

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**



**T E S I S**

**Análisis geomecánico para efectuar el sostenimiento por etapas en la  
Mina Andaychagua – Cía. Minera Volcán**

**Para optar el título profesional de:  
Ingeniero de Minas**

**Autor:**

**Bach. Jordan Jesus PONCE TOLENTINO**

**Asesor:**

**Mg. Nieves Oswaldo GORA TUFINO**

**Cerro de Pasco – Perú – 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**



**T E S I S**

**Análisis geomecánico para efectuar el sostenimiento por etapas en la  
Mina Andaychagua – Cía. Minera Volcán**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Ing. Toribio GARCÍA CONTRERAS**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA**  
**MIEMBRO**

---

**Ing. Julio César SANTIAGO RIVERA**  
**MIEMBRO**



**INFORME DE ORIGINALIDAD N°156-JUIFIM-2023**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:

**Bachiller: Jordan Ponce Tolentino**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería de Minas**

Tipo de trabajo:

**Tesis**

**Análisis Geomecánico para efectuar el Sostenimiento por Etapas en la Mina  
Andaychagua – Cía. Minera Volcán**

Asesor:

Mg. Nieves Oswaldo Gora Tufino

Índice de Similitud: 24%

Calificativo

**APROBADO**

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 15 de diciembre de 2023

**Dr. Agustín Arturo AGUIRRE ADAUTE**  
JEFE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico con un especial afecto a mi madre, quien es el motor y motivo dentro de mi formación profesional, y como también en mi formación como persona y ciudadano.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis queridos padres, por su gran apoyo dentro de la formación profesional y más aún por sus valores de enseñanza que me han otorgado durante mi vida.

A los Docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas, quienes me han brindado todo su tiempo y dedicación dentro de la enseñanza aprendizaje en el pre grado, y ahora me sirve dentro de mi desenvolvimiento profesional.

## RESUMEN

Con el objetivo de ampliar las áreas de producción de la Cía. Minera Volcán, la Unidad Minera Andaychagua está considerando implementar una nueva secuencia de minado en su plan de minado actual. Sin embargo, manteniendo el método tradicional de "corte y relleno descendente con losas de concreto" (UHC&F - Underhand Cut and Fill). Entre los requerimientos de este proceso, es necesario evaluar la viabilidad de esta nueva secuencia de minería entre los Niveles 1250 y 1300, así como las condiciones de estabilidad de la galería Sill en mineral del Nivel 1300.

Según se indicó, el objetivo del modelamiento numérico que se llevará a cabo es evaluar la viabilidad de tener múltiples fuentes de producción mediante el uso del método de minado UHC&F en la explotación de Mina Andaychagua. Esto implica examinar las secuencias de avance del minado sugeridas por la Gerencia del Volcán, así como analizar y evaluar el sostenimiento en todas las etapas de la mina y tener en cuenta la galería Sill del Nivel 1300, donde se están registrando problemas de inestabilidad en la actualidad. Para estas evaluaciones, se utilizó el software Phase2 de Rocscience Inc. (2010) para modelar elementos finitos bidimensionales, considerando el comportamiento lineal elástico y elasto-plástico del rocoso macizo.

La Figura 28 muestra una vista en planta de la infraestructura de la mina en el Nivel 1200, con las secciones identificadas para el análisis cada alrededor de 200 metros. La figura muestra los dominios geológico-estructurales que se encuentran en cada sección de análisis.

Los esfuerzos in-situ adoptados atienden a las consideraciones dadas en el Acápite 4.1. Las propiedades de resistencia de la masa rocosa y del relleno igualmente fueron establecidas de acuerdo a las consideraciones dadas en el Acápite 4.2, añadiendo

a estas las propiedades de la masa rocosa para  $D = 0.$ , consideró el efecto de la presión y flujo de agua.

**Palabras Claves:** Análisis Geomecánico, Sostenimiento.

## ABSTRACT

With the aim of expanding the production areas of the Company. Minera Volcán, the Andaychagua Mining Unit is considering implementing a new mining sequence in its current mining plan. However, maintaining the traditional method of "underhand cut and fill with concrete slabs" (UHC&F). Among the requirements of this process, it is necessary to evaluate the viability of this new mining sequence between Levels 1250 and 1300, as well as the stability conditions of the Sill mineral gallery at Level 1300.

As indicated, the objective of the numerical modeling that will be carried out is to evaluate the viability of having multiple production sources through the use of the UHC&F mining method in the exploitation of Mina Andaychagua. This involves examining the mining progress sequences suggested by the Volcano Management, as well as analyzing and evaluating the support in all stages of the mine and taking into account the Sill gallery of Level 1300, where instability problems are being recorded in the mine. present. For these evaluations, the Phase2 software from Rocscience Inc. (2010) was used to model two-dimensional finite elements, considering the linear elastic and elasto-plastic behavior of the rock mass.

Figure 28 shows a plan view of the mine infrastructure at Level 1200, with sections identified for analysis every around 200 meters. The figure shows the geological-structural domains found in each analysis section.

The in-situ efforts adopted attend to the considerations given in Section 4.1. The resistance properties of the rock mass and the fill were also established according to the considerations given in Section 4.2, adding to these the properties of the rock mass for  $D = 0.$ , considering the effect of pressure and water flow.

**Keywords:** Geomechanical Analysis, Suppor

## INTRODUCCION

La Unidad Yauli del Volcán Andaychagua. Con leyes promedio de 0,12 % de Cu, 1,45 % de Pb, 5,71 % de Zn y 3,56 Oz de amarillo, Compañía Minera SAA tiene programada una producción de 2,467 TM/día para el año 2021. La planta Andaychagua será responsable de toda la producción.

La producción incluye vetas (Veta Andaychagua, Veta Vanessa, Veta Prosperidad Este, Veta Adriana, Veta Milagros, Veta Andaychagua I y Veta Puca Urco) y cuerpos (C. Prosperidad I, C. Prosperidad T., C. Salvadora, C. Andaychagua, C. Saalvadora Norte). La explotación de la mina se llevará a cabo a través de los métodos Bench and Fill (banqueo y relleno), Under Cut and Fill (corte y relleno descendente), Over Cut and Fill (corte y relleno ascendente) y SARC (Subniveles Ascendentes con Relleno Cementado).

Para la elaboración del presente trabajo de Investigación, se tomó como base el análisis Geomecánico de la Mina Andaychagua, para poder determinar el sistema de sostenimiento, para lo cual estamos considerando todos los detalles del proceso de explotación y poder definir los parámetros de estabilidad y lograr el sostenimiento de acuerdo a las etapas de explotación.

En avances se considera 14,604 metros en Desarrollo, Explotación y Preparación, para el año 2021.

El autor.

## INDICE

**Página.**

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

INDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ANEXOS

### CAPITULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1.	Identificación y determinación del problema .....	1
1.2.	Delimitación de la Investigación .....	2
1.3.	Formulación del problema.....	6
1.3.1.	Problema general	6
1.3.2.	Problemas específicos	6
1.4.	Formulación de Objetivos .....	6
1.4.1	Objetivo general	6
1.4.2	Objetivos específicos	6
1.5.	Justificación de la investigación .....	6
1.6.	Limitaciones de la Investigación .....	7

### CAPITULO II

#### MARCO TEORICO

2.1.	Antecedentes de estudio .....	8
2.2.	Bases teóricas - científicas.....	13
2.3.	Definición de términos básicos .....	29
2.4.	Formulación de hipótesis.....	33
2.4.1.	Hipótesis general	33
2.4.2	Hipótesis específicos	33
2.5.	Identificación de variables.....	33

2.5.1. Variable independiente	33
2.5.2. Variable dependiente	33
2.6. Definición operacional de variables e indicadores.....	34

### CAPITULO III

#### METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación .....	35
3.2. Nivel de la investigación .....	35
3.3. Métodos de investigación .....	35
3.4. Diseño de la investigación.....	36
3.5. Población y muestra .....	36
3.5.1. Población	36
3.5.2. Muestra	36
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	36
3.6.1. Técnicas	36
3.6.2. Instrumentos	37
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	37
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	38
3.9. Tratamiento estadístico.....	38
3.10. Orientación ética, filosófica y epistémica .....	38

### CAPITULO IV

#### RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción del trabajo de campo .....	39
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	51
4.3. Prueba de hipótesis .....	58
4.4. Discusión de resultados .....	59

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página.</b>
Figura 1. Mina Andaychagua .....	2
Figura 2. Ubicación de Mina Andaychagua .....	3
Figura 3. Domo de Yauli .....	4
Figura 4. Zonamiento de Mineralización. ....	5
Figura 5. Jumbo Boomer 281 .....	15
Figura 6. Malla de perforación UCF .....	15
Figura 7. Simba S7D .....	17
Figura 8. Malla de perforación en Bench and Fill.....	18
Figura 9. Refugio para operador de Telemando. ....	20
Figura 10. Vista longitudinal del método SARC, aplicado al cuerpo Salvadora. ....	21
Figura 11. Vista en planta preparación para método SAR. ....	21
Figura 12. Vista Isométrica diseño del método SARC.....	22
Figura 13. Vista longitudinal del método SARC - cuerpo Salvadora. ....	22
Figura 14. Medidas del SIMBA S7D visto de lado.....	23
Figura 15. Vista transversal de la perforación del método de taladros largos variante SARC.....	24
Figura 16. Vista Longitudinal y en Sección de Scoop CAT R1600.....	25
Figura 17. Vista Isométrica Zona minada de la veta Vanessa en el NV_1200. ....	26
Figura 18. Medidas del SANDVIK DD311 visto de lado.....	27
Figura 19. Vista longitudinal y en sección del CAT R1600.....	28
Figura 20. Procedimiento de limpieza de los tajeos en OCF. ....	29
Figura 21. Diagrama estereográfico de contornos del Composito de fallas. ....	41
Figura 22. Diagrama estereográfico de planos del Composito de fallas. ....	42
Figura 23. Diagrama de roseta del Composito de fallas .....	42
Figura 24. Gráfica de deformaciones .....	52
Figura 25. Reforzamiento en el Sostenimiento. ....	53
Figura 26. Diseño de fortificación en intersecciones .....	54
Figura 27. Diseño de Malla Cable Bolting .....	55
Figura 28. Evaluación de Soporte con Cable Bolting. ....	55
Figura 29. Modelamiento de Cuñas.....	58
Figura 30. Definición de las secciones de análisis. ....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página.</b>
Tabla 1. Distribución de explosivos para Bench and Fill.....	19
Tabla 2. Especificaciones del Distribución de Carga.....	20
Tabla 3. Resultados de los ensayos de compresión Triaxial. ....	49
Tabla 4. Resultados de los ensayos de propiedades físicas. ....	49
Tabla 5. Adherencias de Pernos. ....	52
Tabla 6. Resistencia de las Mallas.....	53
Tabla 7. Factor de Seguridad Según Longitud de Cable Bolting.....	54
Tabla 8. Aberturas Máximas para Labores Permanentes. ....	57
Tabla 9. Sostenimiento Estimado para Labores de Avances Permanentes.....	57
Tabla 10. Sostenimiento Estimado para Labores Temporales.....	57
Tabla 11. Sostenimiento Requerido por Etapa 021.....	60

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Página.</b>
Anexo 1. Evaluación Geomecánica Mina Andaychagua .....	60
Anexo 2. Secuencia de Minado Mina Andaychagua.....	60
Anexo 3. Mineralización de la Veta Andaychagua .....	60

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

Con el objetivo de ampliar los frentes de producción, Volcán está considerando implementar una nueva secuencia de minado en su plan de minado actual. Sin embargo, seguirá el método tradicional de "corte y relleno descendente con losas de concreto" (UHC&F - Underhand Cut and Fill). Dentro de los requerimientos del proceso, es necesario evaluar la viabilidad de esta nueva secuencia de minería entre los Niveles 1250 y 1300, así como las condiciones de estabilidad de la galería sill en mineral del Nivel 1300.

El objetivo del plan de minado es evaluar la viabilidad de tener múltiples fuentes de producción mediante el método de minado UHC&F en la explotación de Mina Andaychagua mediante modelamiento numérico. Esto implica evaluar las secuencias de avance del minado y el sostenimiento de la galería de puerta del Nivel 1300, donde se están registrando problemas de inestabilidad. Para estas

evaluaciones se ha utilizado el modelamiento numérico de elementos finitos bidimensional con el software Phase2 de (Rocscience , 2010), considerando un comportamiento lineal elástico y elasto-plástico para el macizo rocoso.

## 1.2. Delimitación de la Investigación

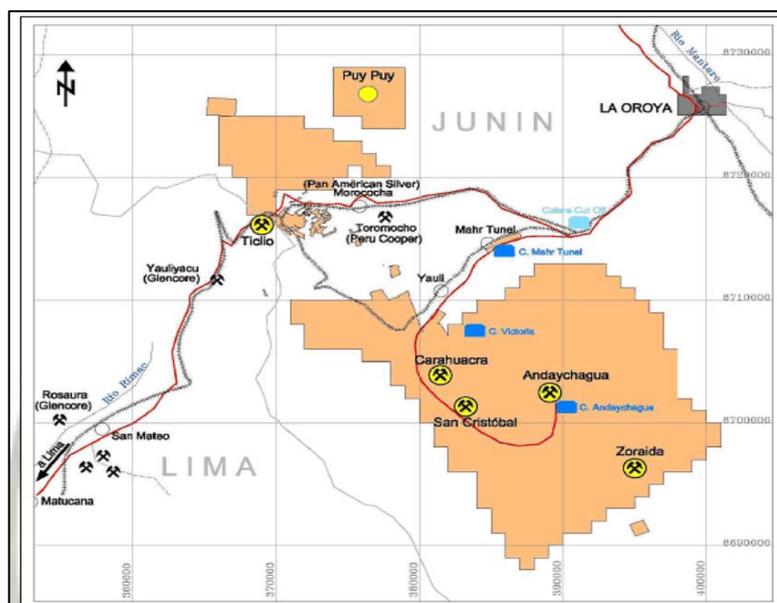
### 1.2.1. Ubicación

El área minera Andaychagua está ubicada en el centro de Perú, a 181 kilómetros al sureste de Lima, en el lado este de la Cordillera Occidental en los Andes peruanos centrales. Las coordenadas geográficas se determinan de la siguiente manera:

- Longitud Oeste :76°05'
- Latitud Sur :11°43'
- Altitud media :4,600 m.s.n.m.

Se encuentra en el Anexo San José de Andaychagua, en el Distrito de Huayhuay, Provincia de Yauli, Departamento de Junín, desde una perspectiva política.

*Figura 1. Mina Andaychagua*



### 1.2.2. Accesibilidad.

El acceso a la Mina Andaychagua, es por:

- Lima - La Oroya, carretera Central asfaltada (4 horas)
- La localidad de Andaychagua está ubicada a 8 kilómetros de la Mina Toldorrumi y a 33 kilómetros de la Planta Mahr Túnel.

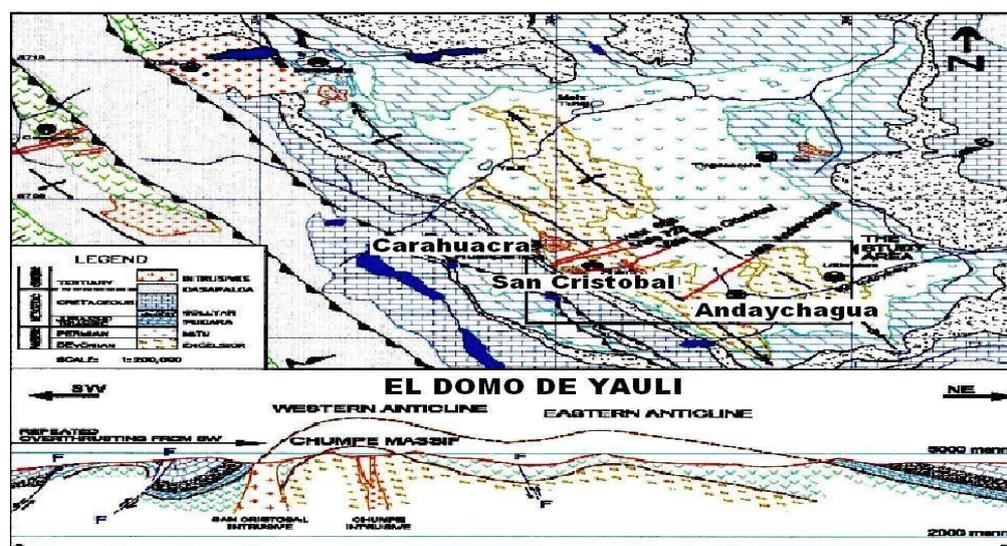
*Figura 2. Ubicación de Mina Andaychagua*



### 1.2.3. Geología Regional

El distrito minero de Andaychagua se encuentra en la parte Sur-Este de una extensa estructura regional de naturaleza dómica que abarca casi por completo los distritos de Moro cocha, San Cristóbal y Andaychagua. Originalmente se llamaba "Complejo Domo de Yauli" (JV, 1943), pero ahora se le conoce como "Domo de Yauli".

Figura 3. Domo de Yauli



#### 1.2.4. Geología Económica

La mineralización en la veta. La mineralización polimetálica terciaria y el evento tectónico post-cretácico están vinculados en Andaychagua.

#### Distribución de Cobre, Plomo, Zinc y Plata

Las observaciones de campo, las leyes de bloques y las perforaciones diamantinas nos llevan a las siguientes conclusiones: En la parte suroeste de la veta, la esfalerita se vuelve más marmatítica; También, hay un aumento de cobre y zinc cerca de los contactos andesitas-filitas y gabro.

Los contactos andesitas-filitas, andesitas-gabro y la unión de la veta tienen concentraciones altas de zinc. éxito con la veta Andaychagua, Chile. La arsenopirita está presente en gran cantidad junto con estas concentraciones elevadas de zinc.

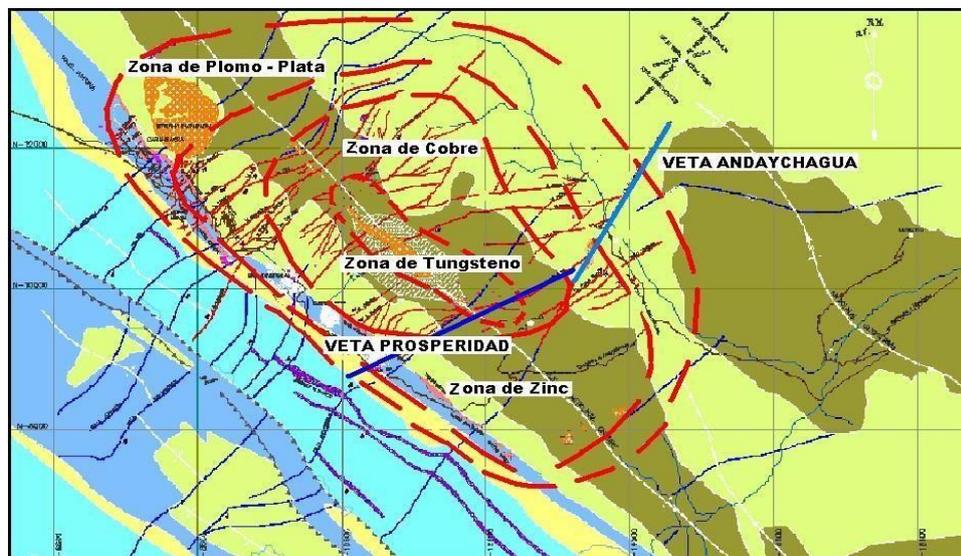
Los valores de cobre, zinc y plomo disminuyen en la veta hacia el noreste del Río Andaychagua. De acuerdo a la distribución de minerales, las soluciones han sido sub horizontales con una orientación Suroeste – Noreste; consecuencia de esto, es la presencia de minerales de baja temperatura como baritina y estibina en el extremo Noreste del afloramiento y minerales de la primera etapa de

mineralización en el contacto andesitas – filitas al Suroeste. (Oyola, 2022)

La silicificación cerca de la veta es un signo de sericitización, caolinización y cloritización en las andesitas. En el gabro, se produce argilización cerca de la veta y luego cloritización. En las filitas algo desilicificación cerca de la veta; le sigue argilización y cloritización. (Oyola, 2022)

Después de que se depositan volcanes (andesitas y brechas andesíticas), se inyecta gabro y se forma el marco estructural, comienza las alteraciones hipógenas en las cajas. Luego, se inyectan soluciones y se cristaliza para la genética de minerales. Posteriormente, se producirán minerales secundarios debido a las alteraciones de la superen de las cajas y los minerales. En la veta Andaychagua, los cambios de rumbo y los buzamientos regulan la mineralización, presentando mejores valores cuando las cajas no son rectas. Los anchos de la veta varían tanto en la dirección horizontal como en la vertical en función del cambio de dirección y zumbido que presentan. La veta está pobremente mineralizada debido a la presencia de una brecha volcánica de color gris oscuro en las cajas y dentro de la veta, que tiene una composición heterogénea de agregados de dacita y micro clastos de filitas. No es persistente en sentido vertical ni horizontal.

*Figura 4. Zonamiento de Mineralización.*



### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿Es posible realizar el análisis Geomecánico para efectuar el sostenimiento por etapas en la Mina Andaychagua de la Compañía Minera Volcán?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- a. ¿Al Realizar la evaluación geomecánica se determinará el tipo de sostenimiento por etapas en la Mina Andaychagua de la Compañía Minera Volcán?
- b. ¿La aplicación del sostenimiento por etapas controlara la estabilidad del macizo rocoso en la Mina Andaychagua de la Compañía Minera Volcán?

### **1.4. Formulación de Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo general**

Realizar el análisis Geomecánico para efectuar el sostenimiento por etapas en la Mina Andaychagua de la Compañía Minera Volcán.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- a. Realizar la evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento por etapas en la Mina Andaychagua de la Compañía Minera Volcán.
- b. Aplicar el sostenimiento por etapas para controlar la estabilidad del macizo rocoso en la Mina Andaychagua de la Compañía Minera Volcán.

### **1.5. Justificación de la investigación**

La explotación de la mina se realiza a través de diferentes métodos como

son: El método Bench and Fill (banqueo y llenado), Under Cut and Fill (corte y llenado descendente), Over Cut and Fill (corte y llenado ascendente) y SARC (Subniveles Ascendentes con Relleno Cementado). Todos estos procesos de excavación requieren de diferentes tipos de sostenimiento, teniendo en cuenta los procesos de desarrollo, explotación y preparación, por lo que es necesario realizar una evaluación geomecánica detallada de todas las áreas de la mina para comprobar la estabilidad del macizo rocoso y aplicar medidas adecuadas y oportunas.

#### **1.6. Limitaciones de la Investigación**

Para que los criterios de diseño y el análisis de resultados sean efectivos, es necesario dividir el macizo rocoso estudiado en regiones con propiedades estructurales y mecánicas similares. Masas con propiedades físicas y mecánicas similares. Por lo tanto, en la práctica común en el diseño de excavaciones subterráneas, el área de estudio se define como la zona geomecánica o dominio estructural. La zonificación geomecánica, considerando la litología y calidad del macizo rocoso, fue en realidad una limitación del estudio, ya que se necesitaban más evaluaciones para determinar la zonificación adecuada de la mina Andaychagua.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **a) Antecedentes nacionales.**

- **(Herrera E, 2021)**, de la Universidad Nacional de Cajamarca Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, desarrolla su tesis “Evaluación Geomecánica para el Diseño del Sostenimiento del Túnel de Exploración Chaquicocha Fase II - Minera Yanacocha Srl, 2018”. La investigación se realiza en el Túnel de Exploración Chaquicocha – Fase II, perteneciente a la compañía Minera Yanacocha S.R.L. (MYSRL), ubicada en la provincia y departamento de Cajamarca. Comprende una longitud de 195m lineales con sección de 5.0m x 5.5m y gradiente de hasta +13%. El portal de ingreso hacia las labores subterráneas se ubica al nor-oeste del tajo Chaquicocha sobre una plataforma ubicada a 3750msnm. En el Perú las estadísticas de accidentes

con consecuencias mortales en minería muestran que más del 20% son por caída de rocas en minería subterránea, por lo que es prioridad en este proyecto garantizar la estabilidad de las excavaciones. Las evaluaciones geomecánicas realizadas a lo largo del túnel, usando las clasificaciones geomecánicas de RMR y GSI adaptadas por MYSRL, determinan que el macizo rocoso es de calidad buena tipo II, regular tipo III-A y regular tipo III-B; para los que se ha determinado sostenimiento con shotcrete 2 pulg. reforzado con fibra sintética y perno Split Set de 8 pies de longitud espaciado a 1.7m, 1.5m y 1.2m respectivamente. Los análisis realizados mediante software Phase2 v 8.0, muestran un comportamiento estable del túnel con el sostenimiento recomendado, siendo el factor de seguridad mayor a 1.50. Los ensayos de control de calidad en pernos Split Set arrojan una resistencia a tracción mayor a 8 TN y el shotcrete adquiere una resistencia final mayor a los 35 MPa. Estos resultados aseguran el rendimiento del sostenimiento instalado en el túnel y garantizan la operatividad durante su vida útil promedio de 10 años.

- **(Chilon J, 2019)**, de la Universidad Privada del Norte, presenta su tesis “Caracterización Geomecánica del Macizo Rcoso para el diseño del Sostenimiento de la Rampa Karent de la Unidad Minera María Antonieta - La Libertad.”. Esta investigación tiene como objetivo realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso para diseñar el sostenimiento de la rampa Karent, la investigación es de tipo aplicada ya que se utiliza los conocimientos adquiridos a la práctica. Para ello es necesario mencionar el objeto de estudio que está conformado por 100 metros lineales de rampa Karent en el nivel 2160 de la unidad minera

María Antonieta, siendo la población todas las galerías de la misma unidad minera. Para el cumplimiento del objetivo se dividió el área de estudio en 5 progresivas, cada uno de ellas de 20 metros lineales, en el cual se aplicó las siguientes metodologías, clasificaciones geomecánicas RMR e índice de Q, análisis estructural usando softwares Dips y Unwedge y modelo de sostenimiento mediante software Unwedge y software Phase 2. Los resultados de la caracterización geomecánica de acuerdo a Bieniawski para cada progresiva es de tipo III con un valor de 40 a 60 siendo roca regular, y de acuerdo a Barton nos indica que es una roca de tipo media con un valor de 4 a 10, a través de esta metodología se concluye que el tipo de sostenimiento para la Rp. Karent, es de pernos sistemáticos espaciados a 1.00 metro de perno a perno y espaciados a 1.00 metros entre fila y fila, con refuerzo de shotcrete como fortificación con esfuerzo de corte de 200 t/m<sup>2</sup>, peso unitario de 2.6 t/m<sup>3</sup> con un espesor de 5 a 10 cm el cual evita deslizamiento de cuñas y posibles deslizamientos de roca por efecto de vibraciones producto de la voladura y/o factores influyentes. En cuanto a los costos que generaría el sostenimiento para la rampa Karent de la unidad minera María Antonieta es de S/. 2693.622 soles por metro lineal con perno helicoidal, para shotcrete el costo es de S/. 3502.51 soles por metro lineal y finalmente el costo para el uso de shotcrete más perno es de S/. 6196.132 soles por metro lineal.

**b) Antecedentes internacionales**

- **(Betancur B, 2019)**, de la Universidad EAFIT Medellín, sustenta su tesis “Caracterización y Clasificación Geomecánica del Macizo Rocosó en el Nivel veintiuno de la Mina La Maruja (Distrito Minero de Marmato,

Caldas) para estimar las recomendaciones de Estabilidad y Soporte en la excavación y su correlación con las Alteraciones Hidrotermales”. La estabilidad de una excavación y, por lo tanto, la seguridad de las operaciones mineras depende del conocimiento de las características geomecánicas de la roca. Para ello, existen varias técnicas que evalúan la calidad del macizo rocoso y permiten recomendar o ajustar el soporte en función de sus características particulares. En este estudio se realiza una clasificación geomecánica utilizando las metodologías RMR de Bieniawski (1989) y el sistema Q de Barton, Lien y Lunde (1974) para estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte. Además, se realiza un análisis cinemático de cuñas para determinar las discontinuidades del macizo rocoso en el nivel veintiuno de la mina La Maruja en Marmato, Caldas. Además, se realiza una evaluación del impacto de las alteraciones hidrotermales presentes en la calidad de la roca maciza (alteración propilítica y alteración argílica intermedia), ya que las alteraciones hidrotermales producen cambios físicos y químicos en la roca. Esta evaluación se realiza de forma independiente para zonas mineralizadas y roca encajante. Se cree que sí existe una influencia significativa en la calidad del macizo rocoso al correlacionar la clasificación obtenida con la interacción roca-fluido. La alteración argílica caracterizada por sericita tiene un mayor impacto en el caso objeto de estudio que la alteración argílica de esmectita. Además, se sugiere que la alteración fue más generalizada en las áreas clasificadas como de baja calidad que en las áreas clasificadas como de alta calidad.

- **(Becerra A, 2017)**, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, presenta su tesis “Estudio geomecánico para las Minas Esperanza y Zarzal pertenecientes a la Concesión Minera FIU-151, municipio de Gámeza, Boyacá”, La clasificación geomecánica es de gran importancia para poder determinar la calidad del macizo rocoso, todo esto permite establecer un patrón de comportamiento. Se estudió el macizo rocoso de la Concesión FIU-151 en las minas Esperanza y Zarzal. Para esto se utilizó la clasificación RMR de Bieniawski (1989), que determina un valor y con este un comportamiento. Para llegar a estos resultados se hizo necesario realizar una etapa de recolección de información, que comprendió: registro geológico local, registro geológico a detalle, de la mano de una serie de información necesaria para la clasificación del macizo. Una segunda etapa que comprende la toma de muestras para cada mina de acuerdo a la geología, a fin de realizar una serie de ensayos de laboratorio. La siguiente etapa, comprende el análisis de la información recolectada; donde se definen las litologías para cada mina, diferentes dominios estructurales, características y condiciones de discontinuidades. Por último, se realiza con los datos recolectados para la clasificación geotécnica y la definición de las litologías, un proceso modelamiento 2D en donde se obtiene productos que incluyen; clasificación RMR cada 10m en las distintas labores mineras estudiadas, continuidad litológica y estructuras locales Con el modelamiento realizado a escala 1:500, 1:250,1:200 se identifica la calidad a detalle cada mina del estudio, con lo cual se genera un mapa de susceptibilidad donde se muestran las distintas zonas con su respectiva calidad del macizo, buena y regular.

## **2.2. Bases teóricas - científicas**

### **2.2.1. Corte y Relleno Descendente (UCF)**

#### **2.2.1.1 Introducción**

También se conoce como "Under Cut and Fill". El minado se lleva a cabo en forma de cortes o tajadas horizontales que comienzan en la parte superior del tajo y se desplazan corte a corte. El mineral roto se carga y extrae a medida que avanza. La perforación horizontal es sostenida con shotcrete y empernada de acuerdo con el tipo de terreno. La mineralización de la zona se perfora en horizontal con el relleno del nivel superior como techo. Cuando se dispara todo el corte, el volumen extraído se rellena con cemento para el techo y el soporte de las cajas, creando una plataforma para el siguiente corte. Los accesos a la estructura mineralizada son beneficiosos porque permiten el drenaje del agua producida por las filtraciones y las perforaciones de tajos. (Cornejo Aquiste, s.f.)

#### **2.2.1.2 Descripción general**

Este es un método de caída y relleno en el que el mineral se extrae en cortes horizontales (completos), comenzando desde la parte superior del tajo y trabajando desde la parte inferior.

Este método se utiliza en vetas inclinadas y requiere un minado selectivo, lo que permite la flexibilidad de la operación y permite que el mineral roto de bajo valor se deje en el tajo. La explotación es lenta y proporciona una cantidad regular de mineral, pero no permite el almacenamiento o la acumulación. (Oyola, 2022)

Este método se utiliza en roca de baja calidad. El minado se lleva a cabo de arriba hacia debajo de los diversos horizontes o pisos del mineral utilizando este método de explotación. El proceso implica dividir el mineral en diferentes niveles y mover el mineral en sentido descendente. Un corte o piso se rellena antes de comenzar un nuevo corte en el piso inmediato inferior. El techo del nuevo frente será sostenido por este relleno. El mineral se mina piso por piso hasta que se completa el bloque. Es una técnica costosa pero beneficiosa para el tipo de yacimiento que presenta la Mina Andaychagua. (Oyola, 2022)

### **2.2.1.3 Planeamiento**

Los planes de minado incluyen perforación, voladura, remoción manual o mecánica, ventilación, limpieza, sostenimiento (cemento lanzado más pernos splits set/hydrabolt) y relleno cementado. Depende del tipo de variante utilizada. La parte utilizada dependerá del ancho de la veta y la longitud del tajo. Los tajos tratados en promedio 160 metros de largo con dos lados de 80 metros cada uno.

Se construirán desvíos principales con acceso a la veta cada 40 m seguidos de un corredor sobre la veta en el primer corte y el acceso continuará en los cortes inferiores subsiguientes. Se construye una rampa paralela a la veta, para ingresar a la veta desde esta rampa para continuar tajeando cortes sucesivos.

Figura 6. Malla de perforación UCF

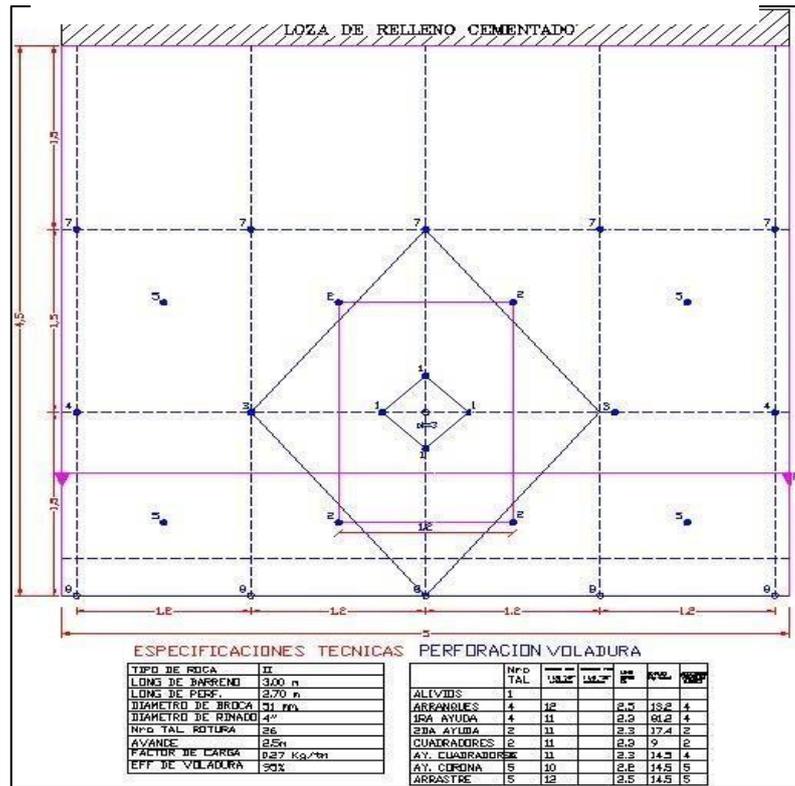
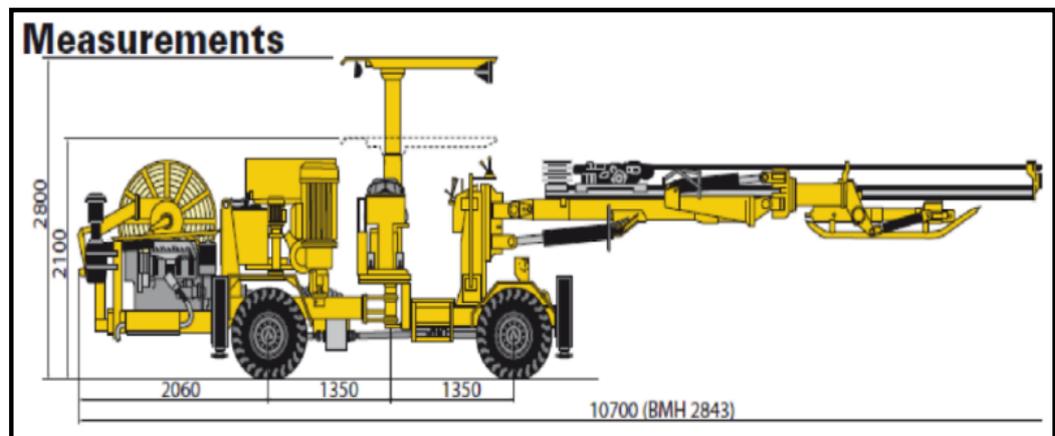


Figura 5. Jumbo Boomer 281



## 2.2.2. Bench and Fill (Banqueo y Relleno)

### 2.2.2.1 Introducción

Debido a que el volumen extraído los trabajos de preparación se realizan en su mayor parte dentro del mineral, el método se caracteriza por su gran productividad. Para prevenir el colapso de las paredes, se están

colocando shotcrete 2” y pernos adicionales al sostenimiento de acuerdo a la sección en el piso del hastial en cada subnivel. (Oyola, 2022)

Este método utiliza el minado desde el nivel principal hacia los subniveles superiores para identificar los intervalos verticales. Los subniveles son preparados entre los niveles principales; el mineral derribado con taladros largos o desde los subniveles (tajeos), cae del subnivel superior hacia la zona vacía en el subnivel inferior para luego transportarlos hacia los echaderos. (Oyola, 2022)

#### **2.2.2.2. Descripción general**

El procedimiento se lleva a cabo de forma ascendente (de abajo hacia arriba), creando dos rampas principales de Nivel a Nivel (50 m) con el objetivo de realizar subniveles (en pisos de 7 m) por ambos lados hasta que se comuniquen. En un extremo, se perfora el SLOT (Chimenea) para generar la cara libre y los taladros de producción, luego se inicia la explotación masiva mediante voladura de bloques. En el otro extremo, se realiza el Este enfoque se desarrolla de manera porcentual o en partes para evitar que el vacío generado produzca condiciones sub estándar.

#### **2.2.2.3. Planeamiento**

El primer paso en la galería principal es realizar dos rampas en espiral y/o zigzag hasta llegar a la altura estimada (7 m) para crear un acceso que cortará la veta principal y generará el piso uno (1). Por supuesto, el acceso que generará el piso cero (0) también se realiza en la misma galería, con los subniveles respectivos hacia el Este y Oeste sobre la veta. De esta manera seguirá hasta llegar al nivel superior. (Oyola, 2022)

#### **2.2.2.4 Preparación**

En el proceso de preparación se realizaron trabajos de acceso al yacimiento, perforación de capas subterráneas de pozos largos, transporte, carguío y sitios de minado.

### 1. Nivel de Producción Principal

Se llevará a cabo un By Pass principal, en el que se ingresa a la veta cada 100 metros y luego se corre una galería en el mismo nivel que sirve como nivel de extracción.

El mismo método (accesos) se utiliza para los siguientes pisos superiores, pero no en galería, sino en subniveles cada 7m de altura, preparados sobre veta con longitudes de 250 a 300 m.

### 2. Rampa de Producción

Para acceder a la veta y continuar explotando en los siguientes pisos, se construyó una rampa paralela a la veta.

### 3. Chimenea de Ventilación

Para generar el circuito de ventilación, se construye una chimenea de ventilación en el acceso al subnivel.

### 4. Echaderos

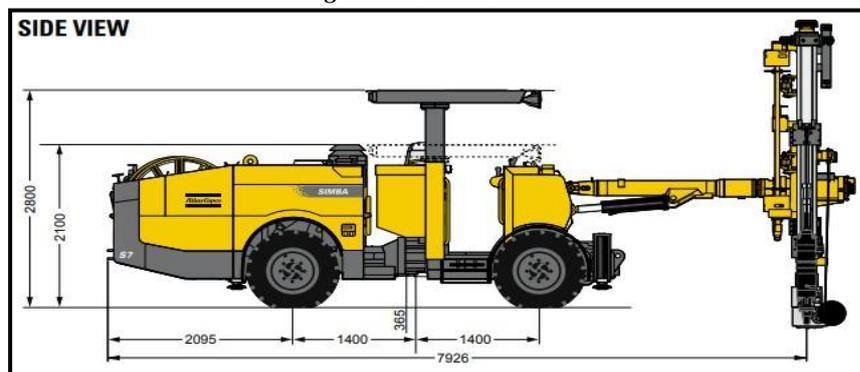
Se construye una chimenea con rampa como echadero.

#### 2.2.2.5 Ciclo de minado

##### a. Perforación

Se ejecuta con equipo Simba

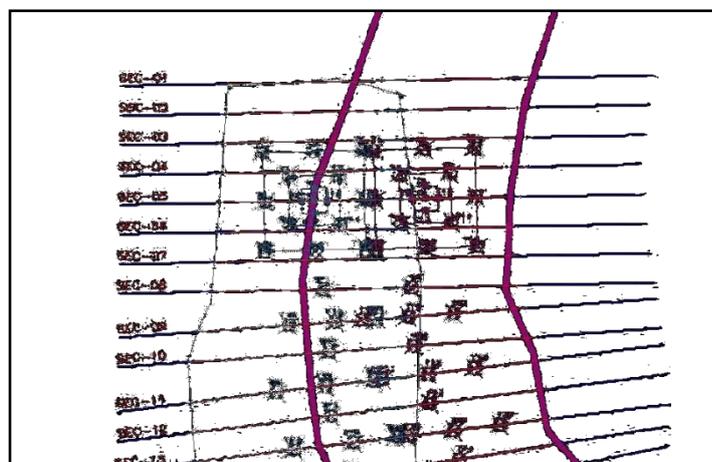
*Figura 7. Simba S7D*



### **b. Diseño de malla de perforación**

Las perforaciones se diseñaron principalmente de acuerdo con la geometría de las vetas o el volumen y la calidad de las cajas de techo, para no interferir con estas; además se ha considerado como variable importante el Burden, igual ancho de veta y buzamiento.

*Figura 8. Malla de perforación en Bench and Fill*



### **c. Perforación de precisión**

Para lograr los mejores resultados generales de voladura, el taladro debe diseñarse en toda su longitud. Los taladros rectos son importantes, por lo que se evita la desviación tanto como sea posible, cada taladro se ubica con precisión y se perfora en la dirección y profundidad correctas.

### **d. Consecuencias de la desviación de taladros**

Las principales repercusiones de la desviación de taladro son las siguientes:

- La fragmentación incontrolable de materiales que se han roto.

- Los tiros pueden fallar debido a la intersección de los taladros. espacio excesivo y presión entre los taladros adyacentes.
- Voladura secundaria.
- Acarrea a costos más altos de cargado, transporte y molienda. La otra posibilidad que se toma es el equipo para la limpieza ello es considerado de acuerdo al ancho promedio de la veta y la longitud del tajo.

**e. Voladura**

Se ha tomado lo siguiente para lograr una voladura ideal:

- La naturaleza del macizo rocoso.
- Geología estructural, local y regional.
- Aspectos importantes como geotécnicos, geomecánicos, y etc.
- Geometría (Sección de espaciamiento, subnivel, diámetro del taladro y burden)
- Aspectos químicos - físico (VOD, tipo de explosivo)
- Tiempo (retardos y secuencia de salida)
- Operativos (Personal adiestrado y fragmentación requerida)

*Tabla 1. Distribución de explosivos para Bench and Fill*

TALADROS LARGOS	FACTOR DE CARGA	KG/TM	0.22
2.5MX4.5MX6.0M MINERAL	SEMEXSA 65% DE 1 1/2X12	CART/TM	0.60
	EXANEL DE 10 m	UNID/TM	0.08
	CORDON DETONANTE 3P	M/TM	0.09
	MECHA ENSAMBLADA	UNID/TM	0.01
	MECHA LENTA	M/TM	0.10

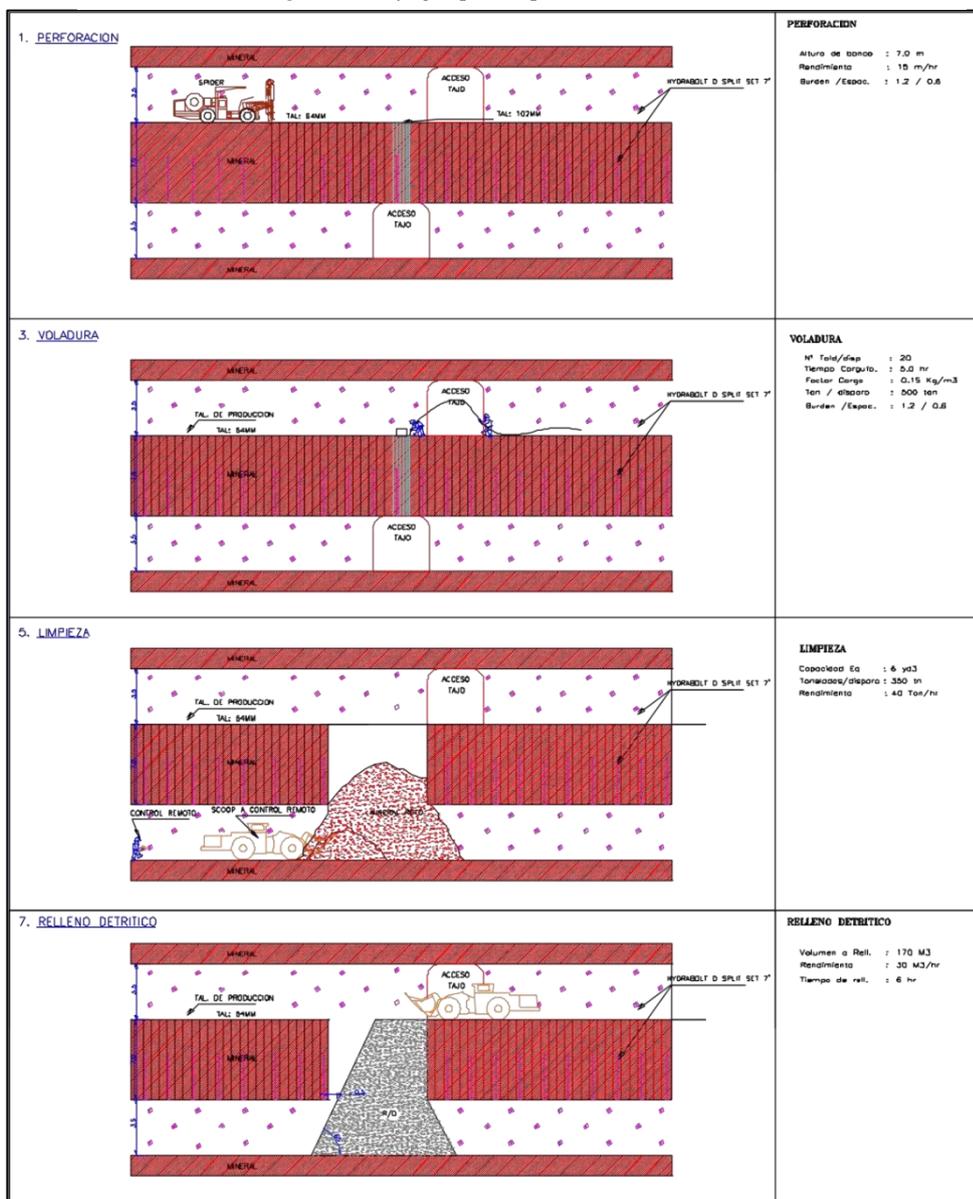
**Tabla 2. Especificaciones del Distribución de Carga.**

SUBNIVEL 3.5MX4.00M MINERAL	FACTOR DE CARGA	KG/TM	0.60
	FACTOR DE CARGA	KG/M	28.67
	SEMEXSA E 80% DE 1 1/8X8	CART/TM	1.34
	SEMEXSA 80 DE 1 1/8X8	CART/TM	2.31
	EXADIT 45% DE 7/8*7	CART/TM	0.61
	EXANEL DE 4.20	UNID/TM	0.25
	CORDON DETONANTE 3P	M/TM	0.22
	MECHA ENSAMBLADA	UNID/TM	0.01
MECHA LENTA	M/TM	0.01	

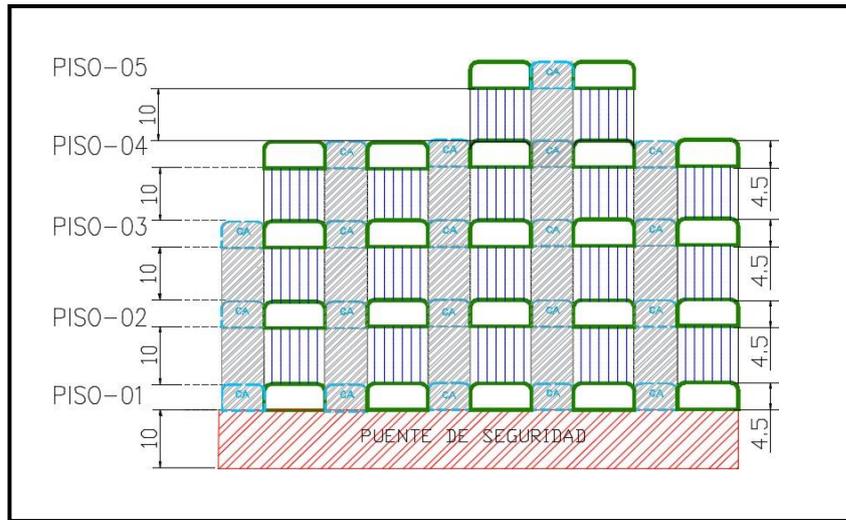
**2.2.3 Sub Niveles Ascendentes con Relleno Cementado (SARC)**

El método SARC se utiliza para explotar objetos de más de 15 metros de ancho, utilizando tajeos primarios rellenos con cemento y luego explotar los tajeos secundarios.

**Figura 9. Refugio para operador de Telemando.**



**Figura 10.** Vista longitudinal del método SARC, aplicado al cuerpo Salvadora.

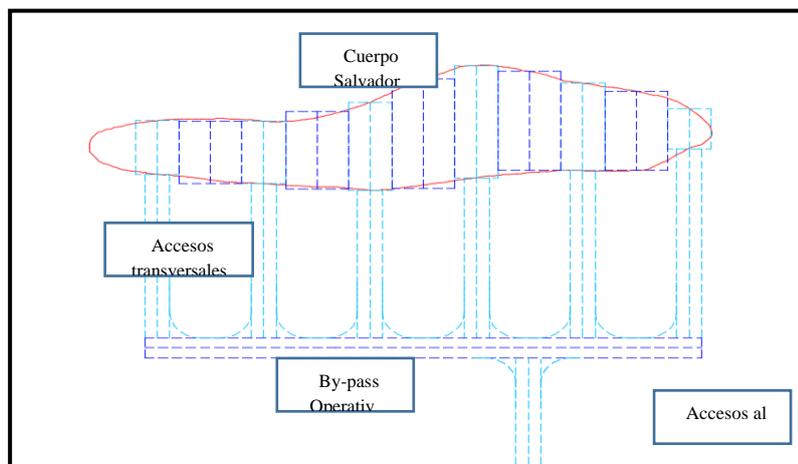


### 2.2.3.1 Ciclo de minado

#### a. Labores de Preparación

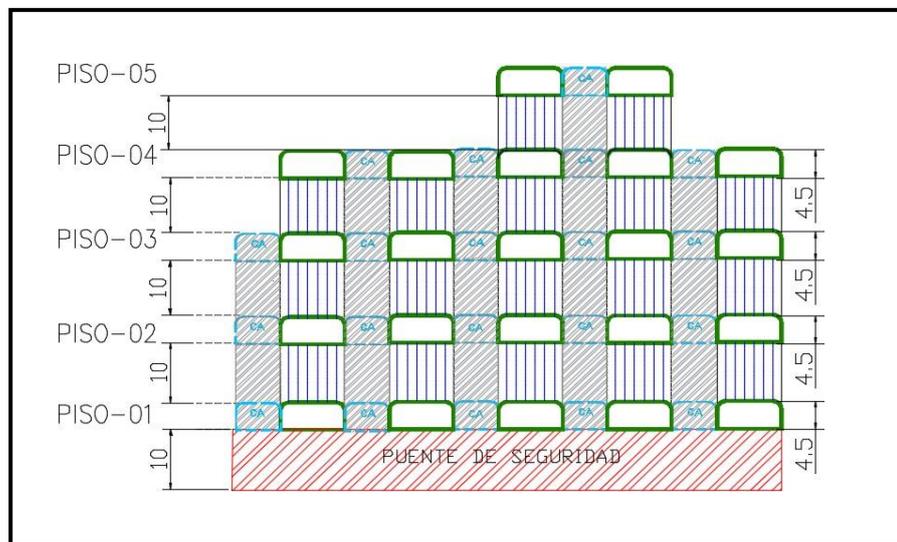
Las labores de preparación se inician con un acceso desde la rampa principal 315, posterior se abre un by-pass operativo paralelo al cuerpo, a partir del cual se excavan los subniveles transversales al cuerpo Salvadora, el mismo proceso se realiza 10 metros abajo, superponiendo las cámaras. (Oyola, 2022)

**Figura 11.** Vista en planta preparación para método SAR.

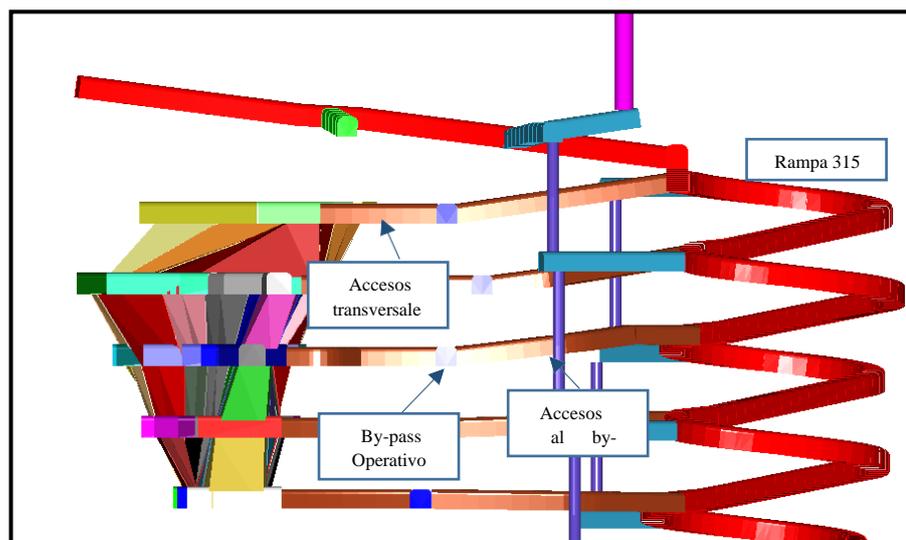


El uso de este método se lleva a cabo de manera ascendente, primero se construyen los subniveles primarios con dimensiones de 7.00 x 4.50 por cada subnivel, que deben estar separados cada 10 metros. Luego, se excavan los subniveles secundarios de acuerdo con el secuenciamiento.

**Figura 12.** Vista Isométrica diseño del método SARC.



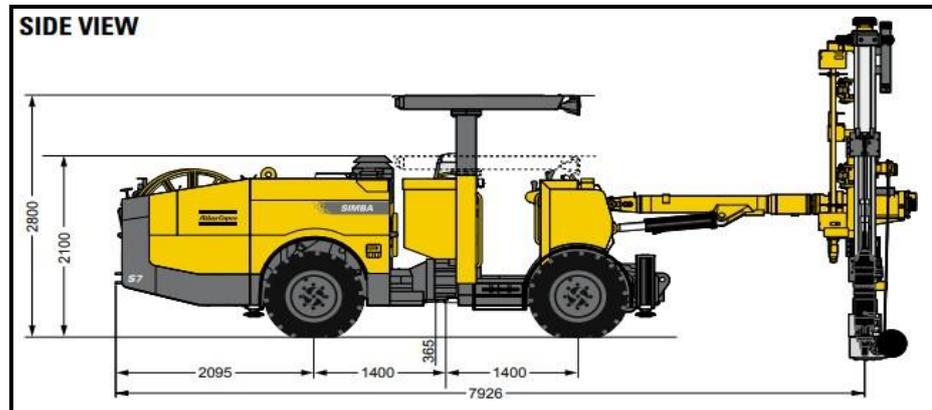
**Figura 13.** Vista longitudinal del método SARC - cuerpo Salvadora.



## b. Perforación

La unidad Andaychagua utiliza el equipo SIMBA S7 D para completar el proceso de perforación.

*Figura 14. Medidas del SIMBA S7D visto de lado.*

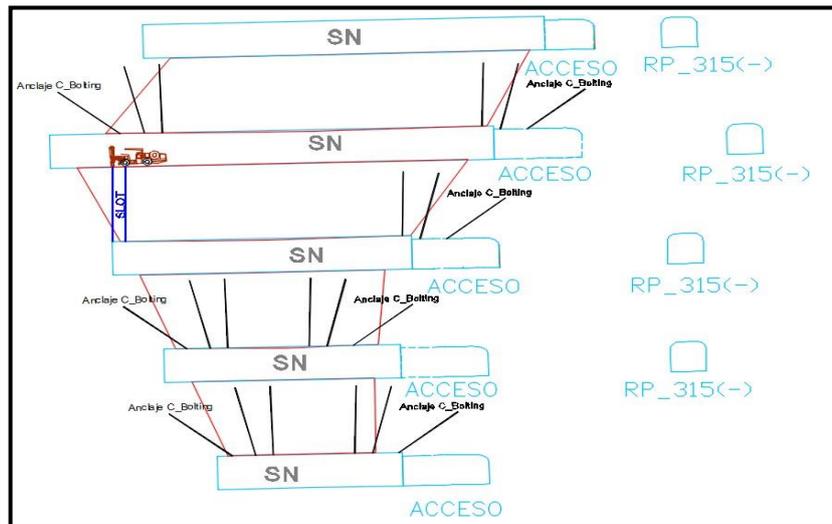


Un dato muy importante de este equipo es el baricentro, como observamos en la imagen, el baricentro está a 1.46 metros del piso, que es desde donde realizaremos el diseño de los taladros.

## c. Diseño de malla

Los tajeos primarios y secundarios tendrán mallas de perforación perpendiculares al ancho de la cámara. Según la recomendación de geomecánica, los disparos serán de 3 secciones o 5 metros aproximadamente. Al principio, se creará una chimenea slot en la parte superior de la cámara, y luego se generarán filas y/o secciones de perforación. Las dimensiones del slot podrán ser de 1.50 x 1.50m o 2.0m x 2.0m, el burden x espaciamiento para los taladros de producción será de 1.5m x 1.50m, pudiendo variar los parámetros de acuerdo al tipo de roca. (Oyola, 2022)

**Figura 15.** Vista transversal de la perforación del método de taladros largos variante SARC.



#### d. Indicadores de Perforación

Para cumplir con la producción prevista, se debe garantizar que la capacidad de Simba sea de al menos 4.500 m/mes. La Tabla 15 describe los indicadores del Simba S7D para la guardia de 12 horas.

**Tabla 3.** Indicadores de Equipos de Perforación.

Simbas (Guardia 12h)	Ud	Valor
Disponibilidad	%	85.0%
Utilización	%	60.0%
Actividad Operativa	hr	6.20
Demora Mecánica	hr	1.80
Demora Ingreso/Salidas	hr	2.00
Demoras Gestión/Servicios	hr	2.00
Horas Operativas	hr/mes	<b>347.2</b>
Metros Perforados	m/mes	<b>4860</b>
Productividad	m/hr	<b>14</b>

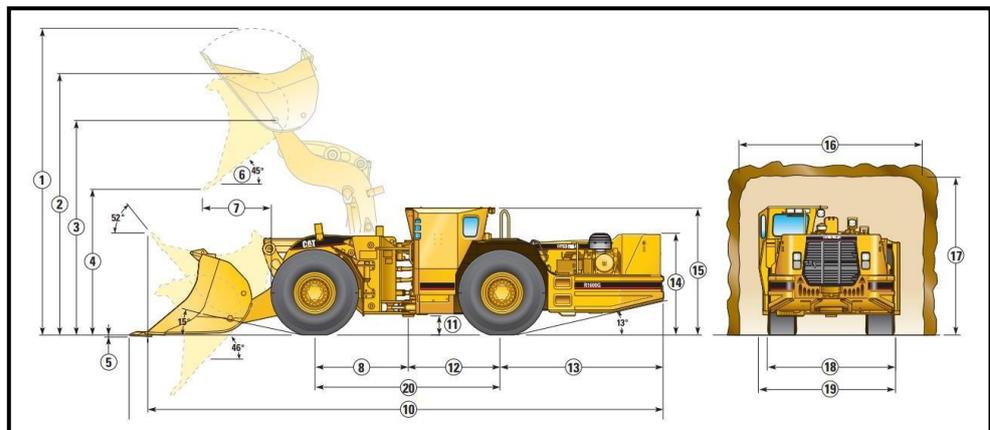
**e. Voladura**

La voladura es el proceso de fragmentación de rocas mediante la detonación de dinamita colocada en un taladro. Para determinar el tipo de explosivo requerido, necesitamos conocer las condiciones geomecánicas, presencia o ausencia de agua, etc.

**f. Acarreo de mineral**

El equipo necesario para limpiar el mineral quebrado en tajos de taladros largos en el Scoop de 6 yardas cúbicas con control remoto para mantener al operador de la máquina seguro y no expuesto.

*Figura 16. Vista Longitudinal y en Sección de Scoop CAT R1600.*



Para limpiar el mineral, el operador debe cerrar su área de trabajo, ubicarse en un lugar seguro (refugios) e iniciar el proceso con el telemando hasta que se complete la limpieza del tajeo.

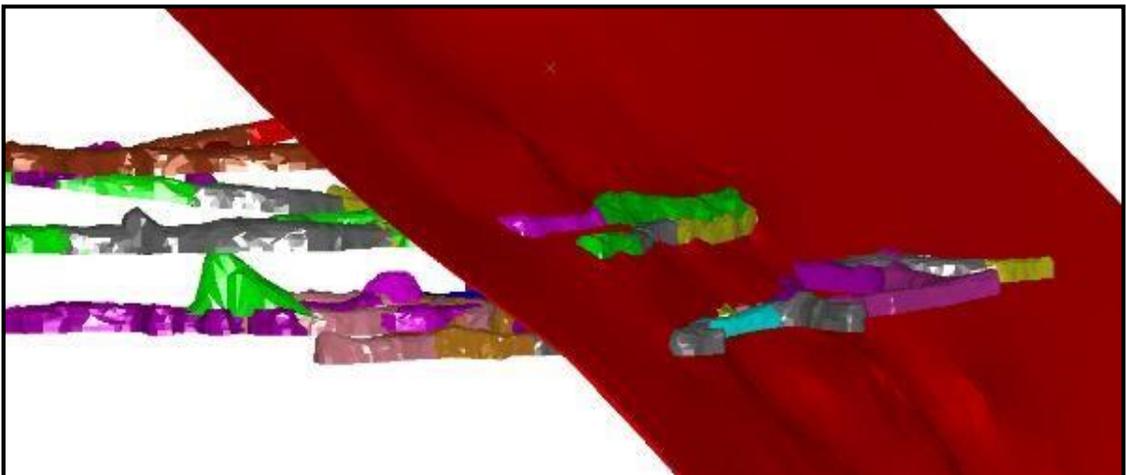
**g. Relleno**

El relleno cementado se dispondrá en las cámaras primarias, ocupando el total del vacío excavado. La línea de relleno se instalará y acondicionará desde la red principal en el sub nivel superior de la cámara. Para evitar que la carga forme su talud, se coloca una barrera en el subnivel inferior.

#### **2.2.4. Corte y Relleno Ascendente (OCF)**

Actualmente el método de corte y relleno ascendente se viene aplicando a la veta Vanessa en los niveles 1200 y 1250, actualmente se cuenta con dos frentes en el SN 668, SN 731 y se viene realizando el desarrollo para explotar un tercer frente por el AC 733A, así como el AC 670 para continuar con la explotación de la zona superior del SN 668. (Oyola, 2022).

*Figura 17. Vista Isométrica Zona minada de la veta Vanessa en el NV\_1200.*



#### **2.2.5. Ciclo de Minado**

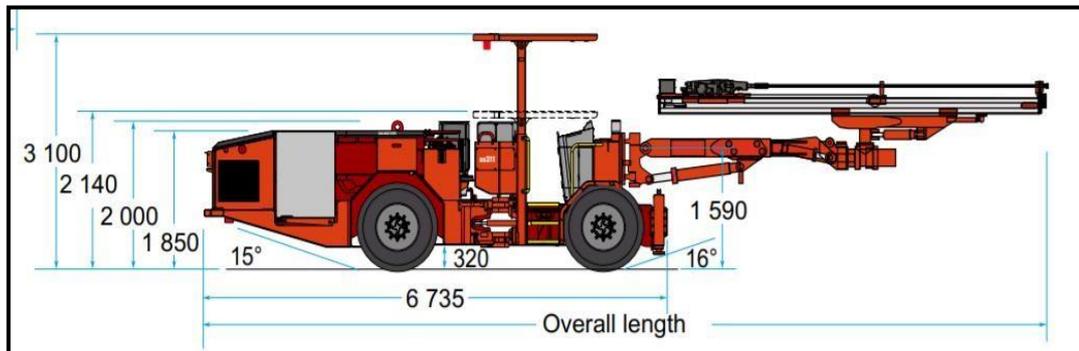
Al aplicar el método de Nicholas para la veta Vanessa obtuvimos que nuestra mejor opción es el método Over Cut and Fill (OCF).

##### **a. Perforación**

##### **Diseño de malla**

A nivel mundial, se han postulado diversos modelos matemáticos para llevar a cabo el diseño de las mallas de perforación, entre todos los modelos elaborados podemos mencionar a: R.L. Ash, Andersen, Hino Kumao, Pearse, Langefors, Foldesi, Konya & Walter, Homberg, etc. La variable más importante y crítica para determinar, es el burden. El proceso para la realización de diseño de malla de perforación es realizado por el área de voladura, el cual al considerar los parámetros geomecánicos y el ancho de la labor, realiza un estándar de las mallas de perforación para los diversos anchos que puede alcanzar la veta Andaychagua, a continuación, mostramos los diseños realizados por el área de Voladura, el cual utiliza el arranque en hexagonal. (Oyola, 2022)

*Figura 18. Medidas del SANDVIK DD311 visto de lado.*



### **b. Voladura**

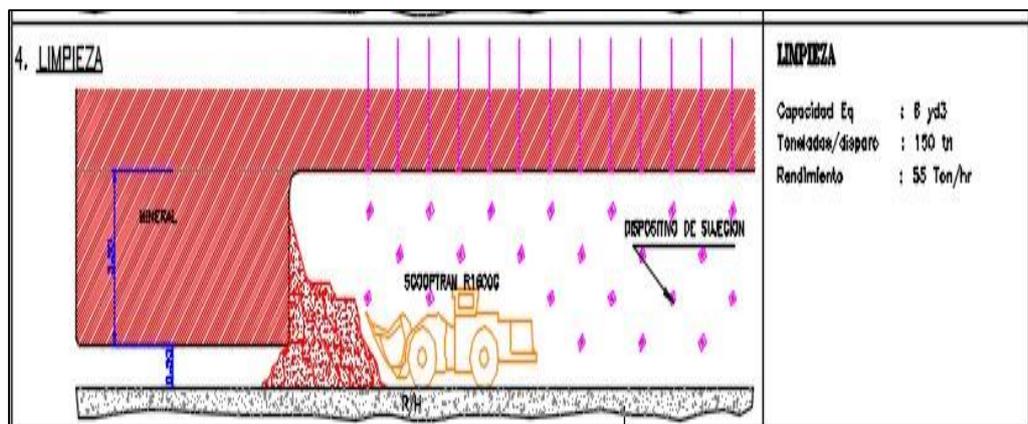
La voladura es el proceso de fragmentación de la roca, el cual se realiza a través de la detonación de explosivos colocados dentro de los taladros, para definir el tipo de explosivo requerido debemos de conocer las condiciones geomecánicas, la presencia de agua, etc., de la mina, en este caso la elección del explosivo no depende únicamente de las condiciones que presente la Veta Andaychagua, depende en

conjunto de los explosivos requeridos por todas las vetas y cuerpos de la mina, para que el costo por unidad de explosivo sea menor al realizar un mayor pedido de cartuchos de explosivos, la distribución y secuencia de detonación serán las variables que se podrán controlar para conseguir una voladura óptima. (Oyola, 2022)

### c. Limpieza

La limpieza del mineral es el proceso por el cual cargamos el mineral fragmentando a los volquetes Volvo FMX 6x4, para que este proceso sea eficiente debemos tener una zona de carguío o acumulación a manos de 150 metros para cargar el mineral y tener una limpieza óptima.

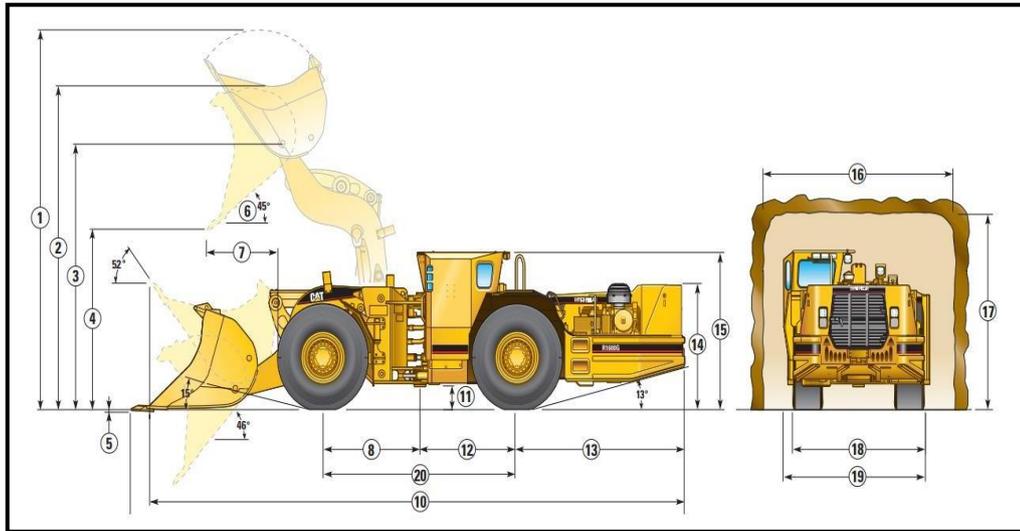
*Figura 19. Vista longitudinal y en sección del CAT R1600.*



### d. Equipos y Procedimiento

El equipo que se necesita para la limpieza de los tajeos explotados en la veta Andaychagua es el Scoop de 6 yardas cubicas, en la unidad se cuenta con el modelo CAT R1600.

*Figura 20. Procedimiento de limpieza de los tajeos en OCF.*



### 2.3. Definición de términos básicos

**Apertura:** es la distancia que crea entre las paredes rocosas discontinuas o el grado de apertura. La condición del macizo rocoso se ve afectada por la abertura, y cuanto mayor sea la abertura, peor será la condición.

**Contactos litológicos:** Que comúnmente forman, por ejemplo, la caja techo y caja piso de una veta.

**Criadero, Yacimiento o Depósito Mineral.** Una parte de la corteza terrestre, a través de procesos geológicos, forma o forma minerales valiosos que pueden ser económicamente explotados con los medios técnicos existentes. Los componentes principales de la incubadora son: mineral, veta de carbón y mina estéril.

**Diaclasas:** También conocidas como juntas, estas son grietas no desplazadas que típicamente ocurren en una masa rocosa.

**Discontinuidad:** Es un término utilizado en geología para denotar los límites entre capas de rocas de diferentes densidades, especialmente en el interior

de la Tierra (las llamadas discontinuidades de densidad o discontinuidades sísmicas).

**Estratificación:** Es una superficie característica de las rocas sedimentarias que divide capas de igual o diferente litología. Estas rocas también se pueden encontrar en rocas formadas por la metamorfosis de rocas sedimentarias.

**Espaciado:** Es la distancia vertical entre roturas adyacentes. Determina el tamaño de toda la masa de piedra. Cuanto menor sea la distancia, más pequeños serán los bloques, y cuanto mayor sea la distancia, más grandes serán los bloques.

**Fallas:** Las fracturas que se han desplazado. Estas son fracturas menores que se encuentran en áreas locales de la mina o estructuras significativas que pueden cruzar toda la mina.

**Geomecánica:** El estudio geológico del comportamiento de los suelos y las rocas se conoce como geomecánica. La mecánica del suelo y la mecánica de las rocas son los dos campos principales de la geomecánica.

**Geotecnia:** Es la rama de la geología que se ocupa de la aplicación de principios geológicos en la investigación de materiales naturales -como las rocas- que componen la corteza terrestre y que están relacionados con el diseño, la construcción y la explotación de proyectos de ingeniería.

**Investigaciones Geotécnicas.** Es un programa de investigaciones geotécnicas por medio de perforaciones diamantinas, a fin de obtener parámetros y características hidrogeológicas de los materiales presentes en la zona de estudio.

**Ley de corte.** Es la zona por debajo de la cual un yacimiento no puede ser explotado económicamente. La ley sobre minerales útiles, las características mineralógicas, la situación geográfica, la infraestructura o los medios de

transporte, la disponibilidad de energía, los precios de los metales, etc. son los parámetros más comunes.

**Masa Rocosa:** Es el medio in situ que contiene varios tipos de discontinuidades, como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales.

**Matriz rocosa.** - Material rocoso sin discontinuidades o bloques de roca intactos entre discontinuidades. A pesar de ser considerado continuo, es heterogénea y anisótropa, ligada a la fábrica, textura y estructura, mineral.

**Mena.** La mena es una masa de agregados minerales o rocas de las que se pueden extraer uno o varios metales de manera rentable.

**Orientación:** Es la posición de la discontinuidad en el espacio, y su rumbo y buzamiento lo descrito. Un grupo de discontinuidades que se presentan con una orientación similar y son aproximadamente paralelas se denomina un "sistema" o una "familia" de discontinuidades.

**Perfil litológico:** Es la sección de la geología que estudia la composición y estructura de las rocas, incluido el tamaño del grano, las características físicas y químicas, las estructuras metamórficas, entre otras cosas. Incluye también su composición, textura, tipo de transporte y material cementante.

**Perfil geotectónico:** Es el conjunto de tareas que incluyen la investigación del subsuelo. el análisis y las sugerencias para el diseño y la construcción del subsuelo.

**Perforación:** Es el primer paso en el proceso de preparación de una voladura. El objetivo es abrir huecos cilíndricos en la roca llamados taladros, que albergarán al explosivo y sus componentes iniciadores.

**Persistencia:** Es el tamaño o la extensión de una discontinuidad. La masa rocosa será más estable con menor persistencia y menos estable con mayor persistencia.

**Pliegues:** Las intrusiones de roca ígnea de forma tabular, que generalmente se presentan empinadas o verticales, son estructuras en las que los estratos se presentan curvados.

**Producción.** Es la actividad que genera valor agregado mediante la producción y distribución de bienes y servicios.

**Roca intacta:** Es el bloque que se encuentra entre las discontinuidades y se puede representar mediante una muestra de mano o un trozo de testigo utilizado en ensayos de laboratorio

**Roca meteorizada:** es el tratamiento de minerales y rocas que ocurren sobre o cerca de la superficie terrestre cuando estos materiales entran en contacto con la atmósfera, hidrósfera y biosfera.

**Rugosidad:** Es la irregularidad o aspereza de la superficie de la discontinuidad. La masa rocosa será menos competente cuanto menor sea la rugosidad con discontinuidad, y más competente será cuanto mayor sea la rugosidad con discontinuidad.

**Relleno:** Los materiales dentro de la discontinuidad. La masa rocosa es menos competente en materiales suaves, pero más competente en materiales duros.

**Veta.** Es la masa de material mineral tubular que se deposita en grietas, grietas o hendiduras en un cuerpo rocoso y tiene una composición diferente a la sustancia en la que se incrusta.

**Yacimiento.** Sitio donde se pueden encontrar minerales, rocas o fósiles de forma natural, especialmente cuando pueden ser explotados.

**Zonas de corte:** Son bandas de material de varios metros de espesor donde ha fallado la roca.

**Zonificación geomecánica.** proceso de separación de áreas con masas de roca con condiciones geomecánicas y comportamiento similares.

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

Si realizamos el análisis Geomecánico efectuaremos el sostenimiento por etapas en la Mina Andaychagua de la Compañía Minera Volcán

### **2.4.2 Hipótesis específicos**

- a. Si realizamos la evaluación geomecánica se determinará el tipo de sostenimiento por etapas en la Mina Andaychagua de la Compañía Minera Volcán.
- b. Si aplicamos el sostenimiento por etapas controlaremos la estabilidad del macizo rocoso en la Mina Andaychagua de la Compañía Minera Volcán.

## **2.5. Identificación de variables**

### **2.5.1. Variable independiente**

X: Análisis Geomecánico en la Mina Andaychagua.

### **2.5.2. Variable dependiente**

Y: Sostenimiento por Etapas en la Mina Andaychagua.

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 4. Operacional de Variables

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Análisis Geomecánico en la Mina Andaychagua.	Según el Análisis Geomecánico realizado el mineral tiene calidad de masa rocosa Regular B (IIIB), mientras que la caja techo tiene calidad Mala A (IVA) y la caja piso Regular A (IIIA). De las 3 secciones de análisis esta Sección 1 tiene las condiciones geomecánicas más favorables. Se señala que en el modelamiento numérico realizado la simulación del minado se ha hecho dentro de la masa rocosa mineralizada de calidad Regular B considerando tajeros de 12 m de ancho que es lo que en la práctica soportan las losas de concreto de Andaychagua. En este caso las paredes del tajeo también estarán en roca Regular B (IIIB). Para tajeros de mayor ancho (hasta 24 m) es recomendable que se realice una evaluación geomecánica para establecer el método de minado adecuado.	Plan de minado	Evaluación Geomecánica
				Parámetros Geotécnicos
				Ciclo de Minado
				Producción
			Sostenimiento	Tiempo de autosostenimiento
				Etapas de Escavación
				Tipos de Sostenimiento
				Relleno
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: Sostenimiento por Etapas en la Mina Andaychagua.	El Departamento de Geomecánica de la Mina Andaychagua debe llevar a cabo un análisis retrospectivos (back analysis) de los problemas de inestabilidad, que puedan ocurrir en las etapas de escavación en las diferentes zonas, asociadas al minado de la Veta Andaychagua. Los resultados de estos análisis servirán para la calibración de los modelamientos que se puedan hacer en el futuro para optimizar la secuencia de avance del minado y el sostenimiento.	Desarrollo	Shotcrete. Shotcrete + malla + shotcrete).
				Split set. Pernos hydrabolt.
			Explotación	Cables bolting
				Cimbras Arcos Noruegos

Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION**

#### **3.1. Tipo de investigación**

El estudio que considera los objetivos es una investigación de carácter experimental-aplicativo, esta investigación se adecua en el nivel descriptivo, correlacional y explicativo.

#### **3.2. Nivel de la investigación**

De acuerdo a la caracterización del Macizo rocoso, se puede deducir que el análisis realizado para determinar el tipo de sostenimiento a aplicar en la Mina Andaychagua, fue de acuerdo al método de explotación, lo cual nos permite tener a detalle las aberturas que se tienen que realizar en el Macizo rocoso, detallando los parámetros geotécnicos de la mina.

#### **3.3. Métodos de investigación**

El estudio se localiza dentro del método de investigación lógico donde se resuelve el análisis, la deducción y la síntesis, como también de la investigación que se maneja mediante la observación que influyen a la esencia del estudio.

Determinando la conclusión final a partir de los datos de campo, que fueron los principales antecedentes para la consumación y aprobación del proyecto.

### **3.4. Diseño de la investigación**

El estudio está de acuerdo a la investigación cuantitativa, descriptiva y correlacional, se tiene unas bases de datos que describe los resultados del sostenimiento a realizar en cada etapa correspondiente al tipo de roca presente en cada fase. Luego de ejecutar las pruebas se establece un diseño de sostenimiento, mediante los resultados obtenidos en el análisis geomecánico realizado en la mina Andaychagua.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

La población del estudio está basada en los métodos de explotación que se efectúan en la mina Andaychagua, cuyos datos nos permiten tener un panorama general de toda la mina.

#### **3.5.2. Muestra**

Las muestras son la aplicación del tipo de sostenimiento, en cada etapa de las excavaciones realizadas que fueron diseñadas de acuerdo al tipo de roca y determinadas por el soporte que vienen realizando en cada zona.

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

#### **3.6.1. Técnicas**

Descripción de las técnicas empleadas

- **Recopilación y análisis de data**

Se solicito a la empresa la información con respecto a los métodos de explotación que realizan, en la que tiene todos los datos de la geología de la mina, los estudios realizados para la aplicación de los métodos

de explotación, de igual modo información obtenida durante el trabajo de campo en toda la mina.

- **Observación directa y toma de datos**

Se realizaron observaciones directas en todo el proceso de explotación de la mina, obteniendo información in-situ, para desarrollar un análisis detallado de toda la mina.

- **Búsqueda de información bibliográfica**

Se tiene a disposición en diferentes páginas de internet información con respecto a sostenimiento, que sirven como referencia del trabajo que realizan en las diferentes mineras del país, así como información técnica de sostenimiento, pero cabe detallar que cada empresa minera tiene diferentes condiciones en su proceso de efectuar el sostenimiento.

### **3.6.2. Instrumentos**

- **Materiales**

- ✓ Planos topográficos
- ✓ Informes Geológicos y Geomecánicos.
- ✓ Método de explotación, como base de datos.
- ✓ Plan de Minado anteriores y actuales.
- ✓ Informes diarios de geomecánica.
- ✓ Informes del personal involucrado en nuestro estudio.
- ✓ Brújula, mapeador, flexómetro, picota, etc.

### **3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

La evaluación de los procedimientos de explotación nos permitirá desarrollar propuestas para la implementación y adecuación de los recursos para su explotación.

### **3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Se efectuó un análisis de toda la información obtenida, junto con los datos de campo y una observación rigurosa de toda la mina lo que nos permitió obtener en detalle un procedimiento claro con relación al tipo de sostenimiento que debe aplicarse para un adecuado soporte de las labores durante el proceso de excavación de la mina.

### **3.9. Tratamiento estadístico**

En el proceso estadístico se siguió normalmente las fases siguientes:

- Definir qué queremos tipo de investigación se tiene que realizar.
- Seleccionar adecuadamente la muestra, que fueron los trabajos realizados con anterioridad.
- Recoger los datos de forma metodología y organizarlos bien. Mediante un mapeador y la caracterización pertinente.
- Analizar los resultados e interpretar los datos extraídos y obtenidos para encontrar la respuesta adecuada a lo planteado inicialmente en la mina, lo que conllevara a una adecuación de las conclusiones.

### **3.10. Orientación ética, filosófica y epistémica**

La investigación se desarrolló dentro de los principios de la ética profesional, a efectos de un arduo trabajo en la mina Andaychagua, determinándola como propia y original, teniendo en cuenta los valores y principios de una investigación.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **Registro de Datos**

Según estudios previos realizados anteriormente por la consultora DCR en mina Andaychagua los cuales fueron llevados cabo en el NV 670, NV 800, tomando en consideración la proyección a los niveles inferiores por debajo de este NV.

La información geomecánica se registra a través del mapeo geotécnico de macizos rocosos expuestos en operaciones subterráneas y el mapeo geotécnico de núcleos de perforación diamantina como parte de la exploración minera y de minerales y la identificación geotécnica de la masa rocosa de las cajas.

El "método directo por celdas de detalle" se utiliza para realizar un mapeo geotécnico de la masa rocosa expuesta en los trabajos subterráneos. Se utilizaron estas técnicas para llevar a cabo a cabo mediciones sistemáticas de las

discontinuidades en 53 estaciones de medición, cada una de las cuales representaba un área de extensión diferente de la roca expuesta en las labores mineras.

Los parámetros de observación y medición se obtuvieron utilizando formatos de registro creados para este propósito y ajustados a los estándares recomendados por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). El tipo de roca, el tipo de sistema de discontinuidad, la orientación, el espaciado, la persistencia, la apertura, la rugosidad, el tipo de relleno, la intemperización y la presencia de agua eran los siguientes parámetros. Se registraron datos sobre la resistencia de la roca y el grado de fracturamiento.

Los núcleos de perforación diamantina, los registros geotécnicos se realizaron utilizando métodos convencionales, en un formato también adecuado para los estándares ISRM y con parámetros de observación y medición similares a los descritos anteriormente.

### **Aspectos Litológicos**

Las características litológicas simplificadas del macizo rocoso en la actual zona minera de Andachagua son las siguientes: el piso y el techo están representados por una secuencia de rocas volcánicas, filita, rocas volcánicas metamórficas y rocas intrusivas. Encima hay roca volcánica y debajo filita.

En general, las filitas contienen las metas volcánicas. La roca intrusiva se encuentra principalmente en el centro de la veta Andaychagua y en el piso o techo de la misma.

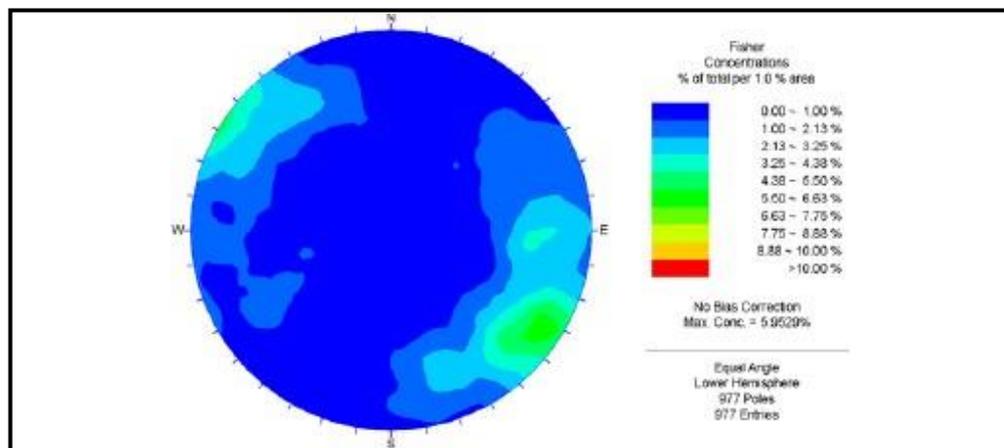
## Distribución de Discontinuidades

Caracterizando la distribución de discontinuidad, se procesaron datos direccionales utilizando técnicas estereográficas y una versión computacional de DIPS.

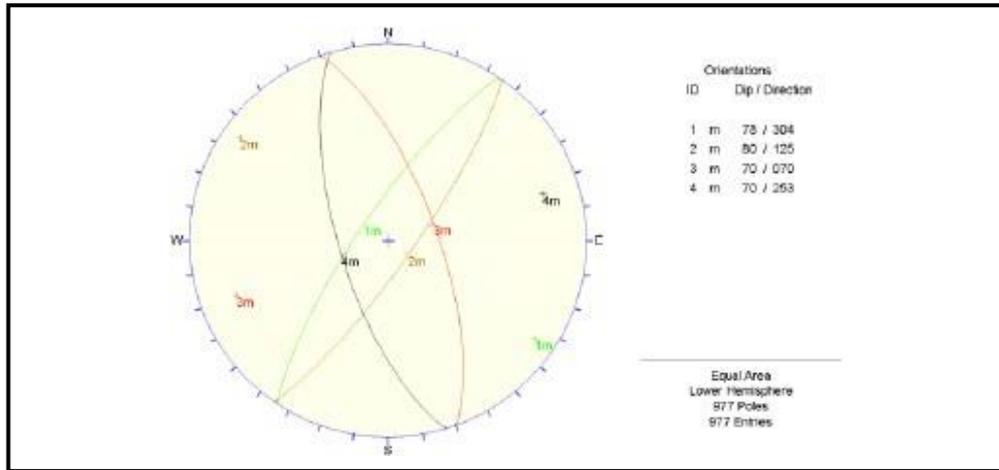
*Tabla 5. Sistema de discontinuidades estructurales mayores (fallas).*

Litología	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Volcánico	N36°E/77°NW	N36°E/79°SE	N24°W/70°NE	N09°W/73°SW
	77°/306°	79°/126°	70°/066°	73°/261°
Filita	N31°E/78°NW	N34°E/79°SE	N34°W/52°NE	N45°W/48°SW
	78°/301°	79°/124°	52°/056°	48°/225°
<u>Metavolcanico</u>	N10°E/80°NW	N31°E/74°SE	N12°W/70°NE	N27°W/65°SW
	80°/280°	74°/121°	70°/078°	65°/243°
Intrusivo	N39°E/81°NW	N34°E/78°SE	N89°W/66°NE	N19°W/53°SW
	81°/309°	78°/124°	66°/001°	53°/251°
<u>Composito</u>	N34°E/78°NW	N35°E/80°SE	N20°W/70°NE	N17°W/70°SW
	78°/304°	80°/125°	70°/070°	70°/253°

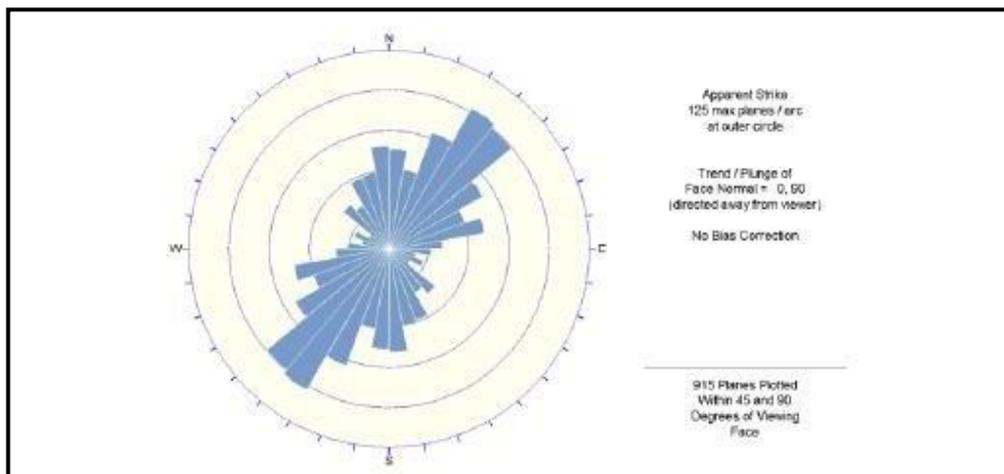
*Figura 21. Diagrama estereográfico de contornos del Composito de fallas.*



**Figura 22.** Diagrama estereográfico de planos del Composito de fallas.



**Figura 23.** Diagrama de roseta del Composito de fallas



Un análisis basado en toda la información disponible muestra que la disposición estructural del macizo rocoso producido en la veta Andaycchagua tiene las siguientes características:

Respecto a las estructuras mayores:

- Se muestran cuatro sistemas diferentes de fallas geológicas: dos sistemas principales (sistema 1 y sistema 2) y dos sistemas secundarios (sistema 3 y sistema 4). Los sistemas principales tienen rumbos altos y

aproximadamente paralelos a la veta Andaychagua (NE), mientras que los buzamientos altos están opuestos al norte y al sur, respectivamente.

- Los sistemas secundarios tienen rumbos que están aproximadamente perpendiculares a la veta Andaychagua (NW) y buzamientos moderados que están opuestos al NE y SW, respectivamente.
- Todos los tipos de rocas (volcánico, filita, metavolcánico e intrusivo) mantienen la tendencia de fallas geológicas descritas en el párrafo anterior. Los dos sistemas de falla más comunes en la industria minera son: Sistemas 1 y 2.

Concerniente a las estructuras menores:

- La tendencia general del arreglo estructural de la masa rocosa presenta cuatro sistemas de discontinuidades, compuestos principalmente por diaclasas, dos sistemas principales y dos secundarios, de manera similar a los sistemas de fallas. Los sistemas principales 1 y 2 tienen buzamientos altos y rumbo aproximadamente paralelo a la veta Andaychagua (NE), respectivamente. Los sistemas secundarios 3, 4 y 5 tienen un rumbo aproximadamente perpendicular a la veta Andaychagua (NW) y tienen buzamientos moderados a altos, respectivamente, y están opuestos al NE y SW.
- La misma tendencia de arreglo estructural de la masa rocosa descrita en el párrafo anterior se mantiene en todos los tipos de rocas presentes en la zona de estudio (mineral, volcánico, filita, meta volcánico e intrusivo).
- Los sistemas de discontinuidad menores están relacionados con los sistemas de discontinuidad mayores (fallamiento).

### **Características Estructurales**

Se trató de compatibilizar las observaciones in situ con el tratamiento estadístico de la información registrada en los mapeos geotécnicos para determinar las características estructurales de las discontinuidades. De acuerdo con esto, las principales características estructurales de las discontinuidades tanto mayores como menores son las siguientes:

**Fallas:**

La distancia entre fallas suele ser de 5 a 20 m, y la duración es de decenas a cientos de metros. Estas fallas siguen todo el contorno de la veta Andaycchagua, corren paralelas a la veta y también cortan la veta vertical o diagonalmente.

Las grietas tienen relleno de arcilla, panizo, brechas y materiales oxidados, con un espesor de entre 5 y 50 cm, a veces hasta más de un metro, lo que crea las falsas cajas de la veta. Las superficies de las caras son lisas con espejos de fallas y las aperturas son menores a 5 mm. Estas fallas hacen que el agua se infiltre. Es importante destacar que la falla Andaycchagua, que corta diagonalmente a la veta del mismo nombre, es la falla más significativa del área de estudio.

**Diaclasas:**

**Mineral**

Las rocas mineralizadas tienen las siguientes características texturales: espaciamiento de 6 a 20 cm, persistencia de 3 a 10 m, aberturas variables menores a 1 mm, rugosidad de la pared que varía de ligera a lisa con algunas ondulaciones y materiales de relleno que son suaves y existenciales. Debido a la presencia de humedad y superficies mojadas en algunas partes del tajeo, que consiste en arcilla y calcita de hasta 5 mm de

espesor, las paredes heterogéneas en algunos casos experimentan cambios de moderados a severos.

### **Volcánico**

Sus características estructurales incluyen un espacio de 20 a 60 cm, una resistencia de 3 a 10 m, una apertura variable de menos de 1 mm, paredes ligeramente rugosas y un relleno suave con arcilla, calcita y piritita en ocasiones, con espesores de hasta 2 mm. Las paredes de las discontinuidades están ligeramente alteradas a sanas, con presencia de humedad y a veces con superficies mojadas y goteos. La roca volcánica se fractura y altera más cuando está en contacto con la estructura mineralizada.

### **Filita**

Sus características estructurales incluyen distancias de 6 a 20 cm, aberturas de 1 mm a cerradas, superficie generalmente lisa, relleno ligeramente rugoso, blando y arcilla de espesor inferior a 1 mm. Los muros de rotura se incluso ligeramente alterados por la humedad y las superficies mojadas. En las zonas mineralizadas, la filita presenta fracturas, aberturas y alteraciones discontinuas de la pared.

### **Metavolcánico**

Sus características estructurales son las siguientes: la distancia promedio es de 6 a 20 cm, la resistencia es de 3 a 10 m, la apertura es variable y tiene una apertura menor a 1 mm. En algunos casos, la rugosidad de las paredes es ligera y lisa, el relleno es suave con espesores de hasta 2 mm, las paredes de las discontinuidades están ligeramente alteradas, con

presencia de humedad o superficies mojadas en otros casos. Las paredes se alteran más con el Metavolcánico en contacto con la veta.

### **Intrusivos**

Sus características estructurales incluyen un espacio de 20 a 60 cm, una resistencia de 3 a 10 m, una apertura de menos de 1 mm, una ligera rugosidad en las paredes, un relleno suave con arcilla y espesores menores de 1 mm, y las paredes de las discontinuidades ligeramente alteradas y con humedad. El intrusivo se presenta en las cajas de la estructura mineralizada y se ve afectado localmente en el contacto por la mayor alteración de las paredes de las discontinuidades.

### **Clasificación Geomecánica de la Masa Rocosa**

La masa de roca se clasificó geomecánicamente utilizando el criterio de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR – valoración del macizo rocoso-1989). Los valores de resistencia compresiva de la roca intacta se determinarán utilizando los métodos establecidos en resistencia de roca intacta.

El registro lineal de discontinuidades se utiliza para calcular los valores del índice de calidad de la roca (RQD).

El criterio utilizado para clasificar a la masa rocosa se presenta en el siguiente cuadro:

*Tabla 6. Clasificación del macizo rocoso según el RMR.*

<b>Tipo de Roca</b>	<b>Rango RMR</b>	<b>Calidad según RMR</b>
II	>60	Buena
III A	51-60	Regular A
III B	41-50	Regular B
IV A	31-40	Mala A
IV B	21-30	Mala B
V	< 21	Muy Mala

*Tabla 7. Resumen de calidad RMR de la masa rocosa del a veta Andaychagua.*

<b>Litología</b>	<b>Rango RMR</b>	<b>RMR promedio</b>	<b>Calidad</b>
Mineral	26-41	33	Mala A
Volcánico	44-64	57	Regular A
Filita Negra	30-45	35	Mala A
Filitas silicificadas	43-58	49	Regular B
Metavolcanico	26-57	42	Regular B
Intrusivo	52-64	57	Regular A

Según el cuadro anterior y utilizando valores promedio de calidad de la masa rocosa, el mineral y las filitas negras tienen calidad MALA A; las filitas silicificadas y el metavolcanico tienen calidad Regular B; y los volcanes e intrusivos tienen calidad Regular A. Es importante que quede claro que todas las rocas encajonantes mencionadas corresponden a cajas sanas. En el contacto con el mineral la masa rocosa de los diferentes tipos de rocas se presenta muy alterada formando lo que se denomina la “falsa caja”, esta falsa caja que es la caja inmediata forma un paquete de espesores que varía de 1 a 1.5 m y en algunos casos hasta 2 m, cuya calidad generalmente es Mala B (RMR 25-30).

### **Zonificación Geomecánica de la Masa Rocosa**

Para que los criterios de diseño y el análisis de resultados sean válidos, es necesario dividir el macizo rocoso estudiado en regiones con propiedades estructurales y mecánicas similares para aplicar racionalmente diversos métodos de cálculo de la mecánica de la roca. Tiene características mecánicas y físicas similares. Como resultado, es común en el diseño de excavaciones subterráneas dividir el área de investigación en dominios geomecánicos o estructurales.

El apartado anterior definió la zonificación geomecánica, que tiene en cuenta los elementos de litología y calidad de las rocas macizas. La tabla siguiente muestra los dominios estructurales.

*Tabla 8. Descripción de la litología de la Veta Andaychagua.*

<b>Litología</b>	<b>Dominio Estructural</b>	<b>RMR promedio</b>	<b>Calidad</b>
Mineral	IV-A	33	Mala A
Volcánico	III-A	57	Regular A
Filita Negra	IV-A	35	Mala A
Filitas silicificadas	III-B	49	Regular B
Metavolcanico	III-B	42	Regular B
Intrusivo	III-A	57	Regular A
Falsa caja filita	IV-B	25	Mala B
falsa caja volcánico	IV-B	30	Mala B

### **Resistencia de la Roca**

La resistencia compresiva no confinada de la roca intacta es uno de los parámetros más importantes para evaluar el comportamiento mecánico de la masa rocosa. Los siguientes procedimientos se utilizarán para obtener los valores de este parámetro:

Durante el mapeo geotécnico de afloramientos rocosos y el mapeo de testigos rocosos de perforaciones diamantinas, se realizaron ensayos de golpes con el martillo de geólogo y el martillo Schmidt de dureza, según las normas ISRM. Los resultados de los ensayos se consignan directamente en los formatos de mapeos geotécnicos, y para los ensayos con el martillo Schmidt, se muestran a continuación:

*Tabla 9. Resistencia de la roca en la litología de la Veta Andaychagua.*

<b>Litología</b>	<b>Rango NR</b>	<b>Rango <math>S_c</math>(Mpa)</b>	<b>Prom. <math>S_c</math>(Mpa)</b>
Mineral	20-32	35-72	44
Volcánico	45-55	120-207	158
Filita	20-35	31-69	45
Metavolcanico	25-38	40-82	59

- Ensayos de mecánica de rocas en laboratorio: carga puntual y compresión triaxial sobre sondas obtenidas de testigos de perforaciones diamantinas y de bloques rocosos. Los resultados se dan a continuación:

*Tabla 3. Resultados de los ensayos de compresión Triaxial.*

Sondaje	Bloque	Litología	S <sub>c</sub> (Mpa)
Geotec-01	-	Filita	27.6
Geotec-02	-	Volcánico	123.9
-	M-1	Mineral	124

Sondaje	Litología	"m <sub>i</sub> "	S <sub>c</sub> (Mpa)	Cohesión(Mpa)	Angulo de Fricción (°)
Geotec-01	Filita	14.47	81	15.72	48.23
Geotec-02	Filita	22.16	47	11.53	46.84
Geotec-01	Volcánico	18.06	161	28.97	51.26

Los ensayos de compresión triaxial han encontrado, además de la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta, valores de la constante "m<sub>i</sub>" del criterio de falla de Hoek & Brown (2002–2006) y los parámetros de resistencia al corte: cohesión y ángulo de fricción de Mohr Coulomb.

Además, se han realizado pruebas de propiedades físicas en la roca intacta, los resultados de los cuales se presentan a continuación. Con este ensayo se obtuvo la porosidad, la absorción y la densidad.

*Tabla 4. Resultados de los ensayos de propiedades físicas.*

Sondaje	Bloque	Litología	Porosidad Aparente (%)	Absorción (%)	Densidad seca(g/cm <sup>3</sup> )
Geotec-01	-	Volcánico	0.564	0.211	2.668
Geotec-01	-	Filita	0.532	0.192	2.763
Geotec-02	-	Filita	2.373	0.861	2.763
-	M-1	Mineral	1.857	0.542	3.529

Para el caso de las filitas, los resultados de los ensayos de laboratorio sobre roca intacta corresponden principalmente a filitas moderadamente silicificadas.

No se realizaron ensayos en las filitas negras por no poder extraer muestra apropiada para estos ensayos dada la mala calidad de esta roca. Algo similar ocurre con el mineral, ya que no se pudieron obtener muestras apropiadas en rocas de mala calidad. Por otro lado, cabe señalar que el Departamento de Geomecánica de Mina Andaychagua está programando la segunda batería de pruebas en cuanto a propiedades físicas de roca intacta.

### **Condiciones de Agua Subterránea**

La presencia de agua en la masa rocosa tiene un impacto negativo en la estabilidad de las operaciones subterráneas. La presión que ejerce sobre las discontinuidades reduce su resistencia al corte, lo que reduce el factor de seguridad o el grado de estabilidad.

La presencia de agua en la mina Andaychagua es uno de los principales problemas, ya que, junto con la roca de baja calidad del mineral y las cajas, dificulta las condiciones de estabilidad de las excavaciones relacionadas con el minado. Es aconsejable llevar a cabo investigaciones de hidrogeología para realizar una evaluación exhaustiva de las condiciones de presencia del agua en la mina Andaychagua.

### **Esfuerzos In-Situ**

La veta Andaychagua cruza transversalmente la quebrada del mismo nombre, por lo que, si miramos la sección longitudinal, la parte central de la veta está alineada con el fondo de la quebrada (el río Andaychagua), y los lados NE

y SW están alineados con las laderas de la quebrada. La profundidad promedio de las aéreas de minado en la parte central de la veta es de alrededor de 750 hasta 1750 NV. Se espera que los esfuerzos sean de magnitudes moderadas a altas y que su impacto en las excavaciones futuras sea un factor importante a tener en cuenta para la estabilidad.

Se utilizó el criterio litostático (Hoek & Brown) para estimar el esfuerzo vertical, tomando en cuenta las profundidades máximas de 750 a 950 m previamente mencionadas. Este criterio da como resultado un esfuerzo vertical in situ de aproximadamente 17 a 23 Mpa. El esfuerzo in-situ horizontal se calculó utilizando la constante "K", que es la relación entre los esfuerzos horizontales y verticales, que es 0,7. Los esfuerzos horizontales in situ son de 13 a 17 Mpa cuando K es 0,7. Sin embargo, los esfuerzos horizontales in situ estarían entre 9,5 y 12 Mpa si se utiliza el criterio de Sheorey.

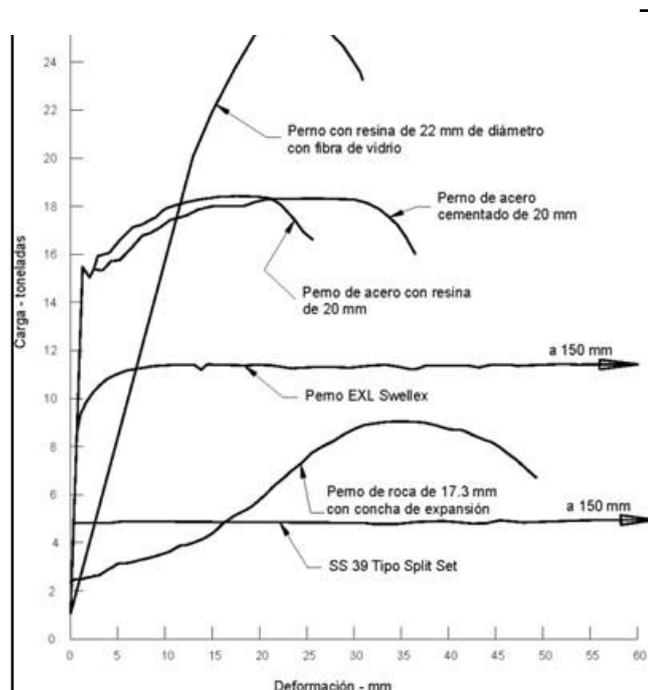
## **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

### **Diseño de Sostenimiento**

Nuestro trabajo, especialmente durante el desarrollo del casco de Prosperidad Techo, involucra simulaciones en el software Unwedge para identificar las cuñas, donde se calcula el volumen, peso y esquinas de la estructura, donde se diseñan los soportes, además del fuerte soporte del cámara principal, estas cuñas se pueden controlar para anclarse en la masa rocosa.

**a. Diseño de Sostenimiento en intersecciones**

*Figura 24. Gráfica de deformaciones*



En el cuadro, verificamos la capacidad de carga con la deformación y descubrimos que el perno Swellex tiene una capacidad de anclaje constante de 10 toneladas en promedio.

*Tabla 5. Adherencias de Pernos.*

Adherencia del perno	
Tipo de perno	Adherencia de perno (ton/m)
Swellex estándar en terreno blando (<45 RMR)	8.1-13.8
Swellex estándar en terreno resistente (>55 RMR)	9-15
Cable bolt en terreno blando (<45 RMR)	24
Cable bolt en terreno resistente (>55 RMR)	28

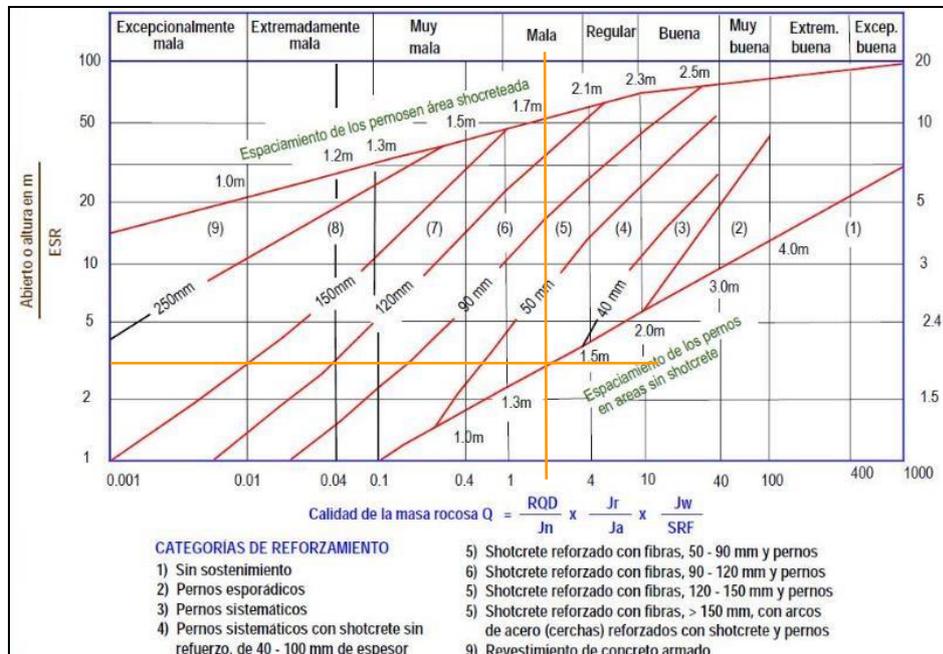
En el cuadro se verifica la capacidad de carga de la malla electrosoldada usada en nuestras operaciones:

**Tabla 6. Resistencia de las Mallas**

MALLA – RESISTENCIA AL ABULTAMIENTO DISTRIBUCIÓN 1.2 m x 1.2 m	
4x4 "Malla Electro soldada (Calibre 4)	Resistencia Abultamiento = 3.6 toneladas
4x4 "Malla Electro soldada (Calibre 6)	Resistencia Abultamiento = 3.3 toneladas
4x4 "Malla Electro soldada (Calibre 9)	Resistencia Abultamiento = 1.9 toneladas
4x4 "Malla Electro soldada (Calibre 12)	Resistencia Abultamiento = 1.4 toneladas
2" Malla de Eslabones (Calibre 11 metal desnudo)	Resistencia Abultamiento = 2.9 toneladas
2" Malla de Eslabones (Calibre 11 galvanizado)	Resistencia Abultamiento = 1.7 toneladas
2" Malla de Eslabones (Calibre 9 metal desnudo)	Resistencia Abultamiento = 3.7 toneladas
2" Malla de Eslabones (Calibre 9 metal desnudo)	Resistencia Abultamiento = 3.2 toneladas
Calibre 4 =0.23" diámetro. Calibre 6=0.20" diámetro. Calibre 9=0.16" diámetro. Calibre 11=0.125" diámetro. Calibre 12=0.11" diámetro. Resistencia al Corte del Shotcrete = 2 MPa=200 toneladas/m <sup>2</sup>	

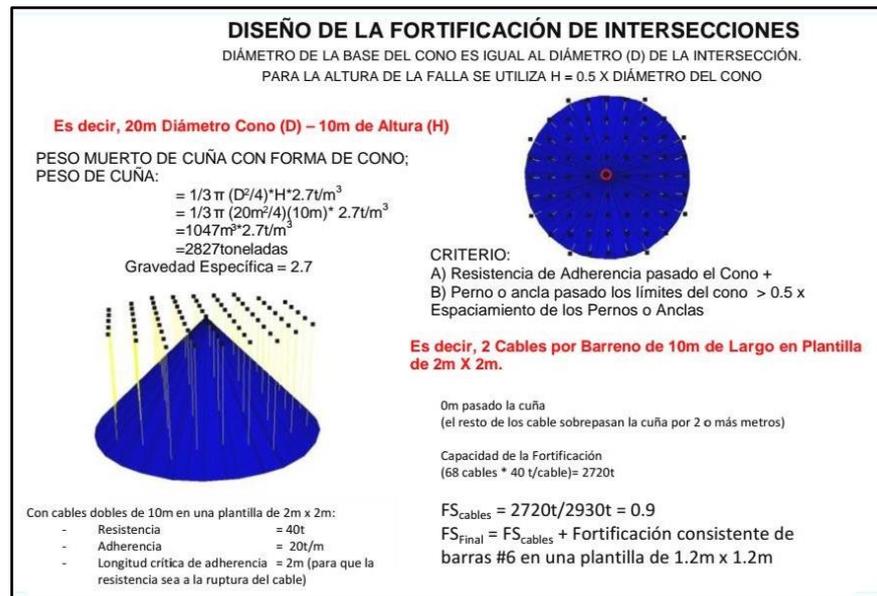
Interpolando datos, en nuestras operaciones se viene usando la malla electrosoldada 4"x 4" calibre 8 con una resistencia de abultamiento de 2.6 ton.

**Figura 25. Reforzamiento en el Sostenimiento.**



Según el gráfico de reforzamiento, se necesitan más pernos sistemáticos de shotcrete para la calidad de la roca del trabajo, según la recomendación geomecánica.

Figura 26. Diseño de fortificación en intersecciones



En el análisis de las cuñas en las intersecciones, se calculó el ápice de mayor altura dando como resultados la longitud del elemento de anclaje para un sostenimiento que supere el factor de seguridad  $\geq 2$

Tabla 7. Factor de Seguridad Según Longitud de Cable Bolting

LONGITUD CABLE (m)	D- CONO	H- CONO	PESO CUÑA	Nº CABLES	RESISTENCIA CABLE (Tn)	CAPACIDAD DE CABLE	FACTOR SEGURIDAD
4	8	4	180.86	15	25	375	2.07
6	10	5	353.25	29	25	725	2.05

	CABLE LISO	PERNO CABLE - MINICAGE	PERNO CABLE - BIRDCAGE
RESISTENCIA A LA FLUENCIA MÍNIMO	23.9 Tn	23.9 Tn	23.9 Tn
RESISTENCIA A LA RUPTURA MÍNIMO	26.5 Tn	26.5 Tn	26.5 Tn
ALARGAMIENTO MÍNIMO	3.50%	3.50%	3.50%
CALIDAD DE ACERO	ASTM A416-270	ASTM A416-270	ASTM A416-270
DIÁMETRO DEL CABLE	35 mm	25 mm	35 mm
PESO LINEAL	1.10 kg/m	1.10 kg/m	1.10 kg/m

## b. Malla y diseño de instalación

Figura 27. Diseño de Malla Cable Bolting

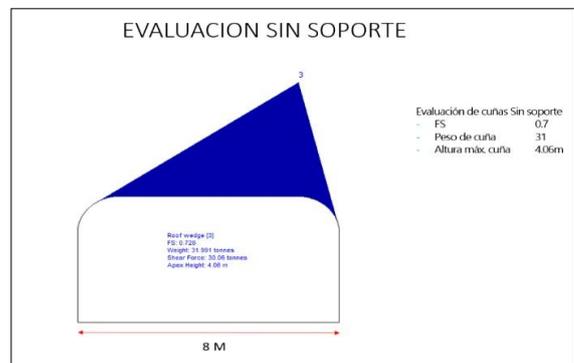
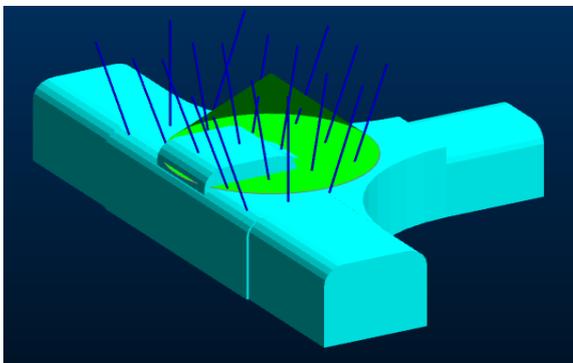
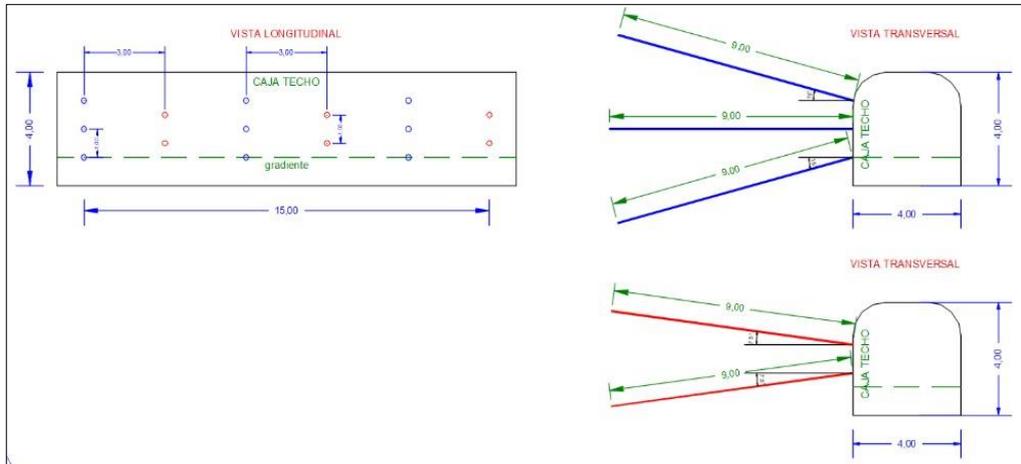
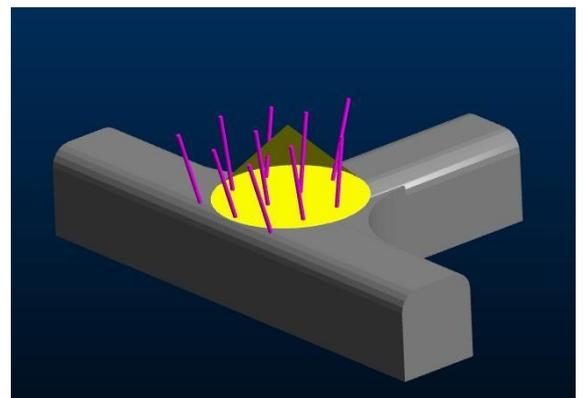
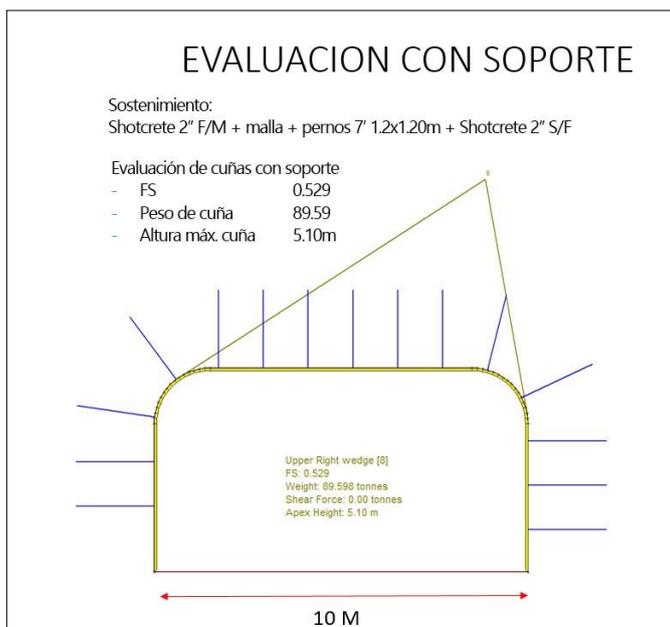


Figura 28. Evaluación de Soporte con Cable Bolting.



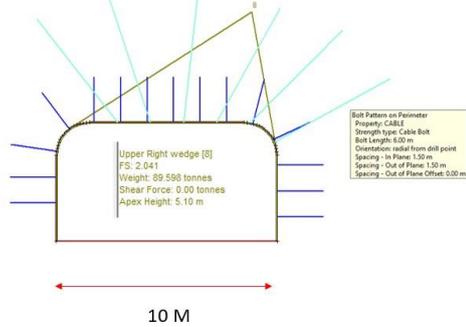
## EVALUACION CON SOPORTE PROPUESTO

Sostenimiento:  
Shotcrete 2" F/M + malla + pernos 7' 1.2x1.20m + Shotcrete 2" S/F

Reforzado con cables bolt de 6m espaciados a 1.5x1.5m

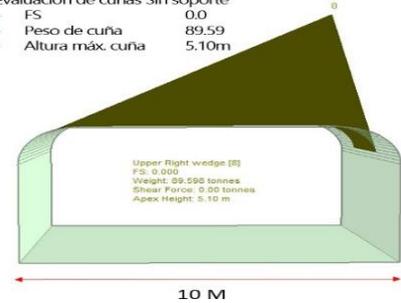
Evaluación de cuñas con soporte

- FS 2.041
- Peso de cuña 89.59
- Altura máx. cuña 5.10m



## EVALUACION SIN SOPORTE

- Evaluación de cuñas Sin soporte
- FS 0.00
  - Peso de cuña 89.59
  - Altura máx. cuña 5.10m

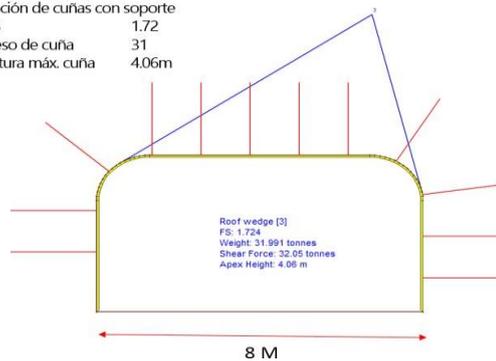


## EVALUACION CON SOPORTE

Sostenimiento:  
Shotcrete 2" F/M + malla + pernos 7' 1.2x1.20m + Shotcrete 2" S/F

Evaluación de cuñas con soporte

- FS 1.724
- Peso de cuña 31
- Altura máx. cuña 4.06m



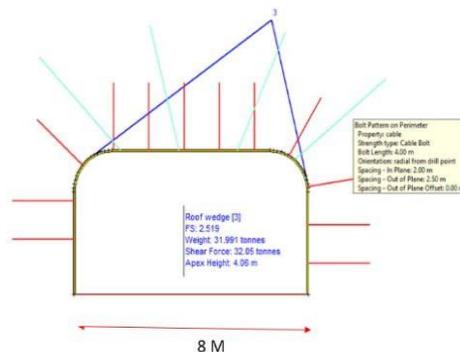
## Aberturas máximas de las excavaciones y sostenimiento

## EVALUACION CON SOPORTE PROPUESTO

Sostenimiento:  
Shotcrete 2" F/M + malla + pernos 7' 1.20x1.20m + Shotcrete 2" S/F

Reforzado con cables bolt de 4m espaciados a 2.0 x 2.5m

- Evaluación de cuñas con soporte
- FS 2.519
  - Peso de cuña 31.9
  - Altura máx. cuña 4.06m



**Tabla 8. Aberturas Máximas para Labores Permanentes.**

**Aberturas máximas de las excavaciones permanentes**

Dominio	Rango RMR	Promedio RMR	Abertura máxima (m)	Tiempo de autosostenimiento
DE-II	> 60	65	9.0	4 meses
DE-III A	51-60	55	5.7	1 mes
DE-III B	41-50	45	3.5	4 días
DE-IV A	31-40	35	2.4	20 horas
DE-IV B	21-30	25	1.5	2 horas

**Tabla 9. Sostenimiento Estimado para Labores de Avances Permanente**

Sostenimiento para labores de avance permanentes		
Dominio	Rango RMR	Sostenimiento
DE-II	> 60	Requiere solo sostenimiento esporádico.
DE-III A	51 – 60	Requiere solo sostenimiento esporádico.
DE-III B	41 – 50	Pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciados de 1.0 a 1.5 m. De ser requerido instalar malla metálica. Como alternativa usar una capa de shotcrete de 2".
DE-IV A	31 – 40	Pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciados cada 1.0 m + malla metálica de ser requerido + shotcrete de 2" a 3" de espesor.
DE-IV B	21 – 30	Aplicar preventivamente una capa de shotcrete reforzado de 2" de espesor. Pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciados cada 1.0 m + malla metálica + shotcrete de 2" a 3" de espesor. Como alternativa, cimbras tipo 6W20 espaciadas de 1.0 a 1.5 m, colocando previamente una capa de shotcrete reforzado de 2" de espesor.
DE-V	< 21	Cimbras tipo 6W20 espaciados cada 1 m, previamente aplicar una capa de shotcrete de 2" de espesor. De ser necesario usar spilling bar o marchavantes.

**c. Excavaciones temporales**

**Tabla 10. Sostenimiento Estimado para Labores Temporales**

Cuadro 5.3 Sostenimiento para labores de avance temporales		
Dominio	Rango RMR	Sostenimiento
DE-II	>60	Requiere solo sostenimiento esporádico.
DE-III A	51 – 60	Requiere solo sostenimiento esporádico.
DE-III B	41 – 50	Pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciados cada 1.5 m. Malla metálica de ser requerida. Como alternativa una capa de shotcrete de 2" de espesor.
DE-IV A	31 – 40	Pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciados de 1.2 a 1.5 m + malla metálica de ser requerida + una capa de shotcrete de 2" de espesor.
DE-IV B	21 – 30	Preventivamente una capa de 2" de shotcrete + pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciados cada 1.0 m + malla metálica + shotcrete de 1" a 2" de espesor.
DE-V	< 21	Utilizar elementos de sostenimiento como spilling bar espaciados cada 0.25 m, o pernos tipo spilling inyectados y autopercutores, pernos swellex espaciado cada 1.0 m, + shotcrete de 4" de espesor + malla metálica y de ser necesario cerchas reticuladas espaciadas a 1.0 m.

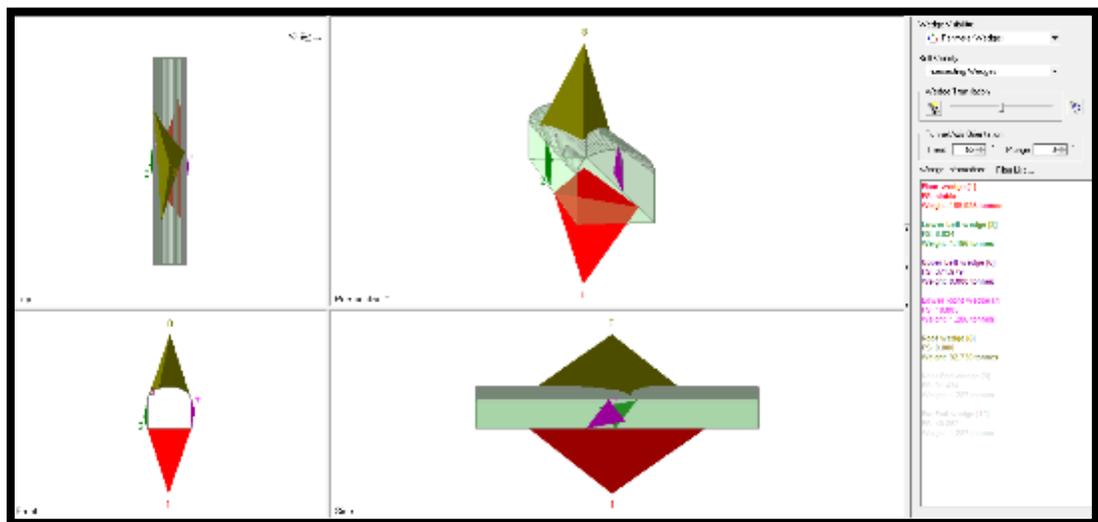
**d. Estabilidad estructuralmente controlada**

Se ha realizado el análisis para dirección paralelo al rumbo de la veta, considerando una sección de la labor de 4 m x 4 m, en los sectores del ala derecha e izquierda (extremos) se observa la formación de cuñas estables en

el techo y cajas de tamaño mediano que pueden ser estabilizadas con pernos Hydrabolt y/o Split Set de 7 pies de longitud para excavaciones temporales excavaciones temporales, sin embargo en el sector del ala derecha parte central setiene cuña en la corona inestable, por lo que se sugiere la instalación de cables bolting de 6 metros.

Avance del Sub Nivel:

*Figura 29. Modelamiento de Cuñas*



#### 4.3. Prueba de hipótesis

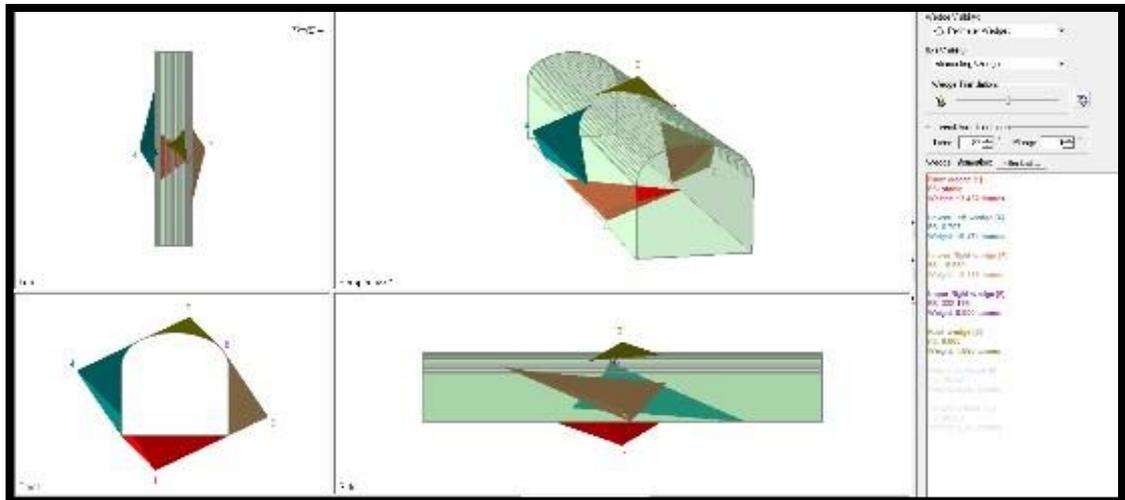
Con la variable independiente y dependiente, se efectuar la prueba de la hipótesis, las cuales fueron expuestas en el proyecto de investigación, con la aplicación de estas variables se acepta la hipótesis:

Si efectuamos el análisis Geomecánico se efectuar el Sostenimiento por Etapas en la Mina Andaychagua de la Cía. Minera Volcán.

- ✓ H0: Análisis Geomecánico en la Mina Andaychagua de la Compañía Minera Volcán.
- ✓ H1: Sostenimiento por etapas en la Mina Andaychagua de la Compañía Minera Volcán.

#### 4.4. Discusión de resultados

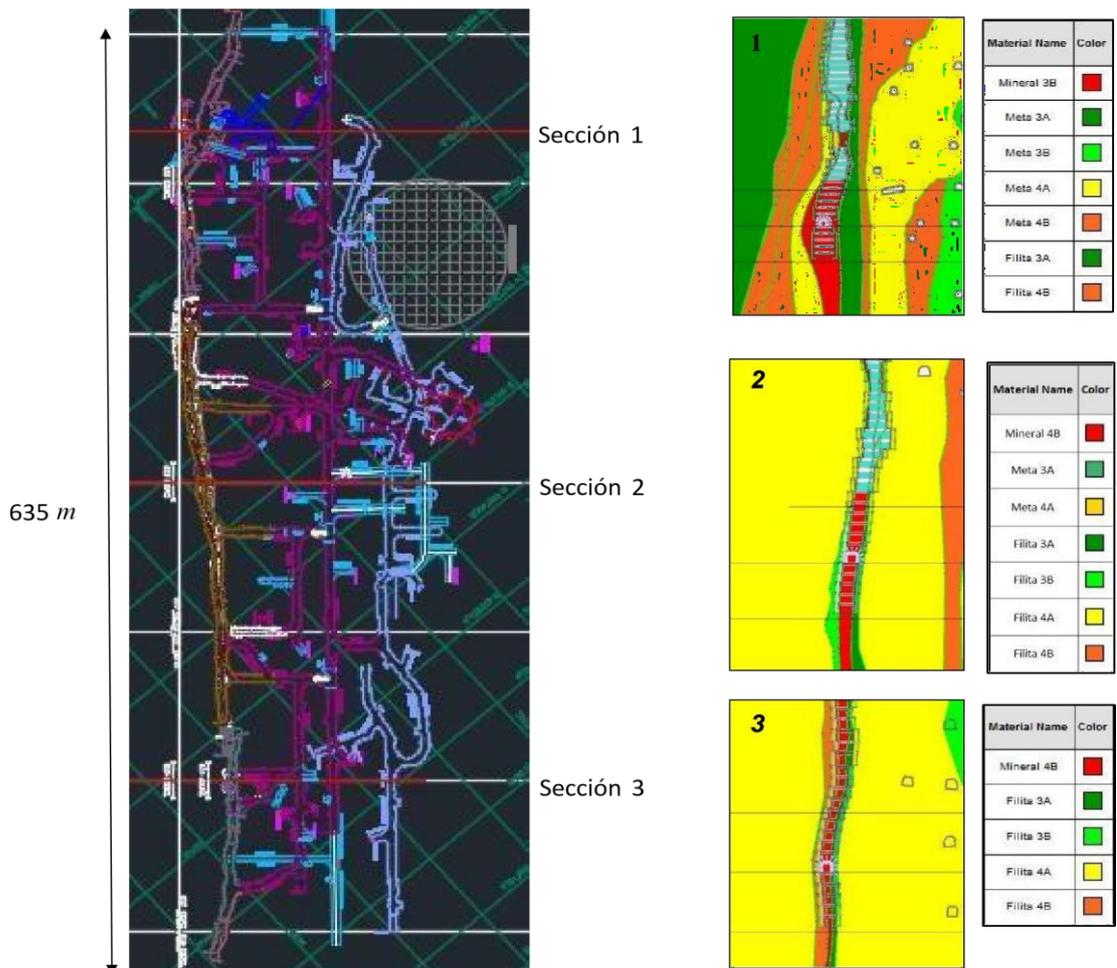
La Figura 28 muestra una planta con la infraestructura de la mina en el Nivel 1200, con las secciones identificadas para el análisis cada alrededor de 200



**Figura 30.** Definición de las secciones de análisis.

Vista en planta

Secciones



### a. Requerimiento de Sostenimiento

Para cada sección de análisis, se han evaluado las tres alternativas de secuencia de avance de minado mostradas con respecto al sostenimiento de la galería sill del Nivel 1225, y se han considerado los siguientes factores:

Excavación de 4.5 m de ancho x 4.5 m de altura.

- Una capa de shotcrete proyectado y reforzada con fibras de acero de 2 pulgadas de espesor. Se deja fraguar durante cuatro horas.
- Se colocan pernos de roca tipo hydrabolts de 7' de longitud, situados cada 1,2 metros, acondicionada con malla metálica electrosoldada de alambre N°10 y cocadas de 4"x4".

### b. Requerimiento de Sostenimiento por Elementos y Etapas

*Tabla 11. Sostenimiento Requerido por Etapa 021*

ETAPA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Total general	
<b>DESARROLLO</b>														
Shotcrete (m3)		719	541	499	520	508	615	589	654	855	785	1,253	1,551	<b>9,088</b>
Calibradores (Un)		2,411	1,687	1,567	1,792	1,722	2,073	1,968	2,337	3,062	2,689	4,303	5,113	<b>30,723</b>
P. Expanbolt (Un)		3,109	2,430	2,231	2,210	2,170	2,570	2,515	2,715	3,554	3,346	5,297	6,649	<b>38,795</b>
P. Split set		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Malla (m2)		3,006	2,244	2,049	2,161	2,141	2,580	2,502	2,822	3,645	3,281	5,216	6,413	<b>38,063</b>
Cimbra (Un)		3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	4	5	<b>30</b>
Arcos Noruegos (Un)		50	52	46	31	32	30	37	29	39	48	70	101	<b>565</b>
C Bolting 6m Av		1,178	772	534	746	978	1,082	1,301	1,817	2,005	1,309	1,905	1,999	<b>15,627</b>
<b>EXPLOTACIÓN</b>														
Shotcrete (m3)		1,763	1,586	1,580	1,584	1,608	1,631	1,599	1,568	1,590	1,648	1,613	1,760	<b>19,530</b>
Calibradores (Un)		2,966	3,054	3,104	2,986	3,210	3,014	3,249	3,334	3,208	3,624	3,470	3,810	<b>39,029</b>
P. Expanbolt (Un)		5,348	4,693	4,822	4,806	4,790	5,063	4,923	4,719	4,810	4,985	4,991	5,609	<b>59,558</b>
P. Split set		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Malla (m2)		4,803	4,842	4,811	4,692	5,024	4,692	4,968	5,109	4,965	5,497	5,224	5,631	<b>60,258</b>
Cimbra (Un)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arcos Noruegos (Un)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C Bolting 6m Av		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>PREPARACIÓN</b>														
Shotcrete (m3)		904	560	720	386	569	884	626	647	518	525	150	175	<b>6,665</b>
Calibradores (Un)		3,615	2,241	2,878	1,544	2,274	3,537	2,506	2,590	2,072	2,101	600	701	<b>26,658</b>
P. Expanbolt (Un)		3,902	2,418	3,106	1,666	2,454	3,817	2,704	2,795	2,236	2,267	647	756	<b>28,769</b>
P. Split set		460	285	366	197	289	450	319	330	264	267	76	89	<b>3,393</b>
Malla (m2)		2,251	1,395	1,792	961	1,416	2,202	1,560	1,612	1,290	1,308	373	436	<b>16,597</b>
Cimbra (Un)		8	5	6	3	5	7	5	5	4	4	1	1	<b>55</b>
Arcos Noruegos (Un)		140	87	111	60	88	137	97	100	80	81	23	27	<b>1,033</b>
C Bolting 6m Av		1,085	673	864	463	683	1,062	752	777	622	631	180	210	<b>8,004</b>
<b>Total Shotcrete (m3)</b>		<b>3,387</b>	<b>2,687</b>	<b>2,799</b>	<b>2,491</b>	<b>2,685</b>	<b>3,131</b>	<b>2,814</b>	<b>2,869</b>	<b>2,963</b>	<b>2,958</b>	<b>3,016</b>	<b>3,486</b>	<b>35,283</b>
<b>Total Calibradores (Un)</b>		<b>8,993</b>	<b>6,981</b>	<b>7,548</b>	<b>6,321</b>	<b>7,206</b>	<b>8,624</b>	<b>7,723</b>	<b>8,261</b>	<b>8,342</b>	<b>8,414</b>	<b>8,373</b>	<b>9,624</b>	<b>96,411</b>
<b>Total P. Expanbolt (Un)</b>		<b>12,358</b>	<b>9,541</b>	<b>10,158</b>	<b>8,682</b>	<b>9,414</b>	<b>11,450</b>	<b>10,142</b>	<b>10,229</b>	<b>10,599</b>	<b>10,599</b>	<b>10,935</b>	<b>13,014</b>	<b>127,122</b>
<b>Total P. Split set</b>		<b>460</b>	<b>285</b>	<b>366</b>	<b>197</b>	<b>289</b>	<b>450</b>	<b>319</b>	<b>330</b>	<b>264</b>	<b>267</b>	<b>76</b>	<b>89</b>	<b>3,393</b>
<b>Total Malla (m2)</b>		<b>10,060</b>	<b>8,482</b>	<b>8,652</b>	<b>7,814</b>	<b>8,581</b>	<b>9,474</b>	<b>9,031</b>	<b>9,544</b>	<b>9,901</b>	<b>10,086</b>	<b>10,814</b>	<b>12,480</b>	<b>114,919</b>
<b>Total Cimbra (Un)</b>		<b>10</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>86</b>
<b>Total Arcos Noruegos (Un)</b>		<b>191</b>	<b>139</b>	<b>158</b>	<b>90</b>	<b>120</b>	<b>167</b>	<b>134</b>	<b>130</b>	<b>119</b>	<b>130</b>	<b>93</b>	<b>128</b>	<b>1,598</b>
<b>Total C Bolting 6m Av</b>		<b>2,263</b>	<b>1,445</b>	<b>1,398</b>	<b>1,210</b>	<b>1,661</b>	<b>2,144</b>	<b>2,053</b>	<b>2,594</b>	<b>2,627</b>	<b>1,939</b>	<b>2,086</b>	<b>2,209</b>	<b>23,630</b>

## CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en este análisis no se pueden generalizar a detalle, estos dependen principalmente de las condiciones geomecánicas de la masa rocosa, en particular de la calidad de la misma, y de la potencia de la veta Andaychagua. Por ello, en la aplicación de estos resultados se debe tener en cuenta cada caso particular en relación a su semejanza con las secciones analizadas.
- Debido a que produce los menores desplazamientos acumulados en la mayor parte de la caja techo, la Secuencia 3 de minado tiene una probabilidad similar de aplicación que la Secuencia 2 de minado en el caso de la Sección 1. Hay que tener en cuenta que, en este caso, esta sección representa las condiciones geomecánicas más favorables en comparación con las otras dos secciones.
- Las restricciones señaladas para la Sección 1 en la conclusión anterior están referidas principalmente al ancho de tajeos, habiéndose considerado en los análisis ancho límite de 12 m.
- Las condiciones geológicas geomecánicas de la Sección 1 se cumplen con el sostenimiento actual utilizado en la galería Sill del Nivel 1225, que consiste en la aplicación de una primera capa de shotcrete de 2" de espesor con pernos hydrabolt de 7' espaciados cada 1.2 m con malla electrosoldada y otra capa de shotcrete de 2" de espesor.
- En las Secciones 2 y 3, en las cuales ocurren condiciones geomecánicas desfavorables, típico de la Veta Andaychagua, se concluye que es compleja la estabilización de la galería Sill con el sistema de sostenimiento analizado en condiciones geológicas similares a estas secciones.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que en Secciones como la 2 y 3, se efectúen evaluación constantemente ya que en terrenos de esta característica geológica - geomecánica es posible que se produzcan derrumbes por la mala calidad del macizo rocoso, si no se adoptaran medidas de estabilización adecuadas.
- Se recomienda el mejoramiento de la calidad y cantidad del sostenimiento, en este caso utilizando arcos noruegos (lattice girder), mejoran las condiciones de estabilidad de la galería Sill del Nivel 1225, pero aún son insuficientes para una estabilidad adecuada, dada la mala calidad de la masa rocosa de las Secciones 2 y 3. Se recomienda al respecto evaluar el uso de arcos metálicos cedentes con perfiles omega.
- Es recomendable que el personal del Departamento de Geomecánica de Mina Andaychagua lleve a cabo análisis retrospectivos (back analysis) de los problemas de inestabilidad (derrumbes) que puedan ocurrir en la galería sill u otras labores mineras asociadas al minado de Veta Andaychagua. Los resultados de estos análisis servirán para la calibración de los modelamientos que se puedan hacer en el futuro para optimizar la secuencia de avance del minado y el sostenimiento.
- También es recomendable por un lado llevar a cabo programas de instrumentación para monitoreo de desplazamientos en los diferentes componentes estructurales asociados al minado, por otro lado, imprimir rapidez en el ciclo de minado para mejorar las condiciones de estabilidad de las excavaciones.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Bath, C., y S. Duda. 1968. Secular Seismic Energy release in the circum pacific belt.
- Bernal, I. 2001. Características y evaluación de la energía sísmica liberada. Univ. Nac. San Agustín. 170p.
- Bernal, I., y H. Tavera. 2005. Evaluación de la sismicidad y distribución de la energía sísmica en Perú. IGP Boletín de la Sec. Geológica del Perú V 92 p 67-78
- Bieniawski Z.T. "Engineering Rock Mass Clasification" Wiley – Interscience Publication – 1988-1989.
- Brady B.H.G. & Brown E.T. "Rock Mechanics for Underground Mining" George Allen & Unwin – London – 1986.
- DCR Ingenieros S.R.Ltda. "Evaluación Geomecánica para el método de minado subterráneo del Proyecto Poracota" Informe Técnico – Junio de 2005.
- Escalante, Christian. 2000-2002. Evaluación del Peligro Sísmico en el Sur del Perú (13°-18.5° S). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 53p
- Hoek E. "Practical rock engineering" Rocscience, 2002-2004.
- Hoek E., Kaiser P., Bawden W. "Support of Underground Excavations in Hard Rock" A.A. Balkema 1995.
- Hudson J.A. Ed. "Comprehensive Rock Engineering – Principles, Practice & Projects". Volúmenes 3 y 4, Pergamon Press 1993.
- Hustrulid W.A. and Bullock R.L. "Underground Mining Methods: Fundamentals and International Case Studies" SME – 2001.
- Krzyston, D. and Carvajal A., 07,08. Susceptibility of rocks bumps. The results of simples investigation in a staff-testing machina. Fundacja Nauta I traducie Górnice..

Krzyszton, Danuta. 2007-2008. Susceptibility of rocks bumps. Fundacja Nauta I traducie  
Górnice. 102p

Universidad Nacional de Ingeniería, Pruebas de Laboratorio de Mecánica de Rocas.  
Octubre 2019.

Weiss F. y Córdova D. “Influencia de las condiciones naturales en la selección del  
método de explotación en minería subterránea”, Informe INGEMMET – 1990.

# **ANEXOS**

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

### Análisis Geomecánico para efectuar el Sostentamiento por Etapas en la Mina Andaychagua – Cía. Minera Volcán

TÍTULO: Análisis Geomecánico para Efectuar el Sontenimiento por Etapas en la Mina Andaychagua – Cía. Minera Volcan						
Tesista: Jordan Jesus PONCE TOLENTINO						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN
<p><b>GENERAL:</b> ¿Es posible realizar el análisis Geomecánico para efectuar el sostenimiento por etapas en la Mina Andaychagua – Compañía Minera Volcán?</p> <p><b>Problemas específicos</b> a) ¿Al Realizar la evaluación geomecánica se determinará el tipo de sostenimiento por etapas en la Mina Andaychagua – Compañía Minera Volcán? b) ¿La aplicación del sostenimiento por etapas controlara la estabilidad del macizo rocoso en la Mina Andaychagua – Compañía Minera Volcán?</p>	<p><b>GENERAL:</b> Realizar el análisis Geomecánico para efectuar el sostenimiento por etapas en la Mina Andaychagua – Compañía Minera Volcán.</p> <p><b>Objetivos específicos</b> a) Realizar la evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento por etapas en la Mina Andaychagua – Compañía Minera Volcán b) Aplicar el sostenimiento por etapas para controlar la estabilidad del macizo rocoso en la Mina Andaychagua – Compañía Minera Volcán.</p>	<p><b>GENERAL</b> Realizar el análisis Geomecánico para efectuar el sostenimiento por etapas en la Mina Andaychagua – Compañía Minera Volcán.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b> a) Realizar la evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento por etapas en la Mina Andaychagua – Compañía Minera Volcán. b) Aplicar el sostenimiento por etapas para controlar la estabilidad del macizo rocoso en la Mina Andaychagua – Compañía Minera Volcán.</p>	<p><b>INDEPENDIENTE:</b> X: Análisis Geomecánico en la Mina Andaychagua.</p> <p><b>DEPENDIENTES</b> Y: Sontenimiento por Etapas en la Mina Andaychagua.</p>	<p>- Planiamiento Minero - Métodos de explotación - Parámetros Geotecnicos - Sostentamiento de mina</p>	<p>Gestión Minera Proceso de producción Geomecanica y Geotecnia Seguridad Minera. Sistema y evaluación de relleno. Tipos de sostenimiento. Geología Costos del proceso.</p>	<p><b>TIPO:</b> Aplicativo – Cuantitativo.</p> <p><b>NIVEL:</b> Evaluativa.</p>





Anexo 3. Mineralización de la Veta Andaychagua

