
		Favorable (-2)	Muy Desfav (-12)



UBICACION DEL TIPO DE FALLA

M	MINERAL
Cz	CALIZA
R	POF. AND. DACT.
Bk	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

REYES UNIFORMES Y RIFUGIOS

D	SISTEMA DE DACLASA
F	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
M	MICRO FALLA

GRAFICA

MARTILLO DE SCHMIDT  
90-48, 48-48, 42-48, 50, 50, 52, 52, 52

OBSERVACIONES





**ANEXO 3:**  
**RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE  
MECANICA DE ROCAS.**

## ENSAYOS DE LABORATORIO

Tecsup recibió de Sierra Antapite S.A.C. Bloques de roca de diferentes dimensiones con el objetivo de determinar los parámetros físicos mecánicos de la roca.

En líneas generales se siguieron los siguientes procesos.

MEDIDAS DE BLOQUES DE ROCA: 20 x 20 x 10

NORMAS DE ENSAYO:

- ASTM D2216-98
- ISRM Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties
- ASTM D2938
- ISRM Suggested Method for Determination of the Uniaxial Compressive Strength of Rock Materials
- ASTM D 2664-86
- ISRM Suggested Methods for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression
- ASTM D 3148-86
- ISRM Suggested Method for Determining Deformability of Rock Materials in Uniaxial Compression.
- Cortado y pulido de la muestra.

### ENSAYO DE PROPIEDADES FISICAS

Sondaje	Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	D. Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	D. Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	P.A. (%)	Absorción (%)	P.E.A. (KN/m <sup>3</sup> )
ANDH17-02	PF-01	6.09	3.09	2.70	2.72	1.89	0.70	26.45
ANDH17-08	PF-02	6.06	1.79	2.62	2.62	0.54	0.21	25.63

### ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

Sondaje	Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
ANDH17-02	CS-01	6.08	11.72	12287.72	421.25	41.28
ANDH17-08	CS-02	6.08	12.11	10059.16	324.52	31.80

\* Estandarizado según Protodyakonov (L/D=2)

Av. Cascanueces 2221  
 Santa Anita, Lima 43 - Perú  
 informeslima@tecsup.edu.pe

Tel.: (51-1) 317-3900  
 Fax: (51-1) 317-3901  
 www.tecsup.edu.pe

**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL**

Sondaje	Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga (Kg)	Resistencia (MPa)	Confinamiento (MPa)	mi	Ang. Fricción (°)	Cohesión (MPa)
ANDH17-02	TX-01	6.09	11.93	14705.39	49.34	2	10.2	39.92	9.43
	TX-02	6.08	11.55	17623.98	59.10	4			
	TX-03	6.09	12.19	20118.33	67.69	6			
ANDH17-08	TX-01	4.93	10.15	7636.38	39.34	0	6.51	35.91	10.05
	TX-02	6.07	9.32	14434.49	47.10	2			
	TX-03	6.07	10.74	16419.74	54.71	4			

**ENSAYO DE CONSTANTES ELASTICAS**

Sondaje	Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	M. Young (GPa)	R. Poisson
ANDH17-02	CE-01	6.07	12.23	5.51	0.34
ANDH17-08	CE-02	6.07	11.12	3.29	0.34

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

Sondaje	Muestra	Área (cm <sup>2</sup> )	Ang. Fricción (°)	Cohesión (MPa)
ANDH17-02	CD-01	15.09	27.64	0.101
ANDH17-08	CD-02	11.90	26.06	0.095

\* Realizado sobre discontinuidad simulada

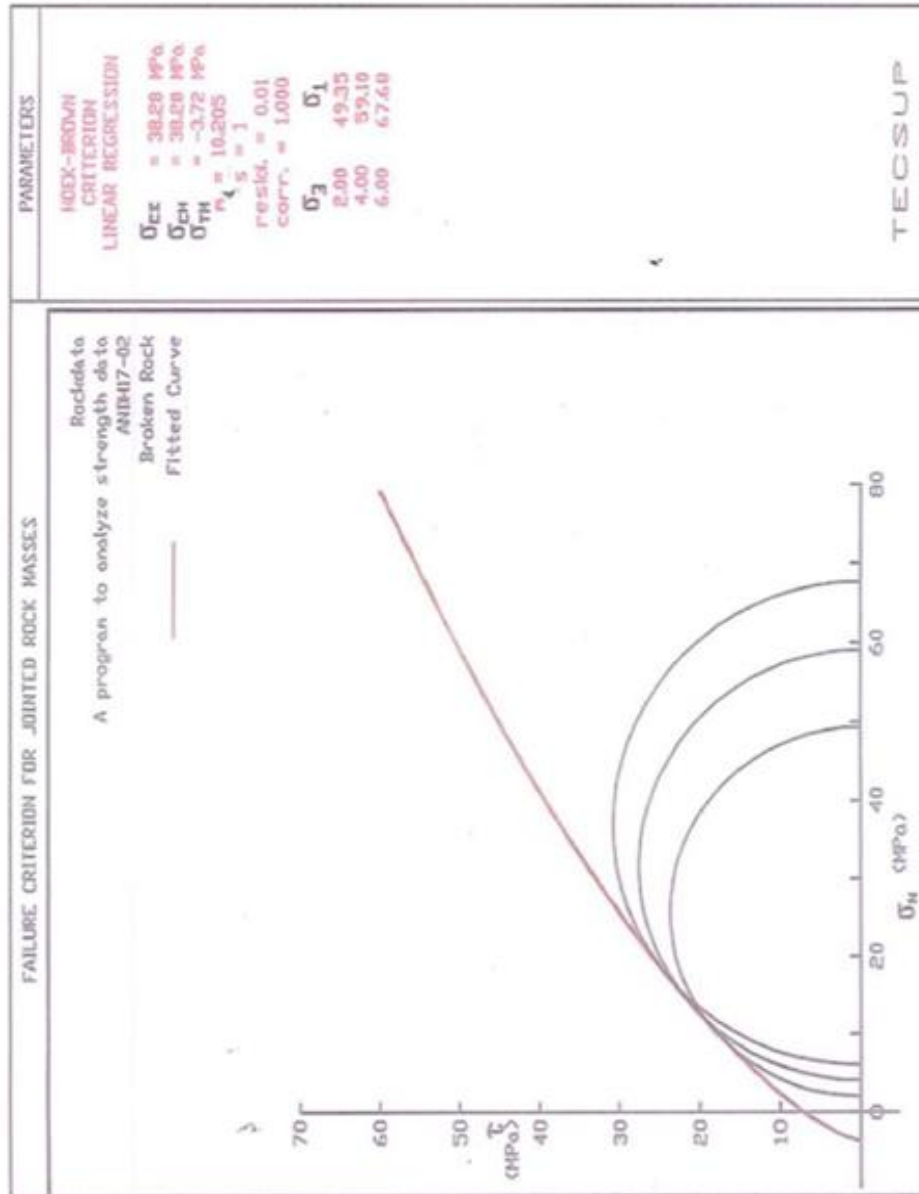
El código de identificación de cada muestra es responsabilidad del solicitante.

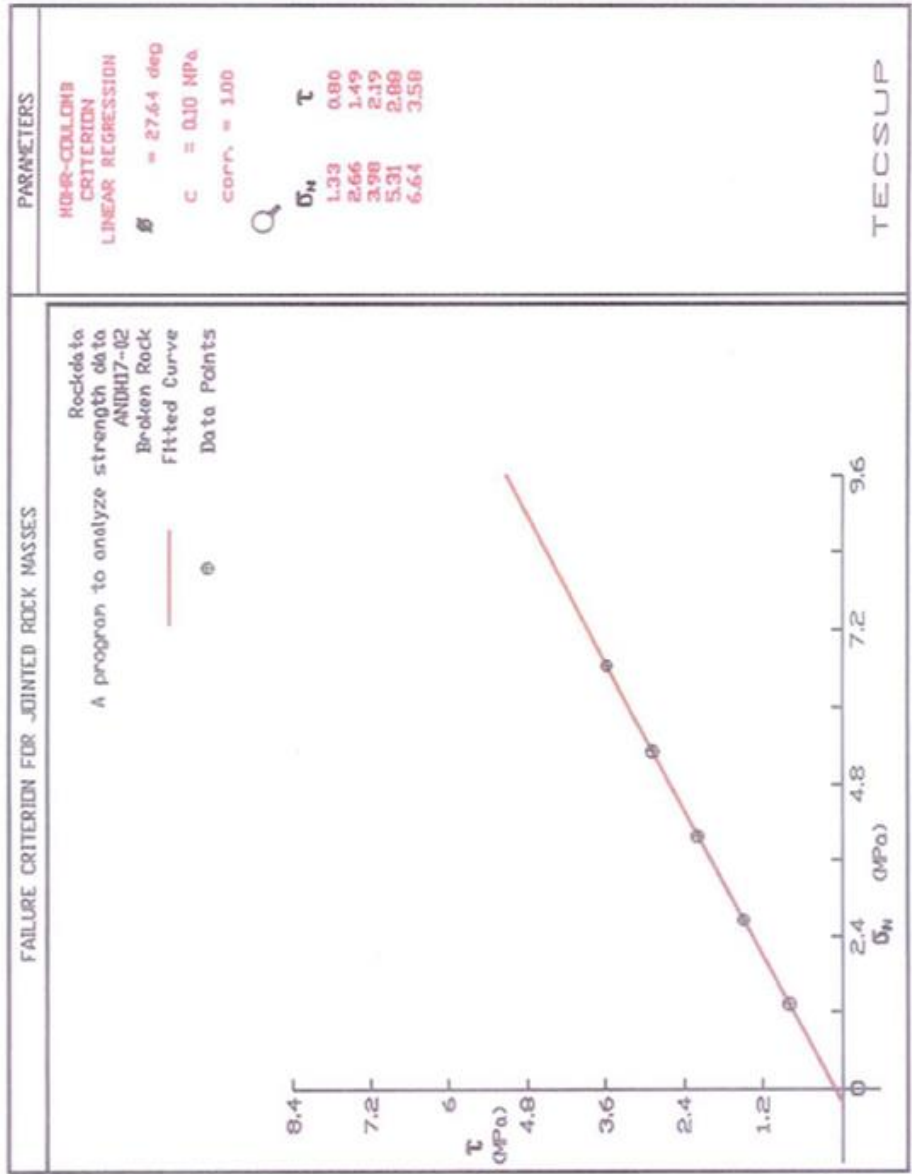
  
 Ing. Jorge Castillo  
 Jefe Dpto. Minería Tecsup

  
 Ing. Elvis Valencia  
 Jefe Laboratorio

Av. Cascapueces 2221  
 Santa Anita, Lima 43 - Perú  
 informeslima@tecsup.edu.pe

Tel.: (51-1) 317-3900  
 Fax: (51-1) 317-3901  
 www.tecsup.edu.pe





Av. Cascanueces 2221  
 Santa Anita, Lima 43 - Perú  
 Informeslima@tecsup.edu.pe

Tel.: (51-1) 317-3900  
 Fax: (51-1) 317-3901  
 www.tecsup.edu.pe

**ANEXO 4:**  
**PLANO GEOMECANICO.**



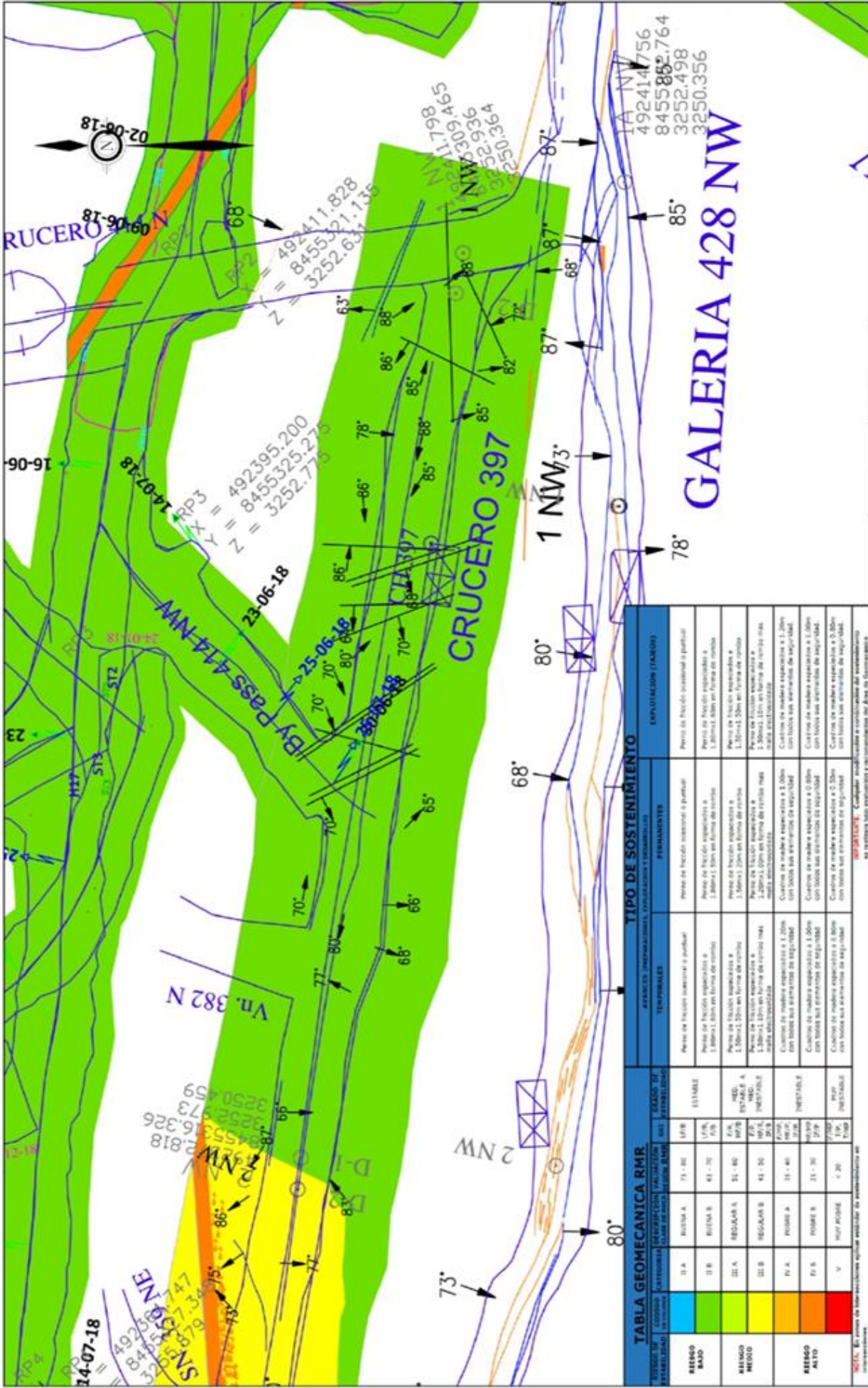


TABLA GEOMECANICA RMR		TIPO DE SOSTENIMIENTO	
RIESGO BAJO	RIESGO MEDIO	RIESGO ALTO	TIPO DE SOSTENIMIENTO
II.A	II.B	II.C	II.D
III.A	III.B	III.C	III.D
IV.A	IV.B	IV.C	IV.D
V			

**SIERRA ANTAPITE S.A.C.**

**PLANO GEOMECANICO**  
REFUGIO MINERO (CRUCERO 397)  
NV 3240

**LEYENDA**

- Falla
- Fracturas
- Buzamiento
- Nv. 3240

**EXPLICACION (TABLAS)**

**APERTURAS, INFERENCIONES, FUNDACIONES Y REPARACIONES**

**TEMPORALES**

**PERMANENTES**

**EXPLICACION (TABLAS)**

**PERSONAS**

**REVISOR** JUAN DE LA CRUZ C. **FECHA** 02/07/2018

**ELABORADOR** DIEGO GUZD **FECHA** 02/07/2018

**REVISOR** DIEGO GUZD **FECHA** 02/07/2018

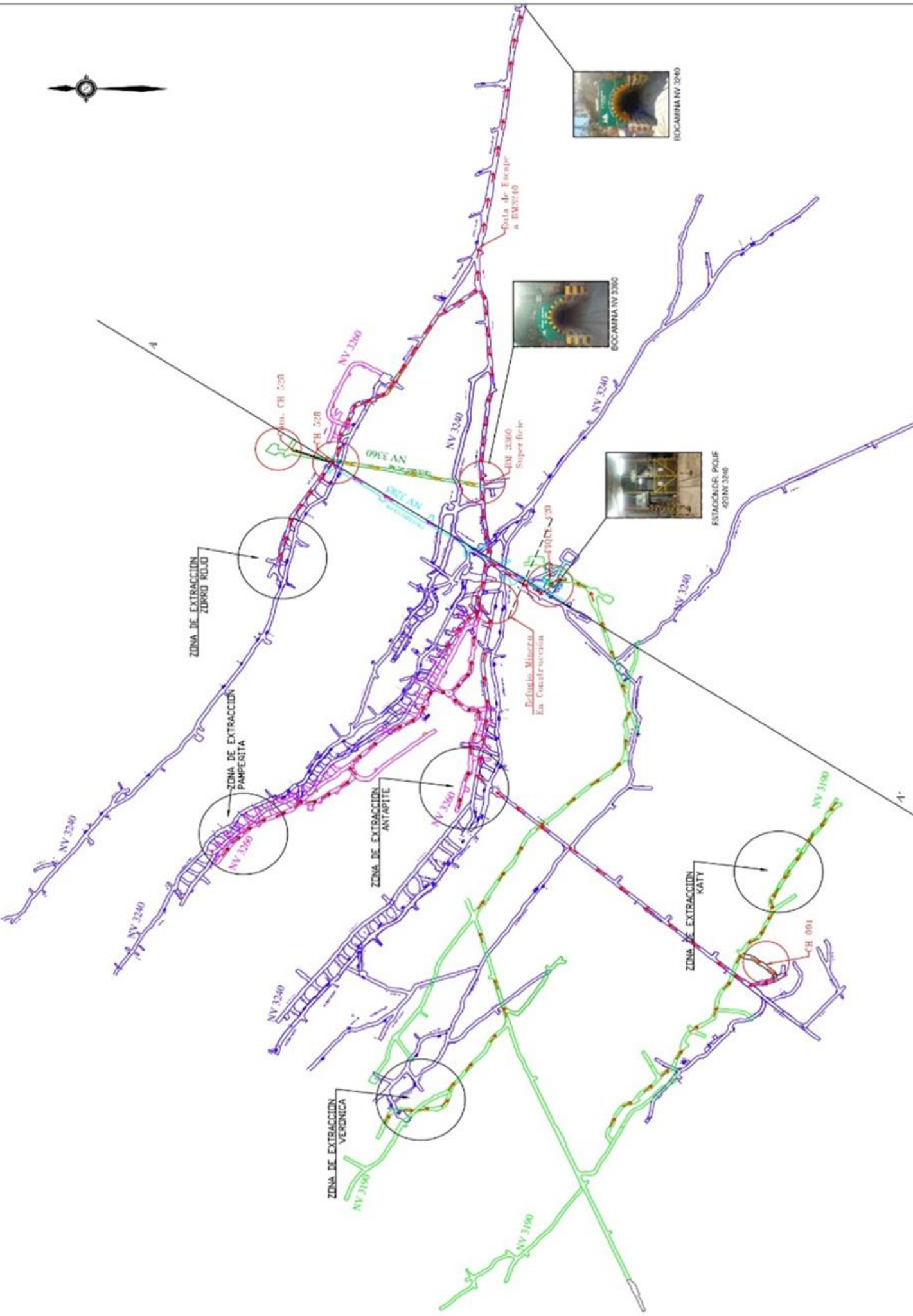
**ELABORADOR** JUAN M. LAMAY **FECHA** 1/200

**SIERRA Antapite**

**ANEXO 5:**

**PLANO DE RUTA DE ESCAPE DE LA U. M. ANTAPITE.**





**SIERRA ANTAPITE S.A.C**

**PLANO DE RUTA DE ESCAPE**

DEFINICION:	DELEGADA
FECHA:	15/07/2019
PROYECTO:	SIERRA ANTAPITE
ESTADO:	EN ESTUDIO
ESCALA:	1/7000



**LEYENDA**

RUTA DE ESCAPE	
NV3190	↑
NV3240	→
NV3285	↑
NV3360	→

RUTA DE ESCAPE	
NV3190	—
NV3240	—
NV3285	—
NV3360	—

3500

3400

3300

3200

3100

3000

2900

2800

2700



BOCAMINA NV 3360

NV3360

C-H2B



SEÑALIZACION

EXTINGUIDOR

ALARMAS

SEÑALIZACION

Personal Proveniente del NV3150

ESTACION DEL PIQUE 420 NV 3240

NV3240

Personal Proveniente de los NV3240 - NV3260

Personal Proveniente del NV3190 - Zona Verónica

C-03A

Personal Proveniente del NV3190 - Zona Katy

NV3190

### RUTA DE ESCAPE

- NV3190
- NV3240
- NV3260
- NV3285
- NV3360

### RUTA DE ESCAPE

- NV3190
- NV3240
- NV3285
- NV3360

### LEYENDA



Sierra Antapite

SIERRA ANTAPITE S.A.C

### PLANO DE RUTA DE ESCAPE SECCIÓN A-A'

Escala de Ejemplares de Escape: Sección con Fotos

Lamina N°

DISEÑO	J.D.C	DIVISION	FECHA	ESCALA
ELABORADO	C. González	PROTECCION - SUTAM	15/07/2019	1/7000
REVISADO	C. González	UTM - P54056		
APROBADO	E. Rojas			



**UNSCH**

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

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

### ACTA N° 066-2022-FIMGC

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL No 494-2021-FIMGC-D**, siendo los veintinueve días del mes de setiembre del 2022, a horas 8:00 a.m.; 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 **MSc. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS**, designado por el Dr. Efraín Elías PORRAS FLORES decano de la facultad, Jurado el **Mg. Ing. Roberto Juan GUTIÉRREZ PALOMINO**, Jurado - Asesor el **Dr. Ing. Víctor Félix FLORES MORENO** y secretario del proceso el **Ing. Richar Ruben JORGE BERROCAL**, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada " **EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL REFUGIO MINERO FIJO EN EL NV 3240 CR 397 EN LA UNIDAD PRODUCTIVA DE ANTAPITE - CIA SIERRA ANTAPITE S.A.C**", sustentado por el Sr. **Jemerson HINOSTROZA ESCALANTE**, Bachiller en Ingeniería de 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 **16 (DIECISEIS)**.

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

**MSc. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS**  
presidente

**Mg. Ing. Roberto Juan GUTIÉRREZ PALOMINO**  
Jurado



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**Dr. Ing. Víctor Félix FLORES MORENO**  
Jurado Asesor

**Ing. Richar Ruben JORGE BERROCAL**  
Secretario del Proceso

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





**UNSCH**

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

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### CONSTANCIA N° 064-2022-FIMGC

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado 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 UNSCH y Resolución Decanal N° 158-2021-FIMGC-UNSCH-D, deja constancia que Sr./Srta.

**Apellidos y Nombres** : HINOSTROZA ESCALANTE, Jemerson  
**Escuela Profesional** : INGENIERÍA DE MINAS  
**Título de la Tesis** : "EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL REFUGIO MINERO FIJO EN EL NV 3240 CR 397 EN LA UNIDAD PRODUCTIVA DE ANTAPITE - CIA SIERRA ANTAPITE S.A.C"  
**Evaluación de la Originalidad** : 24 % Índice de Similitud  
**Identificador de la entrega** : 1901731187

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.

Ayacucho, 16 de setiembre del 2022

Firmado  
digitalmente por  
LEZAMA CUELLAR  
CHRISTIAN

**Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**  
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado  
de la FIMGC

Con depósito para Sustentación y Tramite de Titulo

# "EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL REFUGIO MINERO FIJO EN EL NV 3240 CR 397 EN LA UNIDAD PRODUCTIVA DE ANTAPITE - CIA SIERRA ANTAPITE S.A.C"

*por* Jemerson Hinostroza Escalante

---

**Fecha de entrega:** 16-sep-2022 07:56p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1901731187

**Nombre del archivo:** TESIS\_FINAL\_-\_Jemerson\_Hinostroza\_-\_2022\_1.pdf (5.48M)

**Total de palabras:** 22581

**Total de caracteres:** 126891

# "EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL REFUGIO MINERO FIJO EN EL NV 3240 CR 397 EN LA UNIDAD PRODUCTIVA DE ANTAPITE - CIA SIERRA ANTAPITE S.A.C"

## INFORME DE ORIGINALIDAD

24%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

14%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://www.osinergmin.gob.pe">www.osinergmin.gob.pe</a> Fuente de Internet	4%
2	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	3%
3	<a href="http://repositorio.unasam.edu.pe">repositorio.unasam.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	2%
5	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	2%
6	<a href="http://repositorio.undac.edu.pe">repositorio.undac.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
7	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://tesis.unap.edu.pe">tesis.unap.edu.pe</a>	

---

Fuente de Internet

1 %

---

9

[pt.scribd.com](https://pt.scribd.com)

Fuente de Internet

1 %

---

10

[bibliotecas.unsa.edu.pe](https://bibliotecas.unsa.edu.pe)

Fuente de Internet

1 %

---

11

[repositorio.uap.edu.pe](https://repositorio.uap.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

12

[repositorio.continental.edu.pe](https://repositorio.continental.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

13

Submitted to Universidad Andina Nestor  
Caceres Velasquez

Trabajo del estudiante

<1 %

---

14

[repositorio.unsa.edu.pe](https://repositorio.unsa.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

15

[repositorio.unamba.edu.pe](https://repositorio.unamba.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

16

[vsip.info](https://vsip.info)

Fuente de Internet

<1 %

---

17

[repositorio.unsaac.edu.pe](https://repositorio.unsaac.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

18

Submitted to Universidad Autonoma de Chile

Trabajo del estudiante

<1 %

---

19

[repositorio.unsch.edu.pe](https://repositorio.unsch.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

20

[www.matadesaojoao.ba.gov.br](http://www.matadesaojoao.ba.gov.br)

Fuente de Internet

<1 %

21

[hdl.handle.net](http://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

<1 %

22

[www.repositorio.upla.edu.pe](http://www.repositorio.upla.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

23

[ejatlas.org](http://ejatlas.org)

Fuente de Internet

<1 %

24

[repositorio.ug.edu.ec](http://repositorio.ug.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

25

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante

<1 %

26

[dspace.unitru.edu.pe](http://dspace.unitru.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

27

[www.trc.pe](http://www.trc.pe)

Fuente de Internet

<1 %

28

[www.acp.gob.pa](http://www.acp.gob.pa)

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo