

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”**



**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y METALURGIA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

**TESIS:**

**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL TIPO  
DE SOSTENIMIENTO EN LA RAMPA PRINCIPAL DE LA MINA  
“FLOR DE LIRIO” SOCIEDAD COMERCIAL IMPORTADORA Y  
EXPORTADORA DICAVE LIMITADA - 2020**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. HIZO JAMANCA, Jhordy Gardel**

**ASESOR:**

**Dr. M.Sc. Ing. BOJÓRQUEZ HUERTA, Gustavo Roberto**

**HUARAZ - PERÚ**

**2020**

**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, CONDUCENTES A OPTAR TÍTULOS PROFESIONALES Y GRADOS ACADÉMICOS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y Nombres: HIZO JAMANCA JHORDY GARDEL

Código de alumno: 132.0802.328 Teléfono: 940683359

E-mail: jhordy.hj94@gmail.com D.N.I. n°: 71902991

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Tipo de trabajo de investigación:**

- Tesis
  Trabajo de Suficiencia Profesional  
 Trabajo Académico
  Trabajo de Investigación  
 Tesinas (presentadas antes de la publicación de la Nueva Ley Universitaria 30220 – 2014)

**3. Para optar el Título Profesional de:**

INGENIERO DE MINAS

**4. Título del trabajo de investigación:**

"EVALUACION GEOMECANICA PARA LA ELECCION DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN LA RAMPA PRINCIPAL DE LA MINA "FLOR DE LIRIO" SOCIEDAD COMERCIAL IMPORTADORA Y EXPORTADORA DICAVE LIMITADA - 2020"

**5. Facultad de:** Ingeniería de Minas, Geología y Metalúrgia

**6. Escuela o Carrera:** INGENIERÍA DE MINAS

**7. Asesor:**

Apellidos y nombres BOJORQUEZ HUERTA GUSTAVO ROBERTO D.N.I n°: 32645242

E-mail: gbojorquezh@yahoo.es ID ORCID: \_\_\_\_\_

**8. Referencia bibliográfica:** Tesis en formato APA

**9. Tipo de acceso al Documento:**

- Acceso público\* al contenido completo. Acceso  
 restringido\*\* al contenido completo

*Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundirlo en el Repositorio Institucional, respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.*

En caso de que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## 10. Originalidad del archivo digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.



Firma del autor

## 11. Otorgamiento de una licencia CREATIVE COMMONS

Para las investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia Creative Commons, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.



El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

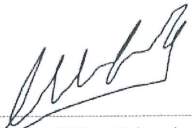
Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Recolector Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

## 12. Para ser verificado por la Dirección del Repositorio Institucional

Fecha de Acto de sustentación:

Huaraz, 25/05/2021

Firma:

Varillas William Eduardo  
 Asistente en Informática y Sistemas  
 - UNASAM -

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.





UNIVERSIDAD NACIONAL  
"SANTIAGO ANTÚÑEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,  
GEOLOGÍA Y METALURGIA



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL**

En la ciudad de Huaraz, siendo las Diez horas con cinco minutos de la mañana (10.05 a.m) del día Veinticinco de Mayo del Dos mil Veintiuno (25/05/2021), se reunieron los miembros del jurado calificador nominados según Resolución Nro. 023-2021-FIMGM/CF, de fecha 03 de Marzo del 2021, integrado por los siguientes Docentes: **M.Sc. Ing. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI**, como **Presidente**; **M.Sc. Ing. ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO**, como **Secretario** y el **Dr. Ing. JUAN ROGER QUIÑONES POMA**, como **Vocal**; para la sustentación de la tesis Titulada: **"EVALUACION GEOMECANICA PARA LA ELECCION DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN LA RAMPA PRINCIPAL DE LA MINA "FLOR DE LIRIO" SOCIEDAD COMERCIAL IMPORTADORA Y EXPORTADORA DICAVE LIMITADA - 2020"** presentado por el **Bachiller JHORDY GARDEL HIZO JAMANCA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional "Santiago Antúñez de Mayolo", se procedió con el acto de sustentación bajo las siguientes consideraciones, el Presidente del Jurado calificador, invitó a los docentes, alumnos y público en general a participar en este acto; luego invitó al Secretario del Jurado calificador a dar lectura de la Resolución N° 023-2021-FIMGM/CF de fecha 03 de Marzo del 2021. Acto seguido invitó al sustentante a la defensa de su tesis por un lapso de veinte minutos (20), concluida con la misma, se procedió con el rol de preguntas de parte de los miembros del Jurado Calificador, finalmente se invitó al público en general a hacer abandono del Auditorium de la FIMGM por un lapso de diez (10) minutos con el propósito de deliberar la nota del sustentante, **ACORDANDO: APROBAR CON EL CALIFICATIVO (\*)de: DIECISEIS (16)** Siendo las Once horas y veinte minutos (11:20 a.m) del mismo día, se dio por concluida el acto de sustentación.

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

  
M.Sc. Ing. **LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI**  
Presidente

  
M.Sc. Ing. **ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO**  
Secretario

  
Dr. Ing. **JUAN ROGER QUIÑONES POMA**  
Vocal

  
M.Sc. Ing. **GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA**  
Asesor

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



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

*"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"*

**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS,  
GEOLOGIA Y METALURGIA**



**ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS**

Los Miembros del Jurado, luego de evaluar la tesis titulada: **"EVALUACION GEOMECANICA PARA LA ELECCION DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN LA RAMPA PRINCIPAL DE LA MINA "FLOR DE LIRIO" SOCIEDAD COMERCIAL IMPORTADORA Y EXPORTADORA DICAVE LIMITADA - 2020"** presentado por el Bachiller **JHORDY GARDEL HIZO JAMANCA** y sustentada el día 25 de Mayo del 2021, por Resolución de Consejo de Facultad N° 023-2021-FIMGM-/CF, la declaramos **CONFORME**.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 25 de Mayo del 2021

  
-----  
**M.Sc. Ing. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI**

**Presidente**

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

**Secretario**

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

**Vocal**

  
-----  
**M.Sc. Ing. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA**

**Asesor**

## DEDICATORIA

*El presente trabajo de título profesional va dedicado a Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas. A mis padres y abuelos que, con apoyo incondicional, amor y confianza permitieron que logre culminar mi carrera profesional. A mis hermanos por su cariño y apoyo absoluto durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.*

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento en especial a los que me apoyaron para hacer realidad este proyecto y hacerlo aplicativo en el campo; A la Universidad nacional “Santiago Antúnez de Mayolo” y en especial a mis señores catedráticos e ingenieros de la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia.

Agradezco también a la empresa Minera Cruz Ltda, y en especial al Ing. Franklin Gallardo Araya por guiarme y darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.

A mi persona, por la constante evaluación y cuestionamiento que he colocado en este proyecto y ver la factibilidad del mismo de tal manera de garantizar una oportunidad de mejora para la empresa.

## RESUMEN

La presente tesis titulada: “Evaluación geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio” Sociedad Comercial Importadora y Exportadora DICAVE Limitada - 2020”, y tiene como objetivo general. Realizar la Evaluación Geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento de la Rampa Principal en la mina “Flor de Lirio” de la Sociedad Comercial Importadora y Exportadora DICAVE Limitada – 2020. El tipo de investigación de tipo APLICADA. La tesis se justifica porque con la Evaluación Geomecánica se determinara el tipo de sostenimiento a aplicar en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”, de esta manera podemos determinar el sostenimiento adecuado y optimo, garantizando la estabilidad de la Rampa Principal que es una labor permanente.

La conclusión más importante fue que se realizó la Evaluación Geomecánica determinándose que la calidad de la roca es buena tipo III - B, con un RMR promedio de 53; el tipo de sostenimiento tendrá las siguientes características: Con Malla MFI 3500: 2.5 metros; con pernos Split set de 2.4 metros de largo con un diámetro de 45 mm. El tipo de acero: grado A630 – 420H; Tensión de fluencia: 46kg/mm<sup>2</sup>; Tensión de ruptura: 72 kg/mm<sup>2</sup>. ubicados cada 1.5 m. x 1.1 m. malla rectangular, solo en zonas en que la calidad del macizo rocos es mala se empleara Shotcrete; con estas características se realizó la elección del tipo de sostenimiento de la Rampa Principal en la mina “Flor de Lirio” de la Sociedad Comercial Importadora y Exportadora DICAVE Limitada año 2020.

**Palabras claves:** Evaluación geomecánica, elección del tipo de sostenimiento, Rampa Principal, mina “Flor de Lirio”, Sociedad Comercial Importadora y Exportadora DICAVE Limitada, año 2020.



## ABSTRACT

The present thesis entitled: “Geomechanical evaluation for the choice of the type of support in the Main Ramp of the “ Flor de Lirio ”mine, Sociedad Comercial Importadora y Exportadora DICAVE Limitada - 2020”, and its general objective. Carry out the Geomechanical Evaluation to choose the type of support for the Main Ramp in the "Flor de Lirio" mine of the Commercial Importing and Exporting Company DICAVE Limitada - 2020. The type of APPLIED type research. The thesis is justified because with the Geomechanical Evaluation the type of support to be applied in the Main Ramp of the “Flor de Lirio” mine will be determined, in this way we can determine the adequate and optimal support, guaranteeing the stability of the Main Ramp that is permanent work.

The most important conclusion was that the Geomechanical Evaluation was carried out, determining that the quality of the rock is good type III - B, with an average RMR of 53; The type of support will have the following characteristics: With MFI 3500 Mesh: 2.5 meters; with 2.4 meter long Split set bolts with a diameter of 45 mm. The type of steel: grade A630 - 420H; Yield stress: 46kg / mm<sup>2</sup>; Breaking stress: 72 kg / mm<sup>2</sup>. located every 1.5 m. x 1.1 m. Rectangular mesh, only in areas where the quality of the rocky massif is poor, Shotcrete will be used; With these characteristics, the type of support for the Main Ramp was made in the "Flor de Lirio" mine of the Commercial Importing and Exporting Company DICAVE Limited in 2020.

**Keywords:** Geomechanical evaluation, choice of type of support, Main Ramp, “Flor de Lirio” mine, Commercial Importing and Exporting Company DICAVE Limited, year 2020.

## ÍNDICE GENERAL

<i>DEDICATORIA</i> .....	<i>ii</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i> .....	<i>iii</i>
<i>RESUMEN</i> .....	<i>iv</i>
<i>ÍNDICE GENERAL</i> .....	<i>vi</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i> .....	<i>ix</i>
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i> .....	<i>x</i>
<i>INTRODUCCIÓN</i> .....	<i>xi</i>
<i>CAPITULO I</i> .....	<i>1</i>
<i>GENERALIDADES</i> .....	<i>1</i>
1.1. Entorno Físico .....	<i>1</i>
1.1.1. Ubicación y acceso .....	<i>1</i>
1.1.2. Antecedentes .....	<i>3</i>
1.1.3. Topografía .....	<i>5</i>
1.1.4. Clima y vegetación .....	<i>6</i>
1.2. Entorno Geológico .....	<i>7</i>
1.2.1. Geología regional .....	<i>7</i>
1.2.2. Geología local .....	<i>8</i>
1.2.3. Geología estructural .....	<i>9</i>
1.2.4. Geología económica .....	<i>11</i>
<i>CAPITULO II</i> .....	<i>13</i>
<i>FUNDAMENTACIÓN</i> .....	<i>13</i>
2.1. Marco Teórico .....	<i>13</i>
2.1. Antecedentes de la investigación .....	<i>13</i>
2.2. Fundamentación teórica .....	<i>19</i>

2.2.1. Geomecánica. ....	19
2.2.2. Como se conceptualiza la geomecánica actualmente. ....	19
2.2.3. Causas del desarrollo de la Geomecánica. ....	20
2.2.4. Beneficios de la Geomecánica. ....	21
2.2.5. Objetivos de la geomecánica en el minado subterráneo. ....	22
2.2.6. Evaluación geomecánica. ....	23
2.2.7. Parámetros del RMR. ....	26
2.2.8. Sostenimiento. ....	26
2.2.9. Tipo de perno ....	27
2.3. Definición de Términos. ....	31
<i>CAPITULO III</i> .....	36
<i>METODOLOGÍA</i> .....	36
3.1. El Problema.....	36
3.1.1. Formulación del Problema. ....	37
3.1.2. Objetivos de la investigación. ....	37
3.1.2.1. Objetivo General. ....	37
3.1.2.2. Objetivos Específicos. ....	38
3.1.3. Justificación e importancia. ....	38
3.1.4. Alcances. ....	39
3.1.5. Limitaciones.....	39
3.2. Hipótesis.....	39
3.3. Variables. ....	40
3.3.1. Operacionalización de variables. ....	40
3.4. Diseño de la investigación. ....	41
3.4.1. Tipo de investigación. ....	41

3.4.2. Nivel de la investigación.....	41
3.4.3. Método. ....	41
3.4.4. Población y muestra. ....	42
3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....	42
<i>CAPITULO IV</i> .....	45
<i>RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN</i> .....	45
4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos. ....	45
4.2. Descripción de la rampa principal. ....	45
4.3. Desarrollo de la Operación en la construcción de la rampa principal. ....	47
4.4. Geomecánica. ....	53
4.5. Analisis e interpretacion de la información.....	54
4.6. Elección de elementos de soporte de acuerdo a la calidad del macizo rocoso. ....	59
4.6.1. Sostenimiento mediante el uso de pernos: .....	59
4.7 Prueba de Hipótesis.....	64
4.8. Discusión de resultados.....	66
<i>CONCLUSIONES</i> .....	67
<i>RECOMENDACIONES</i> .....	68
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</i> .....	69
<i>ANEXOS</i> .....	71
<i>ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIAS</i> .....	72
<i>ANEXO N° 02: PROCESO DE FORTIFICACIÓN SISTEMÁTICA SEGÚN EL DISEÑO REALIZADO</i> .....	73
<i>ANEXO N° 03: SECUENCIA DE EXPLOTACIÓN LA MINA “FLOR DE LIRIO” DE LA SOCIEDAD COMERCIAL IMPORTADORA Y EXPORTADORA DICAVE LIMITADA ...</i>	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación de la mina Flor de Lirio – Acceso desde El Salado. ....	2
Figura N° 2: Ubicación de la mina Flor de Lirio. ....	2
Figura N° 3: Mina Flor de Lirio 1/15 y Nortina 1/4 - Catastro online. ....	5
Figura N° 4: Mapa geológico de secuencias de litología y ubicación de la Mina Flor de Lirio. ....	8
Figura N° 5: Mapa geológico de secuencias de litología y ubicación de la Mina Flor de Lirio. ....	9
Figura N° 6: Tipo de perno de Anclajea .....	28
Figura N° 7: Vista isométrica de la rampa lado norte. ....	47
Figura N° 8: Diagrama de Perforación Desarrollo. ....	49
Figura N° 9: Diagrama con Sistema de Carguío de Pozos de Producción. ....	50
Figura N° 10: Malla de Perforación y Secuencia de Salida. ....	51
Figura N° 11: Mapeo Geotecnico según Bieniawski, 1989. ....	58
Figura N° 12: Determinacion del tipo de soporte según del indice de Q de Barton . ....	60
Figura N° 13: Diagrama de perforación para Fortificación Sistemática . ....	61
Figura N° 14: Disposición de malla de 3,5 mts extendida. ....	62
Figura N° 15: Vista isometrica de la Mina Flor de Lirio Tunel Norte (Sector Inestable). ....	63
Figura N° 16: Vista en planta de los avanicos o paradas .....	63
Figura N° 17: Vista isometrica de la fortificación Sistemática. ....	64
Figura N° 19: Tabla de Chi Cuadrado. ....	65



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Antecedentes del titular y del representante legal. ....	3
Tabla N° 2: Antecedentes del proyecto.....	3
Tabla N° 3: Coordenadas de la Flor de Lirio 1/15. ....	4
Tabla N° 4: Coordenadas de la Nortina 1/4. ....	4
Tabla N° 5: Operacionalización de variables .....	40
Tabla N° 6: Parámetros de la voladura en la rampa principal. ....	51
Tabla N° 7: datos para la prueba Chi Cuadrado.....	65

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación realizado en el Proyecto de Explotación Subterránea “Flor de Lirio”, de la Sociedad Comercial Importadora y Exportadora DICAVE Limitada, el proyecto se emplaza dentro de las pertenencias mineras “Flor de Lirio 1/15” y “Nortina 1/4”.

El Proyecto de Explotación Subterránea “Flor de Lirio” corresponde a una mina, que está dentro de la pertenencia “Flor de Lirio 1/15”, con laboreos del tipo subterráneos que consta de rampa principal, niveles o galerías de producción y un pique principal de una longitud de 150 m.

El proyecto considera la explotación de la “Veta Norte” y “Veta Sur” mediante el método Sublevel Stopping con variante LBH, (Long Blast Hole), por ser un yacimiento de forma tabular subvertical de gran espesor, por lo que se realiza una extracción tipo caserón, accediendo a través de una rampa y utilizando taladros largos de manera de no construir subniveles de extracción, lo que implica una variación del método clásico. La operación de la mina para el avance de las galerías y extracción de material utilizará una secuencia de operaciones unitarias de perforación, tronaduras, carguío y transporte. El mineral que se extrae será acopiado en las canchas de selección de mineral ubicadas en superficie, para clasificar por calidades según necesidad, y poder seleccionar la ley comercial, que tiene un rango de 1,5 a 2,5% de cobre. Desde la cancha de selección de mineral, éste será cargado y transportado la empresa comercializadora en camiones de 30 toneladas.

El estéril que se extrae de la mina se dispondrá en botaderos, uno ubicado en el sector norte y otro ubicado en el sector sur, se construirán por volteo directo de la tolva del equipo de transporte y tienen las siguientes coordenadas U.T.M. (PDSAD-56 Zona 19 s).

**Botadero Norte:**

- Norte: 7 118,996 metros, y Este: 386,500 metros y 888 m.s.n.m.

**Botadero Sur:**

- Norte: 7 117,929 metros, y Este: 386,239 metros y 863 m.s.n.m.

El proyecto se ubica a 52 kilómetros aproximados al Noreste de la ciudad de El Salado, accediendo a esta faena por la Ruta C-125 continuando al norte por ruta C- 139.

El presente trabajo de investigación consta de: La dedicatoria; el agradecimiento, el resumen, el índice general, índice de tablas, índice de figuras y la introducción.

**Capítulo I: Generalidades**, en la que se describe algunas características de la mina, tales el entorno físico y el entorno geológico.

**Capítulo II: Fundamentación**, relacionados al marco teórico, los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y la definición de términos.

**Capítulo III: Metodología**, se plantea la pregunta de investigación, así como los objetivos, la justificación e importancia. Redacción de la hipótesis, las variables, metodología incluyendo a la población y muestra del estudio.

**Capítulo I: Resultados de la investigación**, plasmar el resultado de la investigación tal como se ha sustentado en el proyecto de tesis.

Para finalizar las conclusiones, las recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1. Entorno Físico.

##### 1.1.1. Ubicación y acceso.

El proyecto minero “Flor de Lirio”, se encuentra ubicado en el sector “Laguna Seca, distante a 52 kilómetros aproximados al Noreste de la ciudad de El Salado, accediendo a esta faena por la Ruta C-125 continuando al norte por ruta C- 139.

Esto es en la Comuna de Diego de Almagro, provincia de Chañaral, Tercera Región, a más de 900 kilómetros al norte de la capital Santiago de Chile. (Ver Figuras N° 1 y 2). Las coordenadas U.T.M. (PDSAD-56 Zona 19 s); de la bocamina son los siguientes:

- **Portal Norte** : Norte: 7 119,104 metros, Este: 386,584 metros y 883 msnm (portal actual).
- **Portal Sur:** Norte: 7 117,735 metros, Este: 386,099 metros y 845 msnm (a construir). (Departamento de ingeniería - mina Flor de Lirio, 2019).

El Proyecto de Explotación Subterránea “Flor de Lirio”; este proyecto se emplaza dentro de las pertenencias mineras “Flor de Lirio 1/15” y “Nortina 1/4” y que corresponde a una faena que ya cuenta, dentro de la pertenencia “Flor de Lirio 1/15”, con laboreos del tipo subterráneos que consta de rampa

principal, niveles o galerías de producción y un pique principal de una longitud de 150 m



Figura N° 1: Ubicación de la mina Flor de Lirio – Acceso desde El Salado.  
Fuente: Google Earth, 2020.

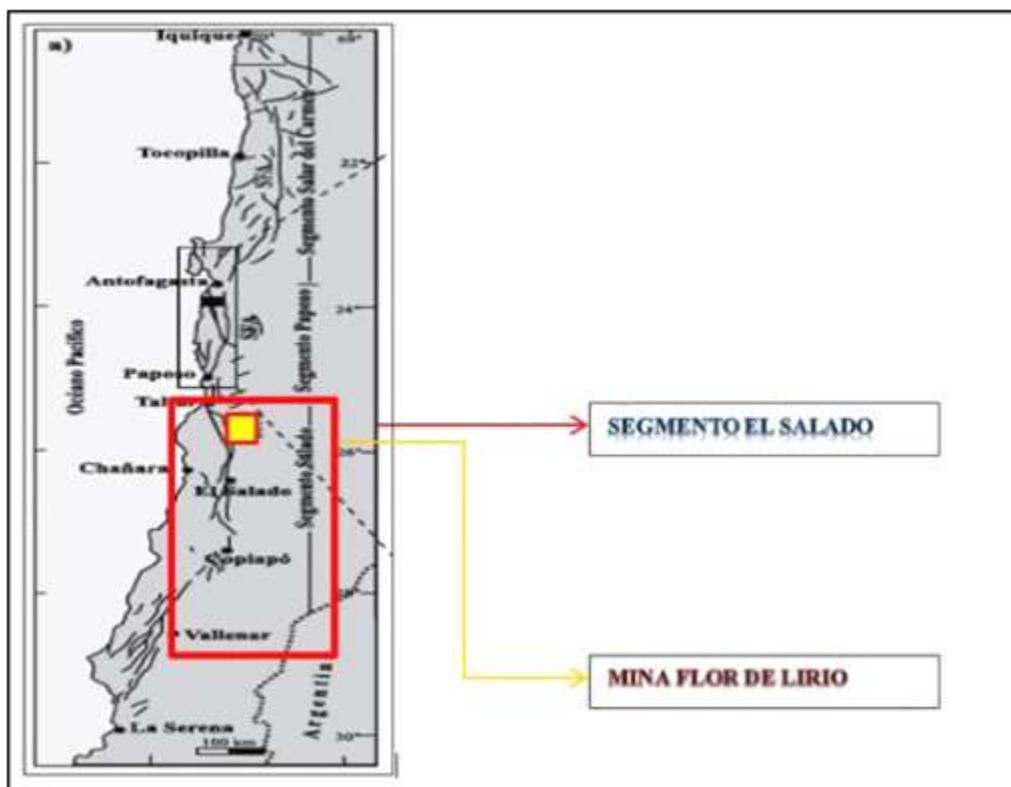


Figura N° 2: Ubicación de la mina Flor de Lirio.  
Fuente: Sernageomin (Servicio Nacional de Geología y Minería - Chile) 1998.



### 1.1.2. Antecedentes.

En las Tablas N° 1 y 2 se presentan los antecedentes del Titular y del Representante Legal así como los antecedentes del presente proyecto.

Tabla N° 1: Antecedentes del titular y del representante legal.

Razón Social	Sociedad Comercial Importadora y Exportadora DICAVE Ltda.
R.U.T.	76.990.270-6
Domicilio	Av. La Paz N°1319
Comuna	Ovalle
Provincia	Limarí
Región	Coquimbo
Fono	53 2 620543
Representante Legal	Diómedes Cruz Solorzano
R.U.T.	14627660-1
Email	dcruz@mineracruz.cl

Fuente: Departamento de ingeniería - mina Flor de Lirio, 2019.

Tabla N° 2: Antecedentes del proyecto.

Nombre del proyecto	Proyecto Explotación Subterráneo "Flor de Lirio"
Producción	4,500 ton/mes
Vida Útil	12 años
Método de Explotación	Sublevel Stopping con variante LBH

Fuente: Departamento de ingeniería - mina Flor de Lirio, 2019.

#### ***Propiedad Minera:***

El yacimiento se encuentra emplazado en la concesión minera "Flor de Lirio 1/15" y "Nortina 1/4", dichas pertenencias mineras están delimitadas por los vértices que se detallan a continuación:

Tabla N° 3: Coordenadas de la Flor de Lirio 1/15.

Punto	Norte	Este
L1	7 119,250.0000	386,090.0000
L2	7 119,250.0000	386,590.0000
L3	7 118,350.0000	386,590.0000
L4	7 118,350.0000	386,490.0000
L5	7 118,150.0000	386,490.0000
L6	7 118,150.0000	386,390.0000
L7	7 117,950.0000	386,390.0000
L8	7 117,950.0000	386,290.0000
L9	7 117,727.0000	386,290.0000
L10	7 117,727.0000	386,090.0000
L11	7 118,327.0000	386,090.0000
L12	7 118,327.0000	386,290.0000
L13	7 118,450.0000	386,290.0000
L14	7 118,450.0000	386,090.0000

Fuente: Departamento de ingeniería - mina Flor de Lirio, 2019.

Tabla N° 4: Coordenadas de la Nortina 1/4.

Punto	Norte	Este
L1	7 119,650.0000	386,300.0000
L2	7 119,650.0000	386,700.0000
L3	7 119,250.0000	386,700.0000
L4	7 119,250.0000	386,300.0000

Fuente: Departamento de ingeniería - mina Flor de Lirio, 2019.

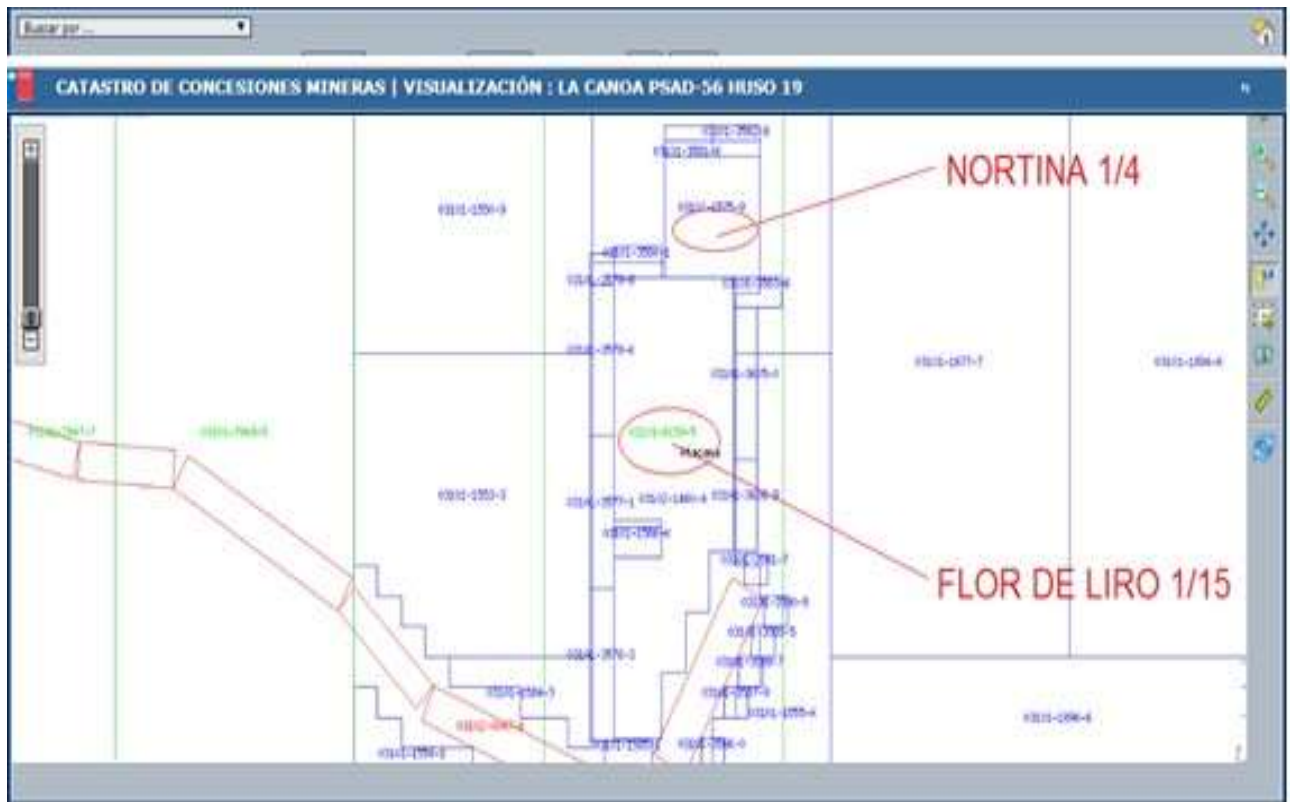


Figura N° 3: Mina Flor de Lirio 1/15 y Nortina 1/4 - Catastro online.

Fuente: Sernageomin (Servicio Nacional de Geología y Minería - Chile), 2019.

### ***Terreno Superficial:***

El terreno superficial sobre el cual se desarrollará la actividad del proyecto corresponde a terrenos abiertos e incultos. (Departamento de ingeniería - mina Flor de Lirio, 2019).

### **1.1.3. Topografía.**

La topografía de la mina “Flor de Lirio”, se encuentra emplazada en las laderas occidentales del cerro sector “Laguna Seca”, presenta una topografía ligeramente ondulada típica de las estibaciones de los cerros pegados a la franja costera. El relieve interno se hace ancho, caracterizado por pampas o cuencas desarrolladas entre las serranías precordilleranas y los relieves costeros. En general el relieve de esta zona se caracteriza por la alternancia

sucesiva de cordones montañosos y valles de sentido transversal. En cambio la Cordillera de la Costa es discontinuada, producto de la presencia de los cordones transversales, y en menor medida por la erosión marina, dando cabida a planicies costeras amplias en la zona de Chañaral. (<https://www.bcn.cl/siit/>, 2020).

#### **1.1.4. Clima y vegetación**

La región de Atacama se caracteriza por un clima semiárido y por la presencia de desiertos. Debido al aumento paulatino hacia el sur de las precipitaciones invernales de Copiapó, hacia el límite norte regional el clima es muy árido, similar al de la Segunda Región. Al sur de la ciudad de Copiapó el clima se transforma en desierto marginal para paulatinamente dar paso al clima de estepa cálido. Se destacan en la región cuatro sub climas. Clima desértico de interior: se localiza en la franja intermedia especialmente en los relieves de las pampas, el límite sur de este clima es el río Copiapó y sus principales características son las elevadas temperaturas durante el día, ausencia de nubosidad y precipitaciones. La temperatura media anual corresponde a 15° C y la humedad tiende a desaparecer en la medida que penetra hacia el interior de los valles y cordones de cerros transversales. Las condiciones desérticas son más atenuadas, debido al aumento de las precipitaciones caracterizando a esta zona como un semidesierto.

#### ***Vegetación:***

Esta región se caracteriza por una mayor vegetación en comparación con las dos regiones anteriores debido a que presenta una mayor cantidad de lluvias en los meses de invierno. En la costa norte se caracteriza por la

existencia de especies adaptadas a condiciones semi desérticas, como algunas cactáceas, arbustos y abundantes hierbas. Hacia el sur las características vegetacionales corresponden al paisaje de matorral costero de arbustos.

El principal atractivo vegetal de la Región de Atacama lo constituye el desierto florido al sur de Copiapó, el cual se transforma en un campo florido durante la primavera. (<https://www.bcn.cl/siit/>, 2020).

## **1.2. Entorno Geológico.**

### **1.2.1. Geología regional.**

En el aspecto regional se caracteriza por lavas y brechas andesíticas, calizas fosilíferas y estratos delgados de areniscas rojas.

Esta secuencia es conocida como estratos El Reloj que corresponden al Cretáceo Inferior (Neocomiano).

La cual es afectada por un intrusivo granítico (dioritas y granodioritas) de edad Cretáceo Superior.

La zona está cubierta mayormente por suelo orgánico y material cuaternario de origen aluvial.

Los rasgos estructurales que afectan al distrito minero son de orientación N-S, NW y E-W, los lineamientos estructurales del tipo NW y E-W producidos por esfuerzos tensionales y compresivos son los que controlarían los emplazamientos de mineralización de cobre.

Ver Figura N° 4. (Departamento de ingeniería - mina Flor de Lirio, 2019).



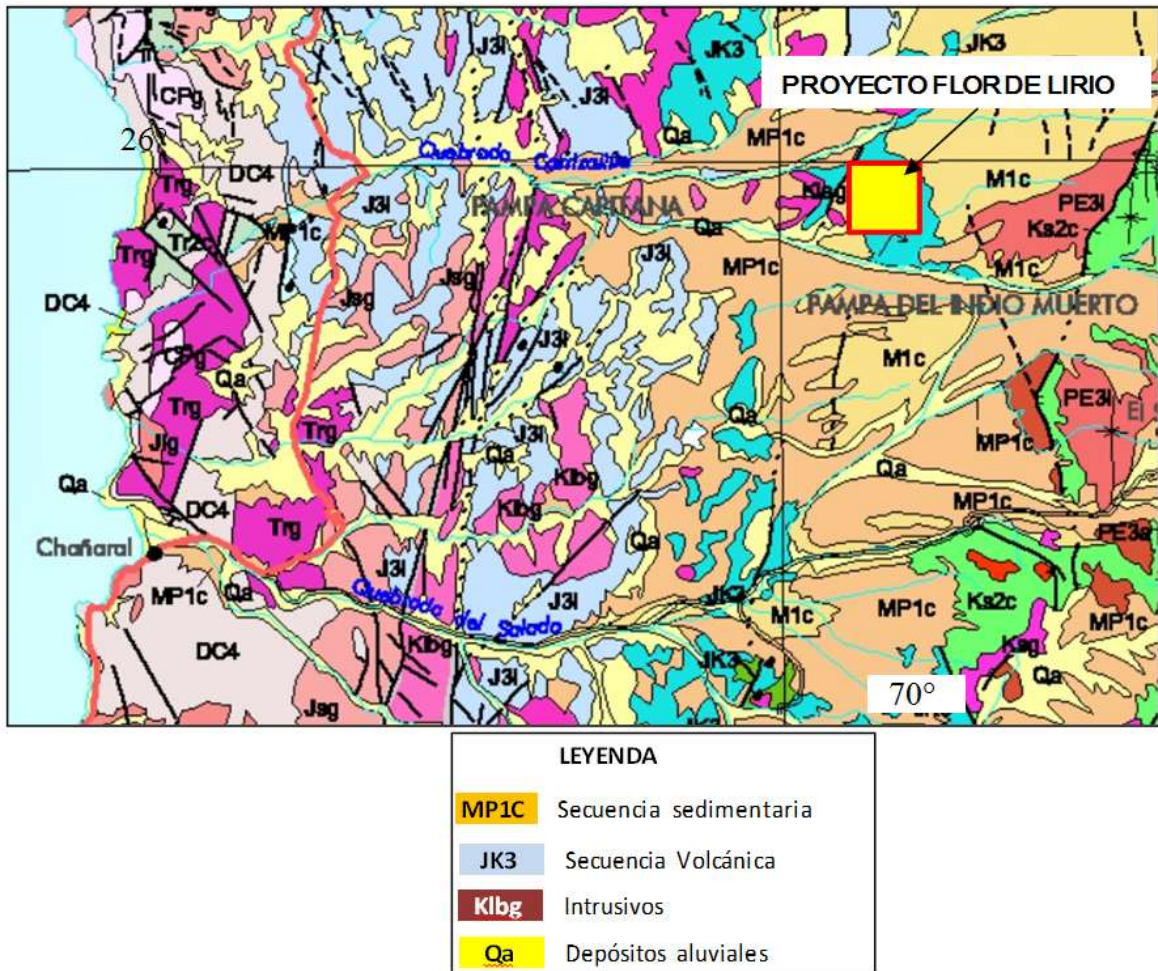


Figura N° 4: Mapa geológico de secuencias de litología y ubicación de la Mina Flor de Lirio. Fuente: Sernageomin (Servicio Nacional de Geología y Minería - Chile), 2019.

### 1.2.2. Geología local.

El complejo minero está conformado de rocas intrusivas graníticas de composición granodiorítica a diorítica del Cretácico Superior y cortadas por diques andesíticos de grano medio-grosso del terciario. Las primeras rocas intruyen al Oeste a las secuencias volcano-sedimentarias del Jurásico Superior y al Sur-Este por lavas volcánicas brechadas y calcáreas del Cretácico Inferior.

La roca encajonante es la roca andesita de composición intermedia, su composición mineral comprende de plagioclasas, ferromagnesios

(piroxenos, biotita y hornblenda), en el yacimiento la plagioclasa es visible, la matriz presenta una textura afanítica de minerales finos. (Departamento de ingeniería - mina Flor de Lirio, 2019).

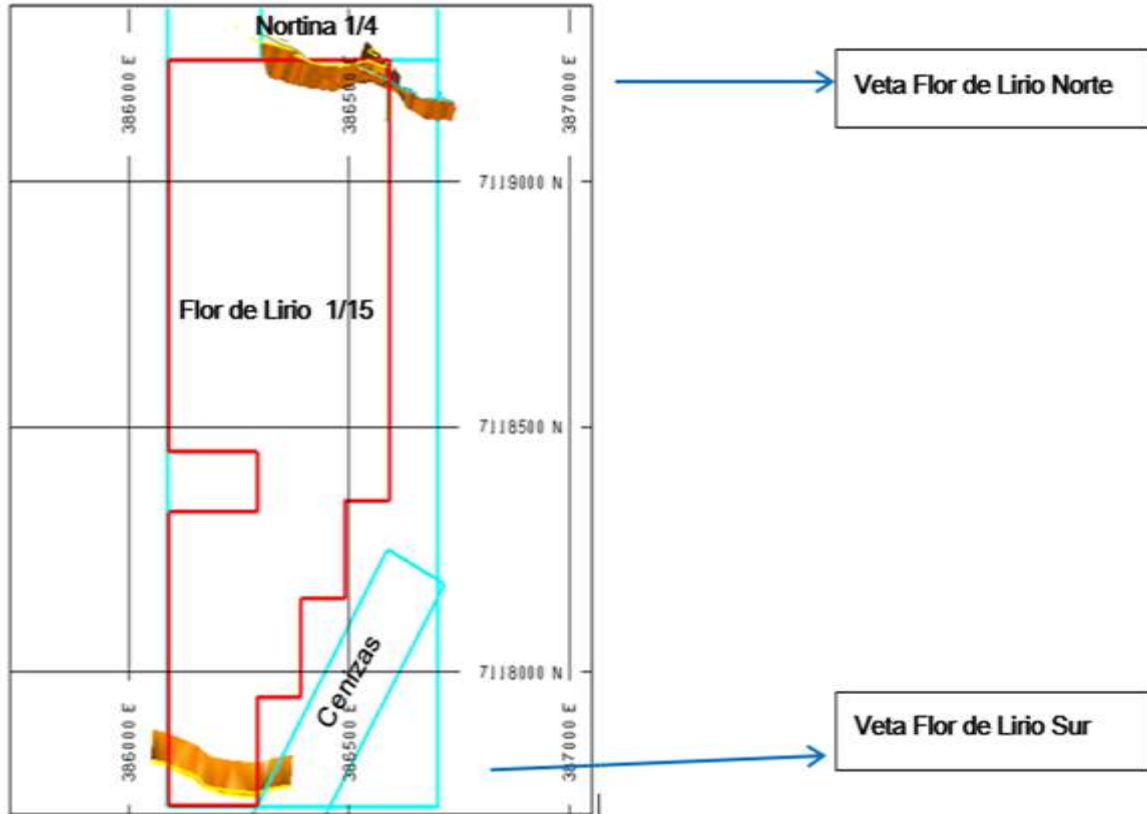


Figura N° 5: Mapa geológico de secuencias de litología y ubicación de la Mina Flor de Lirio. Fuente: Departamento de ingeniería - mina Flor de Lirio, 2019.

### 1.2.3. Geología estructural

Las estructuras mineralizadas se encuentran emplazadas por lo general en rocas graníticas de composición granodiorita a diorítica del Cretácico Superior e intruidas por diques andesíticos terciarios de grano medio a grueso, cuya mineralización esta como relleno de zonas de debilidad y fracturas de óxidos de Fe+, Especularita - hematita masiva, de forma elongada, con motas Malaquita-Crisocola moderada, en las andesitas.

Se observaron dos labores mineras: al Norte un Túnel minero con una Galería en estructura vetiforme de 240m de largo, de Rumbo S70°E y Buz

80°SW, con Potencia 3.00 a 4.00m y en superficie su respectivo afloramiento de 250 a 300m. de Rumbo S (70-80°) E y Buz. (80-85°)SW, con Potencia 0.80 a 1.00m, compuesto de Especularita-hematita masiva y motas y disseminación de Malaquita crisocola. Al Sur a un 1km. tenemos un rajo explotado de unos 300m de largo con una Potencia 2.50 a 4.00 m de Rumbo N (70° - 80°) W y Buz. (75° - 80°)NE, con las mismas características geológicas similares al Sector Norte. Según lo observado podemos interpretar, que se trata dos sistemas de estructuras subparalelas de Buzamientos opuestos, tanto al SW y NE respectivamente, separados por 1 km en la horizontal.

Los resultados de muestreo en canales de frentes y afloramientos nos reportan, en el Sector Norte Ley: 1.11%CuT / 0.87%CuSol / 0.24%CuIns, en promedio y Pot. 2.85m. (Interior Mina) y 0.78%CuT / 0.44%CuSol / 0.34% CuIn, en promedio y Potencia 0.83m (Afloramientos). Para el Sector Sur tenemos las leyes del Rajo Explotado, con Ley: 1.35%CuT / 1.15% CuSol / 0.20% CuIn, en promedio y Potencia 3.00m. (Solo un Frente). Y muestras de canchas de “marinas”, con Ley: 0.88% CuT / 0.51% CuSol /0.37% CuIns, en el Sector Norte.

Finalmente, existen sondajes diamantinos ejecutados, al Este de la estructura principal que no tienen data ni nomenclatura, que posiblemente fue para corroborar la continuidad al SE de la veta antes mencionada.

### ***Control Estructural:***

Actualmente la zona del Proyecto Flor de Lirio, se ubica en el sector sur del Segmento El Salado en el Sistema de Falla de Atacama los análisis

muestran una relación espacial y genética de la mineralización de Fe con sistemas de falla NE de cinemática normal y normal sinistral, mientras que la mineralización de Fe-Cu-Au, que corta al sistema anterior, se encuentra asociada a fallas NW de cinemática sinistral normal, sus estructuras conexas son compatibles con dicho sentido de movimiento y están formadas por fallas inversas y normales grietas de tensión, clivaje; además de vetas y fallas verticales en posición T (tensión) y R (Riedel).

Las estructuras observadas presentan un sistema de cuerpo tabular y alongadas de orientación S70°E y N70°W a E-W, que posiblemente sean zonas extensionales del corredor principal N-S, asociadas a la Falla Regional de Atacama-Antofagasta del Sistema Andino. (Departamento de ingeniería - mina Flor de Lirio, 2019).

#### **1.2.4. Geología económica.**

**Mineralización.** - La veta principal presenta orientaciones Rumbo S (70-80) E, Buz (75° - 80°) SW, potencia promedio de 3.00 m, reconocidas en superficie aproximadamente 250 m. La mineralización observada en interior mina y superficie es presencia de óxido de cobre crisocola-malaquita, atacamita en trazas, oxidación de fierro moderado a fuerte en especularita-hematita masiva en contactos con la caja techo y piso principalmente.

Al Sur se tiene un rajo antiguo, a un 1 km. de la primera estructura, una veta sub paralela, con rumbo N (70° - 80°) W, buzamiento (75° - 80°) NE, con potencia de 2.5 - 3.0 m aproximadamente de las mismas características geológicas del sector Norte.

La Estructura mineralizada se presenta incluida a lo largo de un cuerpo tabular de composición andesítica, que en buena parte se encuentra blanqueado e intensamente silicificada, así como fuertemente fracturada y con alto contenido ferruginoso, como relleno en sus fracturas, esta situación repite en las granodioritas en las proximidades del contacto con las andesitas. Y se puede indicar también de que la estructura principal presenta diferentes ramificaciones de diferentes orientaciones asociado a su desplazamiento.

***Recursos Minerales.*** - Del reconocimiento de las estructuras mineralizadas, denominada Veta Norte y Veta Sur se cubican 779,870.00 toneladas y 158,850.00 toneladas de mineral in situ, respectivamente, esto relacionado con el método de explotación elegido nos permite extraer de un 70% a 80%, debido a que el método es altamente selectivo. Siendo conservadores y estimando extraer un 70% de las reservas probadas nos permite estimar 643.074 toneladas extraíbles, lo que permitiría extraer a una razón de 4.500 toneladas de mineral mensual por 12 años aproximadamente. (Departamento de ingeniería - mina Flor de Lirio, 2019).



## CAPITULO II

### FUNDAMENTACIÓN

#### 2.1. *Marco Teórico.*

##### 2.1. Antecedentes de la investigación.

###### **Antecedente Internacional:**

En la tesis **“Análisis Geomecánico del Macizo Rocoso para la Construcción de la Chimenea Glory Hole Mediante el Sistema Alimak”**; Sustentado el año 2015 por Víctor Hugo Yucás Mejía, para optar el Título de Ingeniero de Minas, en la Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental carrera de Ingeniería de Minas. La tesis tiene como el objetivo general: Diseñar el sistema de excavación de una chimenea mediante el sistema de levantamiento mecánico Alimak, para el traspaso de material mineralizado, en el área minera “Selva Alegre 1” y como objetivos específicos:

- Recopilar información geológica y topográfica del proyecto en estudio.
- Determinar mediante ensayos las propiedades físico-mecánicas de la roca del sitio de excavación.
- Describir la funcionalidad y dimensiones de la chimenea a construirse.
- Realizar el análisis geomecánico en el franqueo de la chimenea, para garantizar el correcto servicio de la labor vertical.

- Programar las medidas de seguridad para la ejecución del franqueo de la chimenea.
- Socializar el presente trabajo de investigación con los directivos de la Compañía minera.

Tiene como Hipótesis: Cómo optimizar el trasiego del material de mina (caliza), tomando en cuenta todos los parámetros de seguridad que contempla la reglamentación interna de la Compañía. Problema: la no construcción de la chimenea en el proyecto en estudio, no permitirá mejorar la parte ambiental, las operaciones mineras de explotación y la rentabilidad de la concesión minera. Marco Referencial: El proyecto se encuentra ubicado en norte del Ecuador, al suroeste de Imbabura, cantón Otavalo, parroquia Selva Alegre. Marco Metodológico: Toma de datos geotécnicos en el tramo franqueado de la chimenea, ensayos de resistencia a la compresión, interpretación de resultados. Marco Teórico: Geología regional y local, génesis del yacimiento, mineralización, propiedades físico-mecánicas de la roca, descripción del macizo rocoso, clasificación geomecánica RMR, forma y dimensiones de la chimenea, sistemas de fortificación y sostenimiento en base a la caracterización geomecánica, cálculo de los parámetros y diagramas de perforación y voladura, organización de trabajos que conforman un ciclo de avance de la chimenea, cálculo del sistema de ventilación, consideraciones de desagüe, costos unitarios de las actividades que conforman un ciclo de avance. Conclusión General: Se refiere al conjunto de consideraciones, parámetros y actividades que conforman el diseño de excavación de una labor subterránea. Recomendación General: Actualizar el

mapeo geotécnico a medida que avanza la excavación para solventar las necesidades de sostenimiento que se presenten. (Yucás, 2015).

#### **Antecedente Nacional:**

En la tesis “**Aplicación de la Geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes por desprendimientos de rocas en la CIA. minera Reyna Cristina – Ancash**”; Sustentado el año 2017 por los bachilleres: Edwin Ricardo Fabián Flores y Jhoel Paúl Guerrero Porras, para optar el Título de Ingeniero de Minas, en la Universidad Nacional de Huancavelica. Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental escuela profesional de Ingeniería de Minas. La tesis tiene como el objetivo general: Determinar la influencia de la aplicación de la geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes por desprendimientos de rocas en la CIA. Minera Reyna Cristina; y como objetivos específicos:

- Determinar la influencia de la aplicación de la geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes leves por desprendimientos de rocas en la CIA. Minera Reyna Cristina.
- Determinar la influencia de la aplicación de la geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes incapacitantes por desprendimientos de rocas en la CIA. Minera Reyna Cristina.
- Determinar la aplicación de la geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes fatales por desprendimientos de rocas en la CIA. Minera Reyna Cristina.

La investigación desarrollada corresponde a la metodología investigación científica, cuyo problema es ¿De qué manera la aplicación de la geomecánica influye en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes por desprendimientos de rocas en la CIA. Minera Reyna Cristina? Planteado como objetivo: Determinar la influencia de la aplicación de la geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes por desprendimientos de rocas en la CIA. Minera Reyna Cristina.

La investigación es aplicada de nivel descriptiva – explicativa con diseño Pre - experimental de un solo grupo con población 30 trabajadores. Además se realizó encuestas al grupo de trabajadores de estudio, el procesamiento de datos se realiza con Minitab 10, y contratación de hipótesis con la prueba de “t” de Student, los resultados siendo satisfactorias que se mostraran en la prueba de hipótesis, así mismo los índices anuales acumulados. Producto del conocimiento de accidentabilidad, se determina la implementación y aplicación de la geomecánica en los frentes de avances de carbón, se ejecutara en capacitaciones y encuestas, teórica y práctica, en cuanto a las tablas geomecánicas aplicadas son las de RMR y GSI.

Para ello se hizo la evaluación de los estados actuales de la mina, la ejecución de las investigaciones geomecánicas en los frentes de avance en la explotación de carbón, la evaluación de las características geomecánicas y el cuadro comparativo de accidentes por el área de seguridad, de la misma manera que se verifique la inestabilidad de las cajas en los frentes de carbón que está siendo explotado por el método corte y relleno ascendente.

Este aporte trae consigo a incrementar el porcentaje de explotación, disminuyendo los accidentes y pérdidas generadas por desprendimientos de rocas. Estos estudios geomecánicos y ensayos de laboratorio aportan considerablemente a la producción mensual de la mina, en condiciones estables y seguras, sobre todo disminuir y prevenir los accidentes por desprendimientos de rocas. (Fabián, y Guerrero, 2017).

#### **Antecedente Local:**

En la tesis **“Geomecánica aplicada para mejorar la estabilidad de labores mineras subterráneas en la unidad minera Arequipa M de la compañía minera A.C. Agregados S.A. - año 2018”**; Sustentado el año 2018 por Daniel Esteban Rodríguez Lucas, para optar el Título de Ingeniero de Minas, en la Universidad Nacional “Santiago Antunez de Mayolo”. Facultad de Ingeniería de Minas Geología y Metalurgia. Escuela Profesional De Ingeniería de Minas.

La tesis tiene como el objetivo general: Aplicar la geomecánica para mejorar la estabilidad de labores mineras subterráneas en la unidad minera Arequipa M de la compañía minera A.C. Agregados S.A. - año 2018, y como objetivos específicos:

- Determinar los parámetros de la caracterización del macizo rocoso aplicados en la estabilidad de las labores mineras subterráneas en la unidad minera Arequipa M de la Compañía Minera A.C. Agregados S.A. – año 2018?

- Determinar los procedimientos de instalación de los sistemas de sostenimiento.

La hipótesis general formulada fue: La aplicación de la geomecánica mejorara la estabilidad de las labores mineras subterráneas en la unidad minera Arequipa M de la Compañía Minera A.C. Agregados S.A. - año 2018. Se justifica porque con la aplicación de la Geomecánica y con la determinación los parámetros Geomecánicos RMR de Bieniawski y RQD podemos determinar el sostenimiento adecuado en la unidad minera Arequipa M, con esto mejoraremos la estabilidad de las labores mineras subterráneas.

Se concluyó que de acuerdo al levantamiento litológico estructural de caracterización del macizo rocoso determinado, a través del programa computacional del DIPS, la determinación del RQD que es 68%, la calidad y el valor del macizo rocoso es según el RMR de 57, clasificándola como de Clase III. Sin embargo, para la selección de un sistema de reforzamiento (bolting) para el caso específico de minería, se ha tenido que usar las correcciones de Laubscher And Taylor para obtener el MRMR (Mining Rock Mass Rating). En este trabajo consideramos un ajuste del orden 70%, es decir trabajaremos con un RMR de 40.

Recomendándose para este caso que corresponden a un tipo de refuerzo: el empleo de Mallas electro soldadas, Split Set de 5 y 7 pies y cuadros de madera, con espaciamiento de 1.20 a 1.20 metros. (Rodríguez, 2018).

## **2.2. Fundamentación teórica.**

### **2.2.1. Geomecánica.**

Según la U.S. National Comité on Rocks Mechanics. (1974). “La mecánica de rocas es la ciencia teórica - práctica aplicada al comportamiento mecánico de la roca y de los macizos rocosos; es aquella rama de la mecánica que trata con la respuesta de la roca y de los macizos rocosos al campo de fuerzas en su entorno físico”.

*Geomecánica = Mecánica de Rocas + Conjunto de Ciencias afines: Geología, Hidrología, Yacimientos Minerales, etc.* (Fabián, y Guerrero, 2017).

### **2.2.2. Como se conceptualiza la geomecánica actualmente.**

Según la U.S. National Comité on Rocks Mechanics. (1974). Hoy en día la geomecánica juega un rol muy importante en la ingeniería minera e ingeniería civil; particularmente constituye la base científica de la ingeniería minera, ya que a diferencia de la ingeniería civil, tiene sus propias peculiaridades, guiados por el concepto “vida de la operación”.

La aplicabilidad de la geomecánica beneficia el aspecto de la seguridad minera, ya que la aplicabilidad de esta ciencia, garantiza el análisis adecuado para el control de estabilidad de las excavaciones subterráneas y superficiales.

Todo Diseño Minero y/o Civil debe tomar el factor geomecánico como herramienta clave para un diseño correcto. El grado de seguridad en minas es vital para la seguridad de los trabajadores y equipos. **“Geomecánica es hacer Seguridad”**. La aplicabilidad de la geomecánica beneficia el aspecto de la seguridad minera, ya que la aplicabilidad de esta ciencia, garantiza el análisis adecuado para el control de estabilidad de las excavaciones subterráneas y superficiales.

### **2.2.3. Causas del desarrollo de la Geomecánica.**

Según la U.S. National Comité on Rocks Mechanics. (1974):

- Incremento de la actividad científica a través de teorías, métodos, instrumentación, procedimientos de medición y software geomecánicos.
- Incremento del tamaño y volúmenes de producción de las operación mineras, subterráneas y superficiales. Control de la estabilidad global del yacimiento.
- Necesidad de explotación de recursos minerales en ambientes desfavorables de minado. Condiciones desfavorables ambientes de alta ley.
- La conservación del recurso humano y la seguridad industrial.
- Implementación de la estabilidad global del yacimiento. Estándares Seguridad.



- Desarrollo de nuevas técnicas de sostenimiento mecanizados.
- Aplicación de nuevas tecnologías de excavación de roca: Voladuras. La aplicabilidad de la geomecánica beneficia el aspecto de la seguridad minera, ya que la aplicabilidad de esta ciencia, garantiza el análisis adecuado para el control de estabilidad de las excavaciones subterráneas y superficiales.

#### **2.2.4. Beneficios de la Geomecánica.**

Según la U.S. National Comité on Rocks Mechanics. (1974). La aplicación de la geomecánica, beneficiará a las diversas áreas operativas de la Compañía Minera, beneficiándolas en los siguientes aspectos:

- Garantizar la seguridad durante la excavación de las labores mineras, a través del análisis de deformaciones, niveles de esfuerzos, tensiones, etc.
- Definición de las aberturas máximas y tiempos de auto soporte de las excavaciones mineras: ejecutadas y futuras a ejecutarse.
- Determinación de la estabilidad estructuralmente controlada de las labores de preparación y explotación, verificando en cada una de ellas la formación de bloques y cuñas inestables.
- Permitirá definir las orientaciones más favorables para el minado de las labores de preparación y desarrollo a ejecutarse.

- Permitirá definir las secuencias de explotación, tanto a nivel particular y global en el yacimiento.
- Permitirá definir las categorías y tipos de sostenimiento a aplicarse, determinando estándares de sostenimiento en función a los tiempos de exposición de las labores mineras: preparaciones y explotación.
- Permitirá la estandarización del tipo y cantidades de sostenimiento a aplicarse en cada una de las labores mineras, así como el tipo de relleno a aplicarse.
- Permitirá seleccionar y diseñar alternativas de nuevos métodos de explotación en las futuras zonas de explotación. Así como establecer algunas variantes en el método de explotación aplicado actualmente.
- Permitirá mediante el monitoreo geomecánico verificar y validar suposiciones adoptadas durante las fases de diseño inicial del laboreo minero. (Fabián, y Guerrero, 2017).

#### **2.2.5. Objetivos de la geomecánica en el minado subterráneo.**

“Geomecánica en el minado subterráneo según el método de minado que se adopte, es posible especificar los siguientes cuatro objetivos comunes de la geomecánica para el rendimiento de la estructura de la mina:

- Asegurar la estabilidad global de la estructura de la mina.

- Proteger las principales aberturas de servicio a través de su vida de diseño.
- Proveer accesos seguros a los lugares de trabajo y alrededor de los centros de producción de mineral.
- Preservar en condición de minables las reservas de mineral no minadas. (Fabián, y Guerrero, 2017).

#### **2.2.6. Evaluación geomecánica.**

Según (Blas Plácido, 2016), “La evaluación geomecánica es aquella que contiene información geológica de parámetros que afectan al macizo rocoso y que pueden o no generar inestabilidad en las labores mineras”. La evaluación geomecánica contiene la caracterización geológica de la roca de acuerdo a la clasificación geomecánica correspondiente, además debe contener información del tipo de roca, grado de fracturamiento condición de las discontinuidades y presencia de agua subterránea. El resultado de la evaluación geomecánica nos determinará el tipo de sostenimiento a emplear en la labor subterránea, con el objetivo de garantizar la estabilidad de la maza rocosa. Finalmente, sirve también para recomendar el tipo de excavación y el diseño del método de minado a emplear.

Según (Michel Cáceres, 2017) “La evaluación geomecánica del macizo rocoso influye significativamente en la elección del sostenimiento de las labores de explotación en la mina San Cristóbal

– Compañía Minera Volcan S.A.A.; Asimismo, la aplicación de la evaluación geomecánica, determina los problemas de inestabilidad de la masa rocosa en la mina San Cristóbal y por lo mismo se han planteado alternativas de sostenimiento para garantizar la estabilidad de las labores. Se tiene mayor ocurrencia en forma de cuñas a lo largo de los subniveles, donde las excavaciones van paralelas al sistema principal de discontinuidad, todo esto de acuerdo al análisis de estabilidad estructuralmente controlado. El sostenimiento recomendado es con pernos helicoidales de 10 pies y shotcrete de 2 pulgadas para la primera etapa, en la segunda etapa el sostenimiento fue pesado con el uso de shotcrete, pernos helicoidales, malla electrosoldada y cimbras porque así lo requiere el terreno”.

Según (Abad Alvarado, 2011), “Los resultados de la evaluación geomecánica influyen significativamente en la elección del tipo de sostenimiento a emplear en el túnel Huascacocha – Rímac, (7) dichos resultados se determinaron con la información geomecánica obtenida de las estaciones de medición ubicados en los afloramientos rocosos, establecidos por la empresa que realizó los estudios, a lo largo del eje del túnel. Los tipos de sostenimiento que se establecieron fueron bajo los resultados ya antes mencionados. El Túnel N° 1 tiene su portal de entrada en la cota 4469.6, ubicada en el km 7+625, los resultados de evaluación geomecánica indican una roca de calidad media Tipo III, con  $RMR= 61$  e índice  $Q=5.4$  hasta el km 7+630, soportando una cobertura de roca en un espesor de 0.98m y una presión sobre el techo

del túnel correspondiente a 2.24 Tn/m<sup>2</sup>”. de designación de la calidad de la roca según Deere

Según (Mendieta Britto, 2014), “El índice de designación de la calidad de la roca (RQD) desarrollado por Deere, provee un estimado cuantitativo de la calidad de la masa rocosa, a partir de los testigos de la perforación diamantina”. El RQD es definido como el porcentaje de piezas de testigos intactos mayores de 100 mm (10 cm) en la longitud total del testigo. El testigo deberá tener por lo menos un tamaño (54.7 mm o 2.15 pulgadas de diámetro) y deberá ser perforado con un cilindro de doble tubo de perforación”.

Según (Palmstrom, 1982), “El RQD puede ser estimado a partir del número de discontinuidades por unidad de volumen, visibles en afloramientos rocosos o socavones”. Nos dice también que la relación sugerida para masas rocosas libres de arcillas es:

$$\mathbf{RQD = 115 - 3.3 J_v}$$

Donde  $J_v$  es la suma del número de discontinuidades por unidad de longitud de todas las familias de discontinuidades, conocido como el conteo volumétrico de discontinuidades.

Donde el RQD es un parámetro direccionalmente dependiente y su valor puede cambiar significativamente, dependiendo sobre todo de la orientación del taladro. El uso del conteo volumétrico de discontinuidades puede ser muy útil en la reducción de esta dependencia direccional. (Quispe, 2018).

### 2.2.7. Parámetros del RMR.

Según (Mendieta Britto, 2014), “El RMR permite hacer una clasificación del macizo rocoso y estimar el tiempo de mantenimiento y longitud de un vano. Tiene seis parámetros que permiten clasificar al macizo rocoso de manera más detallada”.

- Resistencia compresiva del material rocoso (Mpa)
- Designación de la calidad de la roca (RQD)
- Espaciamiento de las discontinuidades
- Condición de las discontinuidades
- Condiciones del agua subterránea
- Orientación de las discontinuidades

En la aplicación de este sistema de clasificación, la masa rocosa es dividida en un número de regiones estructurales y cada región es clasificada en forma separada. (Quispe, 2018).

### 2.2.8. Sostenimiento.

Entiéndase por sostenimiento al conjunto de elementos estructurales que se colocan en una excavación para garantizar su estabilidad.

- a. **Sostenimiento Pasivo.** - Conocido también como sostenimiento de soporte, considerado así porque el elemento no mejora las

propiedades mecánicas del macizo rocoso debido a que este no interactúa con el mismo.

- Cuadros de Madera.
- Wood Pack.
- Cimbras metálicas.
- Malla electro soldada.
- Puntales.
- Gatas Camlok.
- Relleno.

**b. Sostenimiento Activo.** - Conocido también como sostenimiento de refuerzo, ya que este si mejora las propiedades mecánicas del macizo, debido a que el elemento interactúa con el mismo.

- Pernos de anclaje.
- Cable Bolting.
- Shotcrete. (Macedo, 2015).

### **2.2.9. Tipo de perno**

Existen básicamente 2 tipos de pernos de fortificación (también llamados pernos de roca). Los pernos de roca pueden ser de dos tipos: por adhesión o por fricción.

Un perno de roca embebido en resina resiste los esfuerzos del tensionamiento de la barra por la adhesión o “pegado” de la resina con la roca y la barra de acero. En lugar de cartuchos de resina también se pueden usar cartuchos de cemento (CEMBOLT) o cemento inyectado en la perforación mediante bombas manuales. La barra de acero utilizada puede ser una barra corrugada maquinada o una barra helicoidal.

El perno de roca por fricción resiste las cargas de tensionamiento por fuerzas friccionantes al contacto entre la roca y el perno. Por lo tanto no se usa ningún tipo de adherente. En este caso, los pernos comúnmente utilizados son los famosos Swellex y el Split Set.

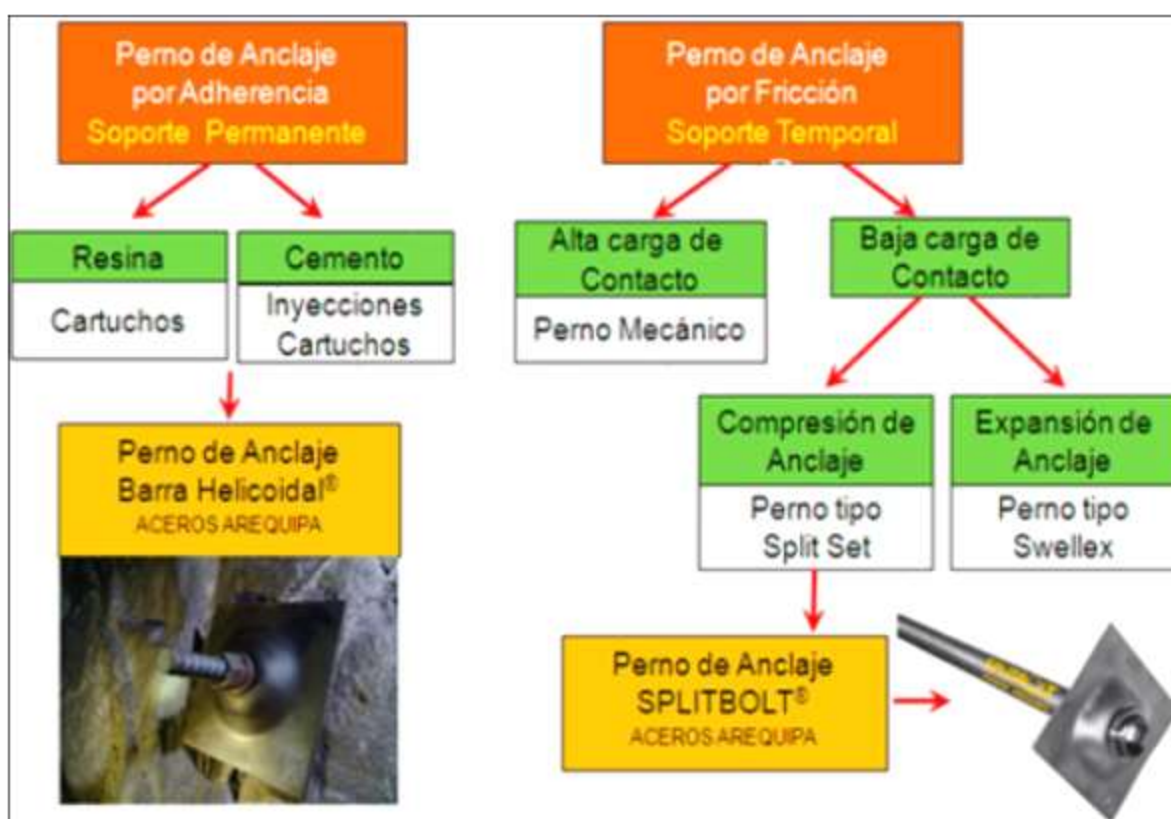


Figura N° 6: Tipo de perno de Anclaje  
Fuente: Yaguillo Amante, Miguel Ángel, 2014



- La ventaja del perno por adhesión con relación al perno por fricción es que el primero puede desarrollar cargas hasta de 25 ton como mínimo (para barras de diámetro de 22mm) o cargas de hasta 32 ton como mínimo (para barras de diámetro de 25mm).

En cambio, los pernos por fricción solo pueden soportar cargas entre 6-8 ton. Por esta razón, los pernos por adhesión generalmente son usados como sostenimiento permanente (galerías y rampas en minas de uso prolongado y en túneles para trasvases de agua o en centrales hidroeléctricas sometidos a caudales de alta presión).

- Asimismo en esta parte del análisis, es importante tener claro si la categoría del anclaje seleccionado corresponde a un soporte permanente o si corresponde a un soporte temporal. Esta premisa es importante al momento de seleccionar el tipo de sostenimiento, ya que las categorías por adherencia están asociadas a soportes permanentes, mientras que la categoría por fricción está asociada a soportes temporales.

### ***Perno por adhesión***

#### **Ventajas**

- Relativamente de bajo costo
- Trabaja de manera inmediata

- Al girar el perno, se aplica presión lateral en la cabeza del perno y de esta manera se acumula tensión en el mismo
- Con un relleno posterior de cemento el perno puede servir como fortificación permanentes
- En rocas duras el perno puede soportar cargas altas

Es un sistema versátil para fortificación en rocas duras

### **Desventajas**

- Su uso está limitado a rocas moderadamente duras a duras
- Difícil de instalar
- Debe ser monitoreado después de su instalación
- Pierde capacidad debido a tronaduras cercanas o causando la roca se fractura alrededor de la zona de expansión.

### ***Perno por fricción***

#### **Ventajas:**

- Instalación rápida y simple
- El soporte es inmediato después de su instalación
- Puede ser usado en una variedad de condiciones de terreno

- La instalación causa contracciones a lo largo del perno, esto tenciona efectivamente la plancha contra la superficie de la roca.

**Desventajas:**

- Relativamente caro
- Se requiere protección contra la corrosión si se una en instalaciones permanentes
- Se requiere una bomba para su instalación (swelle x).  
(Yaguillo Amante, 2014, Citado por Rodriguez, 2018).

**2.3. Definición de Términos.**

**Acceso:** Excavación minera que se construye sobre terreno estéril con la finalidad acceder al yacimiento mineralizado.

**Banqueo:** Viene a ser la acción de fragmentar por acción de la voladura el macizo rocoso para el cual se perforan taladros verticales y el terreno debe presentar dos caras libres una paralelo a los taladros por donde saldrá la el material fragmentado y la otra perpendicular por donde se realiza la perforación y carguío de los taladros.

**Buzamiento:** Ángulo vertical de máxima pendiente el cual se mide en forma perpendicular al rumbo de una estructura y a partir de la horizontal hasta el plano inclinado.

**Buzamiento aparente:** Ángulo vertical medida en forma no perpendicular al rumbo de la estructura y a partir de la horizontal hasta el plano inclinado. Generalmente éste ángulo viene a ser menor que el buzamiento y en ningún caso puede ser igual o mayor a él.

**Caracterización de Macizos Rocosos:** La caracterización de un macizo rocoso constituye la fase inicial de estudio geomecánico, el cual implica la descripción de las características particulares que intervienen y juegan un papel importante en el comportamiento geomecánico del macizo frente a procesos de desestabilización. Es importante mencionar que el comportamiento del macizo rocoso, esta fundamentalmente basada en las observaciones y descripciones hechas a partir de afloramientos y sondajes de perforación.

**Clasificación Geomecánica:** Calificación del macizo rocoso en función a las características que presentan ciertos parámetros del terreno, y la influencia que representan estos en la estabilidad de las excavaciones.

**Cuña:** Bloque de roca de forma tetraédrica que viene a ser limitada por la disposición de las diversas discontinuidades presentes en el terreno.

**Criterio de rotura:** Relación de parámetros de resistencia de un material sometidos a un estado de tensiones que producen la rotura del mismo.

**Convergencia:** Tendencia de una excavación a cerrarse por efecto de las presiones circundante a la labor.

**Estereograma:** Gráfico de forma circular en el cual se representan las diversas estructuras presentes en el terreno, manteniendo estas su orientación

medida en campo. Estos gráficos permiten visualizar y analizar el comportamiento estructural de los macizos rocosos.

**Explotación:** Acción de extraer los recursos minerales del subsuelo aplicando diversos métodos y técnicas según las características del yacimiento y rocas encajonantes.

**Factor de seguridad:** La relación existente entre fuerzas que contribuyen a la estabilidad versus fuerzas desestabilizadoras. El valor de 1.0 de este cociente indica el equilibrio de dichas fuerzas, por lo que para garantizar la estabilidad este siempre debe ser mayor a la unidad (*mayor a 1.3 para el caso de labores de carácter permanente y mayor a 1.2 para labores de carácter temporal*), en caso el valor sea menor a la unidad, éste indicará un inminente colapso de la estructura minera.

**Geomecánica:** La geomecánica estudia las propiedades de la resistencia y deformabilidad que experimenta el terreno frente a la concentración de esfuerzos inducidos como consecuencia de la construcción de excavaciones

**Instrumentación:** Acción de medir en campo ciertos parámetros del comportamiento del terreno haciendo uso de equipos diseñados para tal fin.

**Macizo rocoso:** Material compuesto por la matriz rocosa y diversas discontinuidades (*Fallas, diaclasas, estratos, foliaciones, venillas, contactos, etc.*) presentes en el terreno.

**Mapeo geomecánico:** Registro en campo de parámetros geomecánicos con el objetivo de determinar la calidad y el comportamiento de un determinado terreno.

**Número de estabilidad:** Indicador propuesto por Yves Potvin mediante el cual se determina la condición de estabilidad de una excavación.

**Pernos de anclaje:** Elemento de sostenimiento con forma de varilla que se instala con la finalidad de estabilizar el macizo rocoso a través de las diferentes técnicas que se emplean con dicho elemento (*efecto viga, efecto arco, puntual, sistemático, etc.*).

**Radio hidráulico:** Relación existente entre el área y el perímetro de una excavación subterránea, el cual se expresa en metros.

**Rampa:** Labor minera que se desarrolla con la finalidad ya sea de profundizar o ascender a niveles superiores en las que persiste el yacimiento mineralizado.

**Roca Intacta:** Conocido también como matriz rocosa, es aquella que se encuentra libre de discontinuidades, este tipo de material es el adecuado para el ensayo en laboratorios.

**Shotcrete:** Elemento de sostenimiento el cual consiste en proyectar el concreto sobre la superficie de una excavación, evitando de esta manera el desprendimiento de bloques de roca relativamente pequeñas.

**Sostenimiento:** Entiéndase por sostenimiento al conjunto de elementos estructurales que se colocan en una excavación para garantizar su estabilidad.

**Sostenimiento Activo:** Conocido también como sostenimiento de refuerzo, ya que este si mejora las propiedades mecánicas del macizo, debido a que el elemento interactúa con el mismo.

**Sostenimiento Pasivo:** Conocido también como sostenimiento de soporte, considerado así porque el elemento no mejora las propiedades mecánicas del macizo rocoso debido a que este no interactúa con el mismo.

**Subnivel:** Labor minera que se desarrolla sobre mineral mediante el cual se delimita los bancos para la explotación por Banqueo y Relleno.

**Tajo:** Delimitación del yacimiento mineralizado para el cual se desarrollan un conjunto de labores para la extracción del mineral delimitado.

**Veta:** Yacimiento mineral de origen hidrotermal que posee una forma tabular. (Macedo, 2015).

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

#### **3.1. *El Problema.***

La Explotación subterránea de la “Veta Norte” y “Veta Sur” mediante el método Sublevel Stopping con variante LBH, (Long Blast Hole, taladros largos); en la mina “Flor de Lirio”; requiere de una rampa principal, niveles o galerías de producción y un pique principal de una longitud de 150 m. La operación de la mina para el avance de las galerías y extracción de material utilizará una secuencia de operaciones unitarias de perforación, tronaduras, carguío y transporte.

Durante el recorrido por la rampa principal, se evidenciaba en un sector en específico “INTERSECCIÓN RAMPA PRINCIPAL CON CRUCERO 3” leves pero continuos desprendimientos de material rocoso.

El tipo de fortificación a aplicar en la rampa Principal de la Mina “Flor de Lirio” se basará en la calidad geotécnica y comportamiento del macizo rocoso existente en los sectores en donde se desarrollan y desarrollara la rampa.

Para ello, se debe de tener implementado un sistema de caracterización geotécnica basado en la clasificación de Bieniawski 1989, el cual permite zonificar los sectores de acuerdo a un código de colores, éste es un predictivo que permite estimar las necesidades de fortificación.



### **3.1.1. Formulación del Problema.**

#### **Formulación del problema General:**

¿Cómo realizar la evaluación Geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”?

#### **Formulación de problemas específicos:**

1. ¿La Geomecánica incidirá en la elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”?
2. ¿Los procedimientos de instalación de los sistemas de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”, serán los adecuados?
3. ¿Cómo influye la aplicación de la geomecánica en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio” para prevenir accidentes fatales por caída de rocas?

### **3.1.2. Objetivos de la investigación.**

#### **3.1.2.1. Objetivo General.**

Realizar la Evaluación Geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento de la Rampa Principal en la mina “Flor de Lirio” de la Sociedad Comercial Importadora y Exportadora DICAVE Limitada – 2020.

### **3.1.2.2. Objetivos Específicos.**

1. Aplicar la Geomecánica, para la elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”.
2. Determinar los procedimientos de instalación de los sistemas de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”.
3. Realizar la aplicación de la geomecánica en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”, para prevenir accidentes fatales por caída de rocas.

### **3.1.3. Justificación e importancia.**

La tesis se justifica porque con la Evaluación Geomecánica se determinara el tipo de sostenimiento a aplicar en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”, de esta manera podemos determinar el sostenimiento adecuado y optimo, garantizando la estabilidad de la Rampa Principal que es una labor permanente.

Este trabajo servirá como fuente de información para las personas que trabajan en geomecánica en minería subterránea.

El sostenimiento minero subterráneo es importante y de gran necesidad, con la finalidad de prevenir el desprendimiento y caída de roca que constituye el mayor causante de accidentes incapacitantes y fatales en Chile.

### **3.1.4. Alcances.**

Los alcances de la tesis está dirigida a TODAS LAS CELDAS la rampa Principal de la mina Flor de Lirio.

### **3.1.5. Limitaciones.**

Una de las limitaciones fue el poco acceso a la información porque la mina recién está implementándose en la explotación subterránea.

## **3.2. Hipótesis.**

### **Hipótesis General.**

La Evaluación Geomecánica influye en la elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio” de la Sociedad Comercial Importadora y Exportadora DICAVE Limitada – 2020.

### **Hipótesis Nula.**

La **NO** Evaluación Geomecánica **NO** influye en la elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio” de la Sociedad Comercial Importadora y Exportadora DICAVE Limitada – 2020.

### **Hipótesis Específicas.**

1. La aplicación de la Geomecánica, influye en la elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”.
2. Se determina los procedimientos de instalación de los sistemas de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”.

3. Se realiza la aplicación de la geomecánica en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”, para prevenir accidentes fatales por caída de rocas.

### 3.3. Variables.

#### Variable Independiente (x):

Evaluación Geomecánica.

#### Variable dependiente (y):

Elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”.

#### 3.3.1. Operacionalización de variables.

Tabla N° 5: Operacionalización de variables

Tipo de Variable	Nombre de la Variable	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente	Evaluación Geomecánica.	Propiedades de la roca intacta	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Resistencia compresiva (Martillo Schmidt y carga puntual).</li> <li>▪ Modelo diferencial (Laboratorio)</li> </ul>
		Propiedades de las discontinuidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Condición de las discontinuidades (Apertura, relleno y alteración)</li> <li>▪ R.Q.D. (cálculo de <math>J_v</math>)</li> <li>▪ Espaciado (Software)</li> </ul>
		Clasificación y Resistencia de la masa rocosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ R.M.R. (RMR corregido)</li> <li>▪ Q Barton (<math>J_a</math>, <math>J_v</math> y <math>J_r</math>)</li> <li>▪ G.S.I (RMRM corregido).</li> </ul>
Variable dependiente	Elección del tipo de sostenimiento en la Rampa	Tipo de estabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estructura controlada</li> <li>▪ Convergencia</li> </ul>

	Principal de la mina "Flor de Lirio".	Sistema de estabilización	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sostenimiento Pasivo</li> <li>▪ Sostenimiento Activo</li> </ul>
		Factor de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analítico</li> <li>▪ Programas</li> </ul>

Fuente: Adaptación propia.

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

#### **3.4.1. Tipo de investigación.**

El tipo de investigación es APLICADA, porque se buscará las soluciones para realizar la evaluación Geomecánica y la posterior elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina "Flor de Lirio".

#### **3.4.2. Nivel de la investigación.**

El nivel será de investigación descriptiva.

#### **3.4.3. Método.**

Se empleará el método deductivo donde el proceso de los conocimientos se inicia por la observación de fenómenos de carácter general con el propósito de llegar a conclusiones particulares contenidos explícitamente en la situación general.

#### 3.4.4. Población y muestra.

##### Población

La población de esta investigación, toda la mina en general (Labores de producción y desarrollo) los cual están constituida por 31 celdas geotécnicas de dimensiones Largo = 10 metros por Ancho = 5 metros.

##### Muestra

La muestra se selecciona con la técnica correspondiente:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Dónde:

N = Total de la población

$Z_{\alpha}^2 = 1.962$  (si la seguridad es del 95%)

p = proporción esperada (en este caso 5% = 0.05)

q = 1 – p (en este caso 1-0.05 = 0.95)

d = precisión (en este caso deseamos un 3%).

n = 30 celdas geotecnicas.

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

Las técnicas de recojo de datos serán:

**Observación:** Que consistirá en una percepción atenta y planificada de las diferentes actitudes que presentan los trabajadores mineros, los cuales están relacionados con los objetivos de la investigación, en las condiciones habituales de los trabajadores mineros, es decir sin provocarlos.

**Análisis documental:** Consistirá en la revisión de los registros de accidentes e índices de seguridad.

**Cuestionarios:** Consistirá en buscar la opinión de los trabajadores con respecto al sistema aplicado.

#### **Técnicas de análisis de datos:**

Se empleó la estadística descriptiva probabilística, que es el conjunto de procedimientos diseñados para organizar, resumir y agrupar datos descriptivos, para la prueba de la hipótesis se usa la estadística inferencial con la prueba Z.

#### **Instrumentos de recolección de datos en trabajos de campo:**

- Software AutoCAD y SURPAC.
- Software de Microsoft Office, donde se utilizaron los programas Word y Excel, para la elaboración del informe y el procesamiento de los datos.
- Acceso a Internet, para la búsqueda de información referencial.

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

### **Diseño de prueba de hipótesis:**

Se empleó el siguiente diseño:

Plantear la hipótesis nula.

Seleccionar el nivel de significancia.

Identificar el valor estadístico de la prueba.

Formular una regla de decisión.

Tomar una muestra, llegar a una decisión (se rechaza o se acepta).



## CAPITULO IV

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### *4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos.*

En la actualidad la minería en la república de Chile se encuentra en la cima de cualquier actividad humana que se vienen desarrollando, puesto que es el factor más importante económicamente que viene invirtiendo en Chile y porque no decir en el mundo.

El presente trabajo de investigación abarca el reconocimiento de las características geomecánicas de la masa rocosa, para realizar un diseño de un tipo de sostenimiento en la rampa principal de la mina “Flor de Lirio”. Por eso, una de las operaciones unitarias en toda explotación minera, es conocer el tipo de material rocoso y mineral durante la explotación. Este posteriormente condiciona los tipos de perforación y voladura, tipos de estabilización de la roca, etc. Por esta razón el diseño de las excavaciones mineras depende de su comportamiento mecánico y de acuerdo con ello determinamos un tipo de sostenimiento para mantener la estabilidad de la mina.

#### *4.2. Descripción de la rampa principal.*

**Sector Norte:** El proyecto de explotación considera la construcción de una rampa de profundización (con inicio en la coordenada de Norte: 7.119.220, Este: 386.596, Elevación 870 msnm), ubicada al norte del cuerpo mineralizado, la cual se desarrollará con una pendiente descendente con -12% de pendiente y en sección de 5x5 metros. A partir de esta rampa se construirán labores o crucero de acceso que conectarán con la zona mineral, estas estocadas presentaran longitudes mayores a 24 m lo que permitirá mantener distante la rampa de las zonas explotada.

Una vez que por medio de estocadas sea alcanzada la zona mineralizada se desarrollaran, por su corrida, tanto al Este como al Oeste, galerías de producción (GP) en sección de 5 x 5m (pudiendo alcanzar anchos mayores con el debido respaldo técnico).

Estas galerías (GP) se distanciarán en la vertical a 17,5 m una de otra (distancia de piso a piso).

Desde la rampa de profundización se construirán estocadas que conectarán al pique principal, dicha conexión permitirá habilitar este pique como salida secundaria de evacuación (salida de emergencia.).

Los niveles de extracción contemplan la construcción de labores que se dispondrán paralelas a las galerías (GP), respectivas, y tendrán ventanas o cruzados de extracción cada 18 m. Los cruzados de extracción tendrán una longitud de 17 m.

Estos niveles de extracción se distanciarán en la vertical a 45 m uno de otro (distancia de piso a piso).

Inmediatamente por debajo de cada nivel de extracción se dejará un puente de roca de 10 m de alto a lo largo de la corrida del cuerpo mineralizado, lo cual permitirá asegurar alcanzar los radios hidráulicos admisibles y junto a ello la estabilidad de las cavidades.

La rampa principal en cada curva ubicada del lado Este conectará al pique principal mediante estocada.

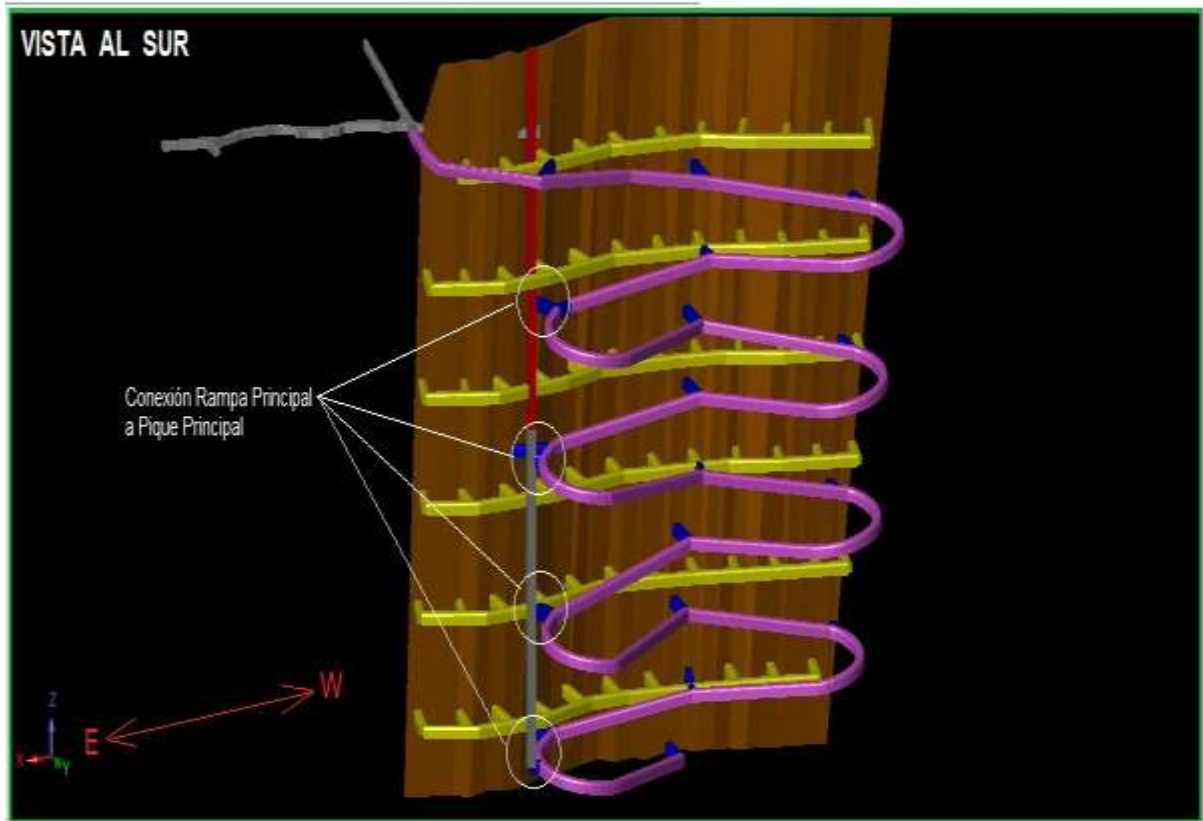


Figura N° 7: Vista isométrica de la rampa lado norte.  
 Fuente: Departamento de ingeniería - mina Flor de Lirio, 2019.

#### 4.3. *Desarrollo de la Operación en la construcción de la rampa principal.*

Las rampas de transporte tienen una dimensión de 5 x 5 metros, mientras que las galerías de producción por veta tienen una dimensión según la potencia de la veta, desde 5 x 5 metros hasta 7 x 5 metros (sectores puntulaes) y la chimenea de ventilación una sección de 4 x 4 metros.

Las principales operaciones unitarias se realizan de la siguiente manera:

- a. **Perforación:** Para la perforación de avance de galerías se cuenta con equipo Jumbo diesel autónomo, con profundidad de barra de 4 metros, con un diámetros de barrenado de 45 mm y siguiendo un diagrama de disparo cerrado con tronadura secuencial no eléctrica. Para la perforación de chimeneas de ventilación, se utiliza un equipo de perforación de pozos largos DTH con un

diámetro de 3 a 4,5", con largo de perforación de 30 metros, también se cuenta con máquinas manuales modelo YT-27 con barras integrales de 1,5; 1,8 y 2,4 metros de largo con un diámetro de 33 mm para trabajos menores.

- b. Voladura:** Las tronaduras se realizan en basa a explosivo tipo Anfo, cuyo consumo promedio es de 650 gramos/tonelada para perforación mecaniza en avance, 150 gramos/tonelada para perforación en producción y 375 gramos/tonelada perforación manual aproximadamente.

Se utiliza además los accesorios tradicionales para este tipo de operación, tales como mecha lenta, fulminantes N° 8, dinamita de 7/8, emulsión de 1 ¼ x 8, emulsión de 1 ¼ x 16, cordón detonante 5 grs. y detonadores no eléctricos de 4.6 a 18 metros de largo con tiempos LP (voladura de frentes) y MS (voladura de producción banqueos), además también se utilizara explosivo de baja potencia para el control de cajas y techos como softron o cordón detónate de 80 gramos.

- c. Diagramas de Perforación:** Para la perforación de frentes en desarrollo de avance horizontal se utilizará el siguiente diagrama principal el cual puede variar según las condiciones de dureza y estabilidad del macizo rocoso, estos cambio según las pruebas de terreno y la experiencia que se tiene en el comportamiento de la estructura mineralizada como de la roca estéril a la fecha, estos cambio se basan principalmente en aumento de tiros auxiliares, secuencia de inicio y explosivo que se utilizará.

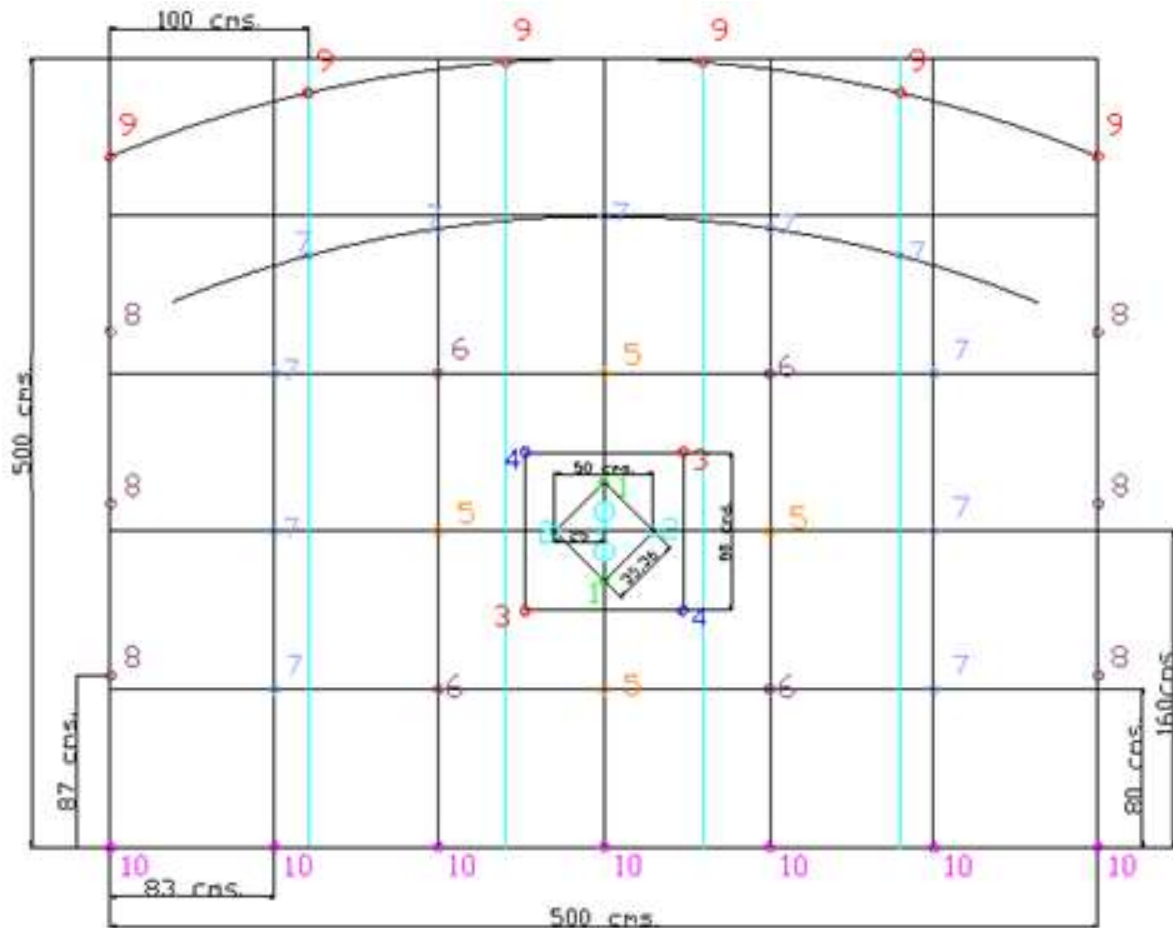


Figura N° 8: Diagrama de Perforación Desarrollo.  
 Fuente: Departamento de ingeniería - mina Flor de Lirio, 2019.

**Perforación en la rampa principal:**

**Perforación:**

N° de tiros : 46.

N° de tiros huecos : 2.

Dímetro de perforación : 45 mm.

Diámetro de tiros huecos : 4 pulgadas.

Largo de perforación : 4 metros.

Equipos de perforación : 1 Modelo Atlas Copco L1CDH.

**Voladura:**

Anfo : 7 sacos de 25 Kg c/u.

Emulsión 1" ¼" : 46 Cartuchos.

Cordón detonante 5P : 50 Metros.

Fulminantes N° 8 : 2 Unidades.

Detonadores no eléctricos	Series	cantidad
	1	2
	2	2
	3	2
	4	2
	5	4
	6	4
	7	11
	8	6
	9	6
	10	7
<b>Total</b>		<b>46</b>

**Factor de carga 0.63 Kg/Ton**

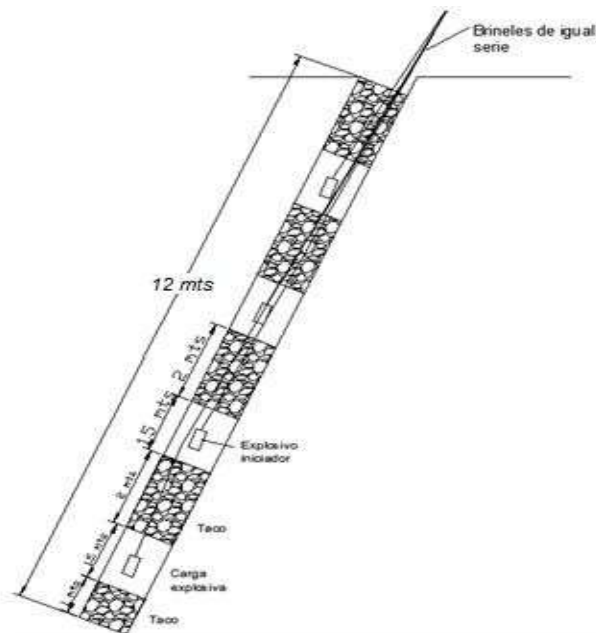


Figura N° 9: Diagrama con Sistema de Carguío de Pozos de Producción.  
Fuente: Departamento de ingeniería - mina Flor de Lirio, 2019.

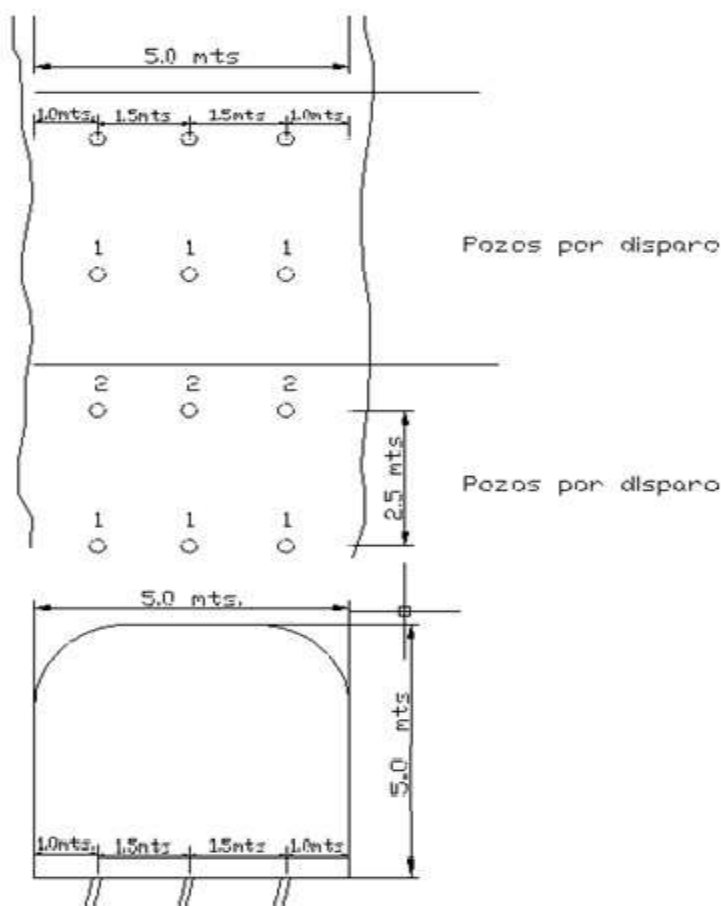


Figura N° 10: Malla de Perforación y Secuencia de Salida.  
Fuente: Departamento de ingeniería - mina Flor de Lirio, 2019.

Tabla N° 6: Parámetros de la voladura en la rampa principal.

Perforación	Cantidad	Unidad	Tronadura	Cantidad	Unidad
Diámetro de perforación	3	Pulgadas	Explosivo utilizado		
Largo de perforación	10 a 15	Metros	Anfo	2	sacos
Área de influencia	6,25	Metros	Booster 150	4	unidad
Espaciamento	2,5	Metros	Cordón detonante	15	metros
Botada	2,5	Metros	Fulminantes	2	unidad
Equipos de perforación	2	Maquinas D.T.H	Brineles Con tiempo MS Serie	1	unidad
				2	unidad
* El espaciamento entre tiros esta modificado según las condiciones del terreno:			Nº de fila por disparo	2	
1,- Ancho De la labor			Nº de pozos por fila	3	
2,- Alcance de la Perforadora					
3,- Inclinación de los pozos			Factor de carga	0,19	Kg/Ton

Fuente: Elaboración propia.

- d. **Carguío y transporte:** El carguío y transporte de material fuera de la mina se realizará utilizando cargador frontal tipo modelo 950 H y camiones Scania

de 30 Toneladas, realizando un ciclo de transporte de dos camiones por un cargador. El mineral será acopiado en cancha de selección según su calidad y el material estéril que se extrae de la mina se dispondrá en un botadero que se formará por volteo directo de la tolva del equipo de transporte.

- e. **Acuñadura:** La acuñadura se realiza según los procedimientos y cada vez que sea necesario. Esta se realiza con mano de obra de personal capacitado, mineros con experiencia en minería subterránea y con el apoyo de los implementos necesarios, como también de equipo de levante con una altura máxima de 15 metros, éste cuenta con canastillo debidamente reforzado y diseñado para cumplir con la tarea mencionada.
  
- f. **Sostenimiento (Fortificación):** Las labores actuales de la mina cuentan con condiciones de estabilidad y han sido levantadas geomecánicamente (mapeo geomecánico y caracterización geotécnica). La literatura técnica permite, haciendo uso de sistemas de caracterización geotécnica, estimar las necesidades de soporte para un determinado tipo de macizo rocoso en función de su calidad geotécnica. El tipo de fortificación a aplicar en Mina “Flor de Lirio” se basará en la calidad geotécnica y comportamiento del macizo rocoso existente en los sectores en donde se desarrollan y desarrollara las labores. Para ello, está implementado un sistema de caracterización geotécnica basado en la clasificación de Bieniawski 1989, el cual permite zonificar los sectores de acuerdo a un código de colores, éste es un predictivo que permite estimar las necesidades de fortificación.



#### **4.4. Geomecánica.**

Para observar todo lo relativo con el comportamiento geo mecánico de las rocas en la mina se realizó el estudio geo mecánico que determina la calidad del macizo rocoso, para después determinar las necesidades y materiales de sostenimiento a utilizar en el proyecto. Estas medidas pueden llegar a ser instalación de pernos, cables lechados, enmallado de la labor (malla acma o biscocho) y shotcrete según la condición detectada.

Como medidas preventivas se utiliza la acuñadura antes, durante y después de cada operación unitaria. El supervisor a cargo de la operación revisará la labor y recomendará las medidas inmediatas, para luego confirmar o mejorar según recomendaciones establecidas por el departamento de geomecánica para eso se debe de tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Geología: Litología y continuidad de ésta.
- Geometría: Forma, dimensiones, actitud (manteo) y profundidad de las estructuras y/o roca.
- Características del macizo rocoso: Calidad y resistencia de la roca en que se realizarán las excavaciones.
- Distribución de fallas y fracturas: Especialmente continuidad de las fallas y fracturas.
- Ritmo de construcción: avance lineal, fragmentación, sobre rotura y cantidad de material producto de la voladura.

#### **4.5. Análisis e interpretación de la información**

##### **A) Breve descripción de la intersección Rampa Principal con Crucero 3. (zona de inestabilidad)**

Lo inspeccionado en terreno junto al mapeo geomecánico permite advertir la presencia de cuña en caja sur. Esta cuña muestra un fracturamiento que es desfavorable para la condición de estabilidad

Esta condición debe reforzarse mediante la instalación de:

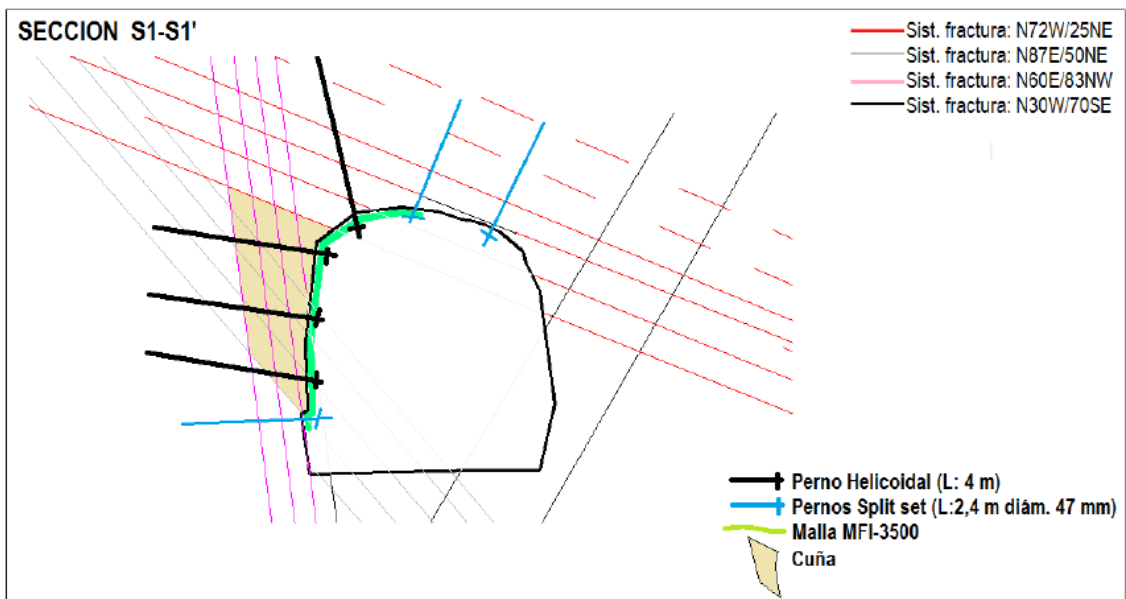
- Malla MFI – 3500 desde el Galibo Norte hasta la parte baja de la caja sur, con un ancho de malla de 3.5 mts.
- Instalación de pernos mixtos (helicoidales de 4 mts de longitud en 22 mm y split set de 47 mm en 2.4 m de largo).
- Pernos helicoidales anclado con resina bicomponente de 38 mm de diámetro en longitud 500 (6 unidades por perforación)
- Espaciamiento pernos en abanico: 1.5 mts.
- Espaciamiento pernos entre abanicos: 1.6 mts.
- Malla de perforación alternada, formando “chancho 5”

##### **CELDA GEOTÉCNICAS N° 28 – 29 – 30:**

En techo del tramo se visualiza la presencia de paquetes de rocas (subhorizontales) de espesores variables que van desde los 30 a los 50 cms aproximadamente. Todo esto condicionado por la presencia de un plano preferencial de fracturas dispuesto en techo (N72°W/25°NE).

Esta condición debe reforzarse mediante la instalación de:

- Instalación de pernos split set de 47 mm en 2,4 mts de largo.
- Espaciamiento puntual: según disposición de planos expuestos.
- Dirección perno: perpendicular al sistema de N72°W/25°NE.



**Datos para el sostenimiento:**

- El RMR varía en cada Celda geomecánica teniendo los siguientes resultados:

**Para las celdas C28 y C92:**

Formula:  $RQD = 115 - (3.3)J_v$

$J_v = J_{vx} + J_{vy} + J_{vz}$

$$\left. \begin{aligned}
 J_{vx} &= \frac{1}{S_1} = \frac{1}{0.15} \\
 J_{vy} &= \frac{1}{S_1} = \frac{1}{0.18} \\
 J_{vz} &= \frac{1}{S_1} = \frac{1}{0.5}
 \end{aligned} \right\} \rightarrow J_v = 14.2$$

$RQD = 68 \%$

Nomenclatura	N°
Espaciamiento	8
Persistencia	2
Apertura	4
Relleno	2
Rugosidad	1
Alteración	5
Condición de Agua	15
Ajuste de orientación	-5
RQD%	13
Rcs	7

RMR = 52 (Roca de calidad Regular)

**Para las celdas C30:**

$$\begin{array}{l}
 J_{vx} = \frac{1}{S_1} = \frac{1}{0.10} \\
 J_{vy} = \frac{1}{S_1} = \frac{1}{0.12} \\
 J_{vz} = \frac{1}{S_1} = \frac{1}{0.35}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} J_{vx} \\ J_{vy} \\ J_{vz} \end{array}} \right\} J_v = 21.2$$

RQD = 45 %

Nomenclatura	N°
Espaciamiento	8
Persistencia	2
Apertura	4
Relleno	2
Rugosidad	1
Alteración	3
Condición de Agua	15
Ajuste de orientación	-5
RQD%	13
Rcs	4

RMR = 47 (Roca de calidad Regular)

**Para la celda C31 y C32:**

$$\begin{array}{l}
 J_{vx} = \frac{1}{S_1} = \frac{1}{0.10} \\
 J_{vy} = \frac{1}{S_1} = \frac{1}{0.12} \\
 J_{vz} = \frac{1}{S_1} = \frac{1}{0.1}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} J_{vx} \\ J_{vy} \\ J_{vz} \end{array}} \right\} J_v = 28.3$$

RQD = 21,6 %

Nomenclatura	N°
Espaciamiento	5
Persistencia	0
Apertura	1
Relleno	2
Rugosidad	1
Alteración	1
Condición de Agua	15
Ajuste de orientación	-5
RQD%	8
Rcs	2

RMR = 30 (Roca de calidad Mala)

**Para celda C1 y C2 del Crucero 3:**

$$\begin{array}{l}
 J_{vx} = \frac{1}{s_1} = \frac{1}{0.10} \\
 J_{vy} = \frac{1}{s_1} = \frac{1}{0.12} \\
 J_{vz} = \frac{1}{s_1} = \frac{1}{0.2}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} J_{vx} \\ J_{vy} \\ J_{vz} \end{array}} \right\} J_v = 23.3$$

RQD = 38.11 %

Nomenclatura	N°
Espaciamiento	8
Persistencia	2
Apertura	4
Relleno	2
Rugosidad	1
Alteración	3
Condición de Agua	15
Ajuste de orientación	-5
RQD%	8
Rcs	4

RMR = 42 (Roca de calidad Regular)

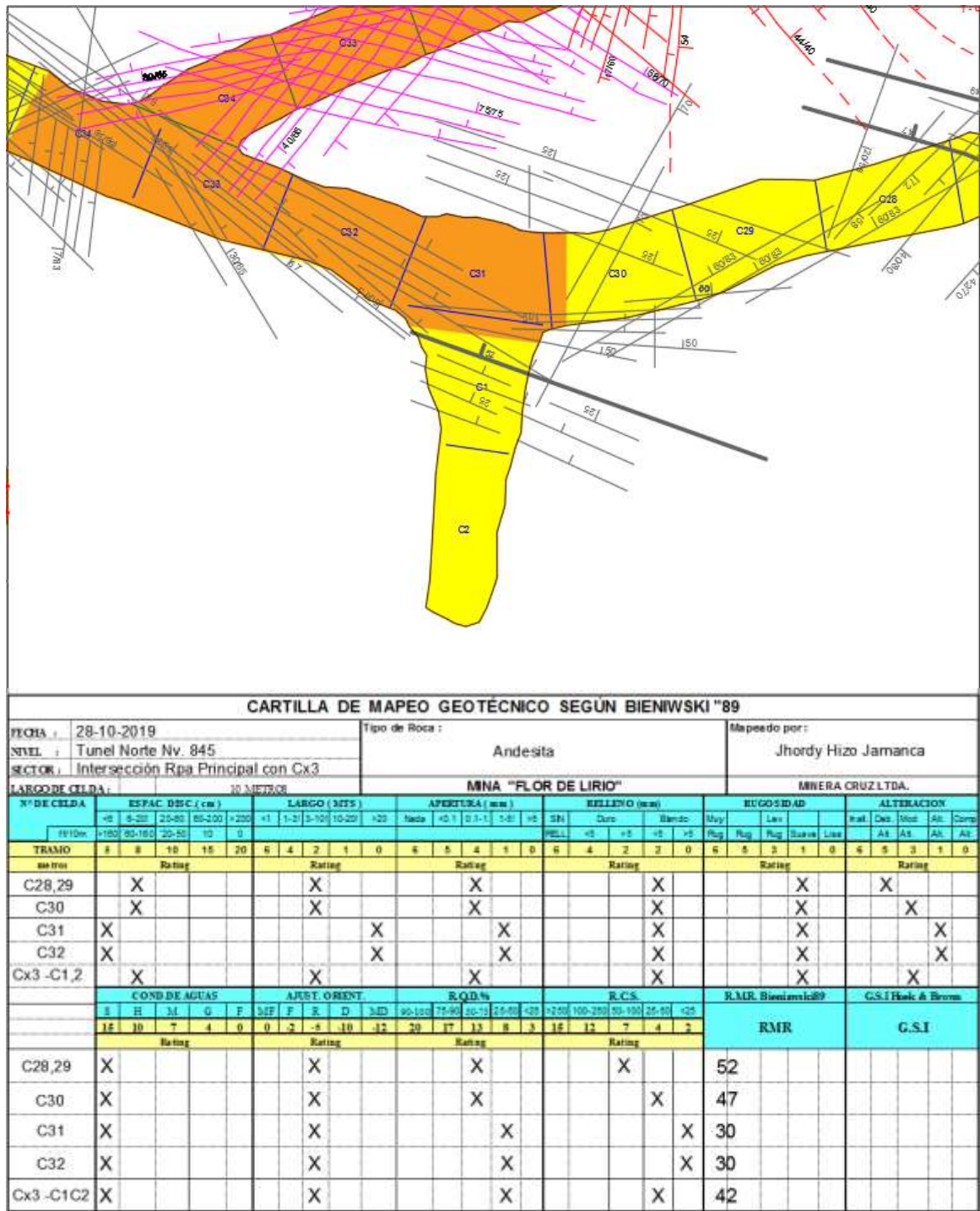


Figura N° 11: Mapeo Geotécnico según Bieniawski, 1989.  
Fuente: El Tesista.

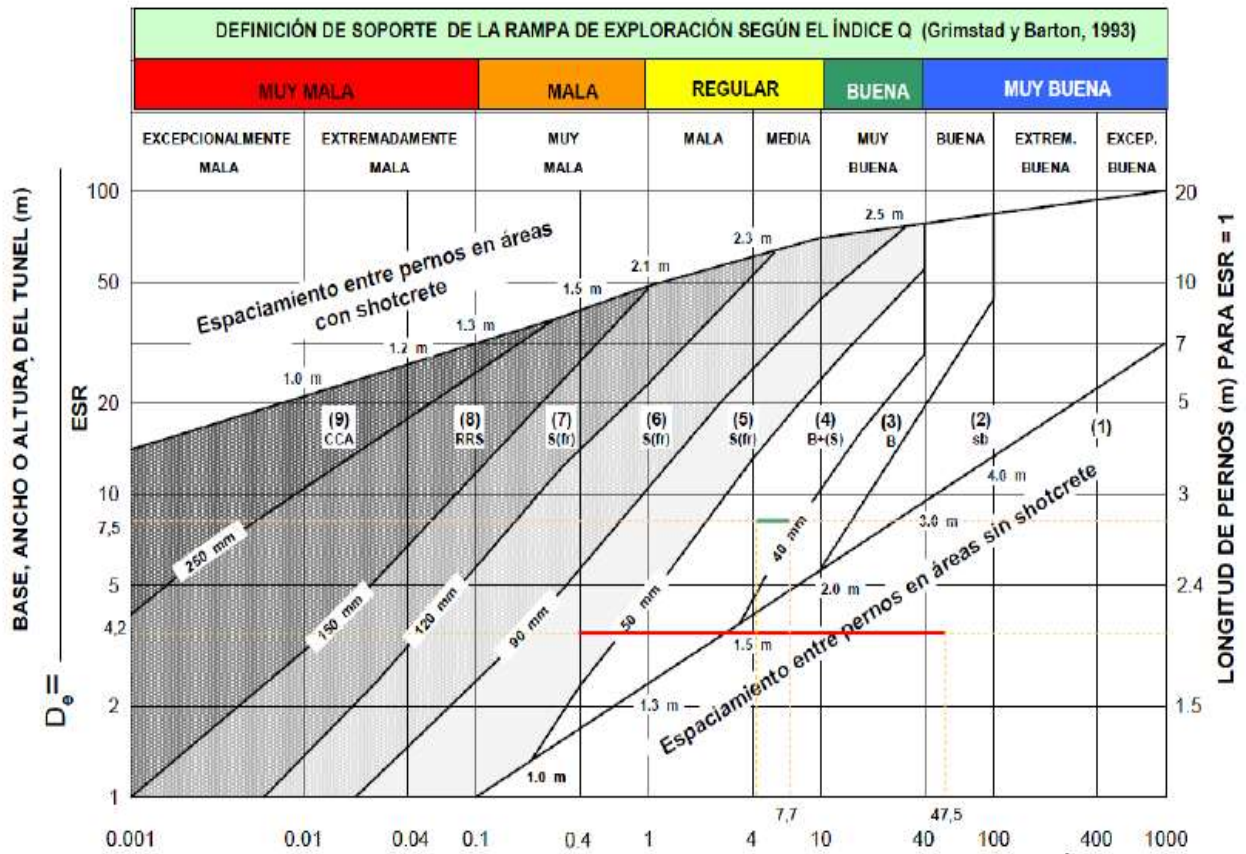
#### **4.6. Elección de elementos de soporte de acuerdo a la calidad del macizo rocoso.**

Con los datos obtenidos del Mapeo geomecánico en el Sector inestable **(Intersección Rampa Principal con Crucero 3)** se debe realizar una fortificado Sistemática mixta con **pernos helicoidales de 4 metros de longitud y split set de 2,4 metros más malla** después de la acañadura. La sección transversal de la Rampa Principal primero debe acañarse con equipo de levante en techo y caja desde la Rampa Principal Celda N°28 hacia Celda N°32 y hacia la frente de avance.

Los pernos helicoidales de 4 metros deben ir ubicados desde gradiente de Caja Sur hasta el eje de la labor ubicado en techo, posteriormente se debe continuar con pernos split set desde eje de la labor (techo) hacia el calibo Norte (esto se debe cumplir según el diagrama realizado y para cada parada)

##### **4.6.1. Sostenimiento mediante el uso de pernos:**

Los criterios del uso de un tipo de perno u otro, para un determinado tipo de roca (Calidad geotécnica) está en función su condición geotécnica del sector, de los rellenos asociados a las discontinuidades presentes, disposición del macizo rocoso, profundidad de la excavación, entre muchos otros. Si bien, muchas veces puede calcularse un factor de seguridad para un determinado tipo de fortificación o para una estructura reforzada determinada, la verdadera manera de determinar la efectividad de trabajo de un perno es mediante pruebas de pull test. Para determinar las capacidades máximas de los pernos, se debe llevar a cabo un número suficiente de pruebas para cada tipo de roca, encada orientación y para cada sistema de anclaje, con el objeto de determinar las capacidades promedio del perno dentro de una incerteza fija con un nivel de confianza del 95%.



$$\text{CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO } Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Figura N° 12: Determinación del tipo de Soporte según el índice Q.  
Fuente: El Tesista.



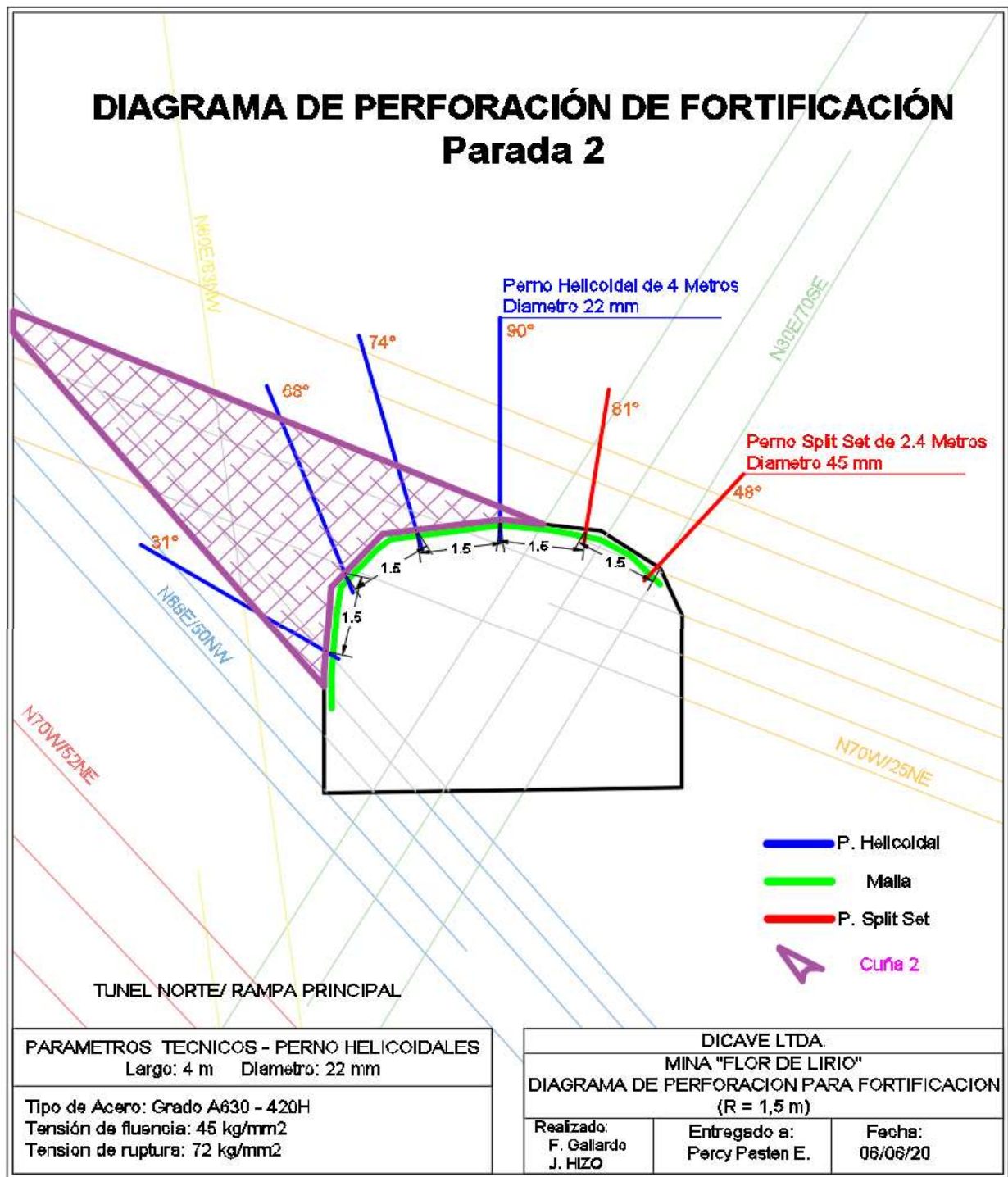


Figura N° 13: Diagrama de perforación para fortificación sistemática.  
Fuente: El Tesista.

En base a la geo mecánica se ha determinado para el tipo de sostenimiento se ha seleccionado:

- Malla MFI 3500: 3.5 metros.
- Perno Helicoidal de 4 mts y de 22 mm de diámetro.
- Split set de 2.4 metros y de 45 mm. de diámetro.
- Ubicados cada 1.5 m entre perno (Abanico) y 1.5 m entre paradas.

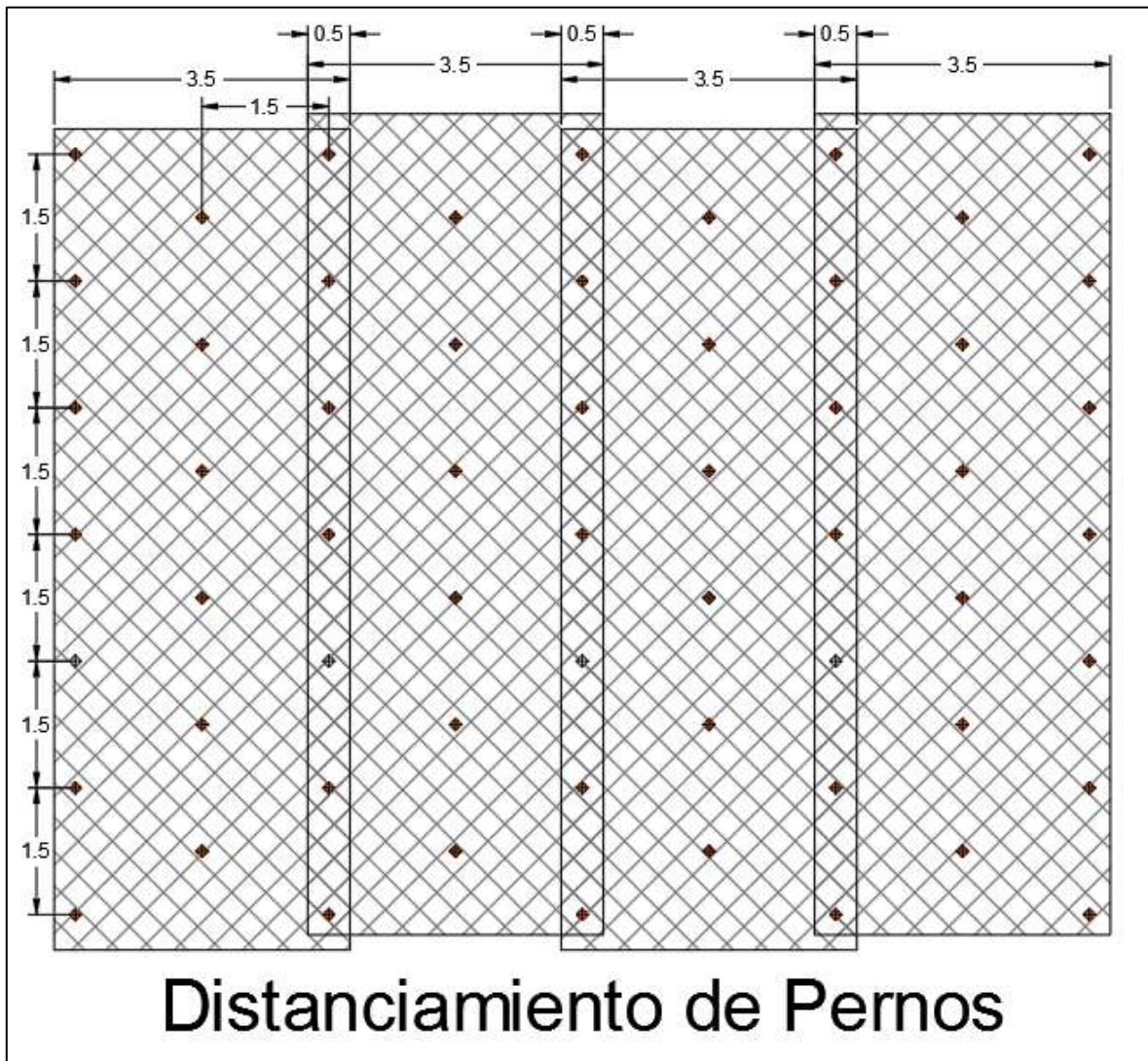


Figura N° 14: Disposición de malla de 3.5 metros extendida.  
Fuente: El Tesista.

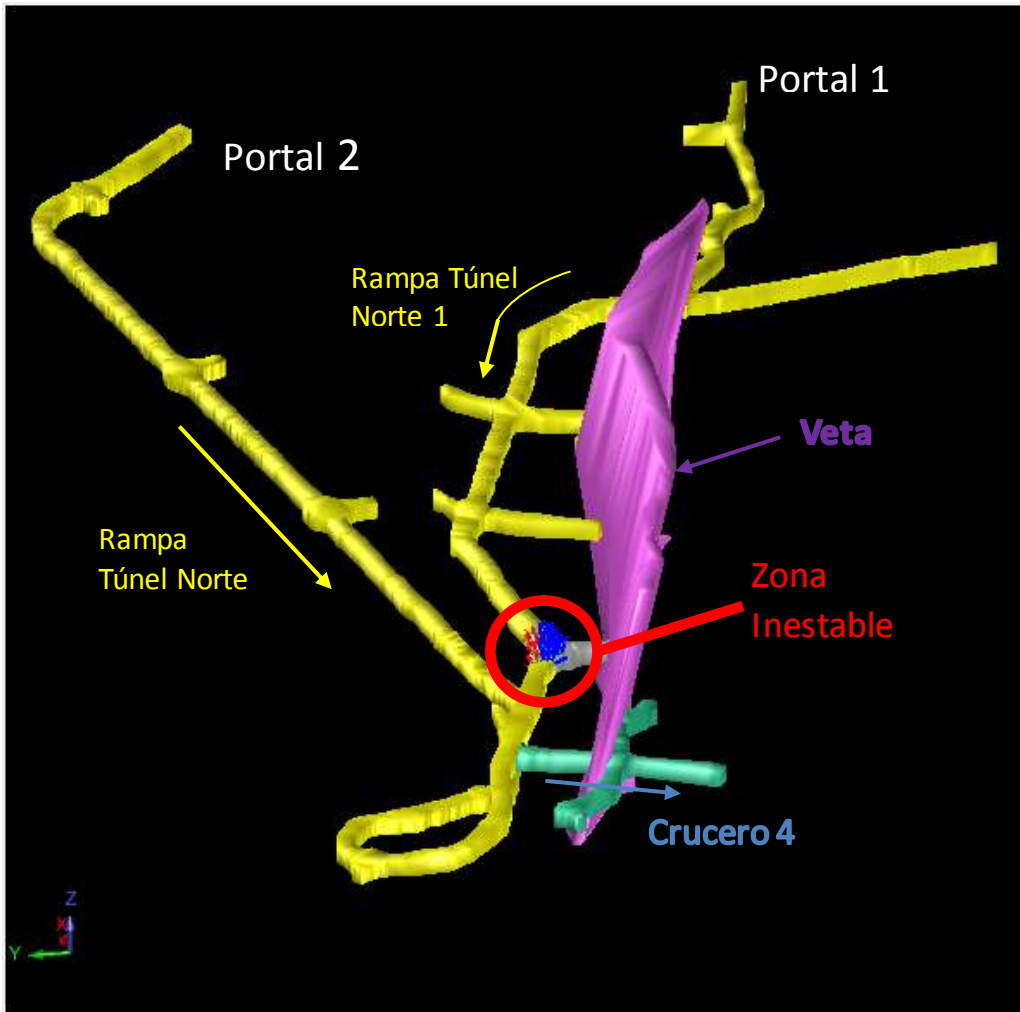


Figura N° 15: Vistas isométrica de la Mina Flor de Lirio Túnel Norte (Sector inestable)  
Fuente: El Tesista.

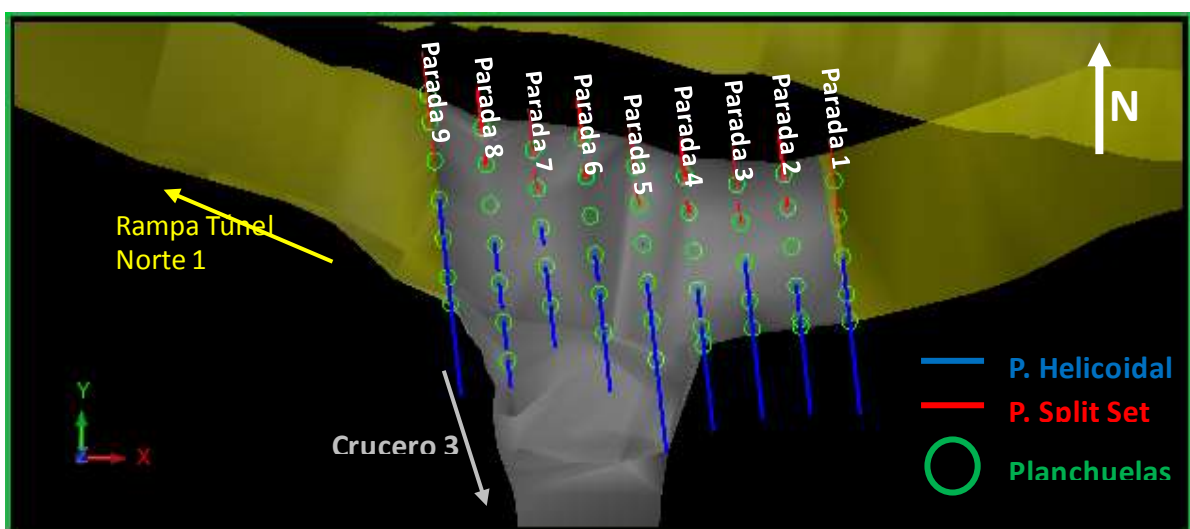


Figura N° 16: Vistas en Planta de la distribución de los abanicos o paradas  
Fuente: El Tesista.

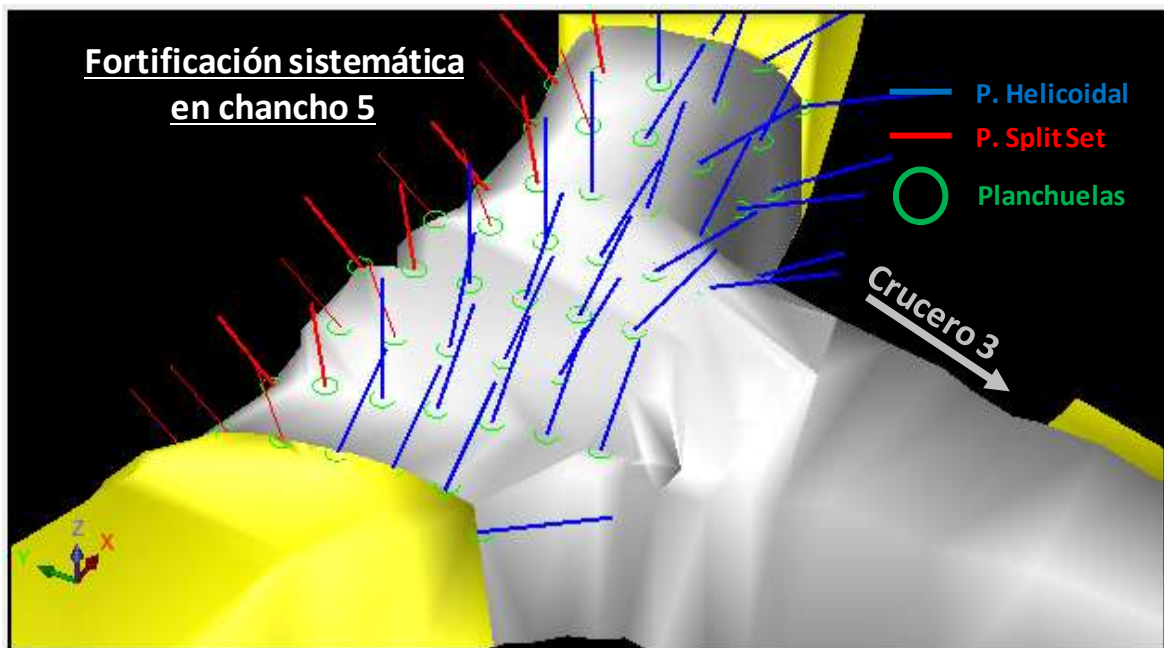


Figura N° 17: Vistas isométrica de la fortificación sistemática  
Fuente: El Tesista.

#### 4.7. Prueba de Hipótesis.

##### Prueba de hipótesis general:

**Ho:** La **NO** Evaluación Geomecánica **NO** influye en la elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio” de la Sociedad Comercial Importadora y Exportadora DICAVE Limitada – 2020.

**Ha:** La Evaluación Geomecánica influye en la elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio” de la Sociedad Comercial Importadora y Exportadora DICAVE Limitada – 2020.

##### Nivel de significancia:

- $\alpha = 0.05$

##### Grados de libertad:

- Grado de Libertad del numerador:  $k - 1 = 2 - 1 = 1$ .



Tabla N° 7: datos para la prueba Chi Cuadrado.

V.D. - Elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina "Flor de Lirio".

	Si - Sostenimiento con Malla y Perno (Unidad x m2)	Pernos por cada 100 m2	Total
V.I. - Evaluación Geo mecánica.	1.65	61	62.65
	4	25	29
	5.65	86	91.65

Malla 1.1 m. x 1.5 m. = 1.65 m2

Malla 2 m. x 2 m. = 4 m2

Fuente: El tesista

- Chi Cuadrado calculado = 4.27
- Chi Cuadrado Teórico = 3.841

**Regla de decisión:**

**Chi Cuadrado calculado = 4.27 > Chi Cuadrado Teórico = 3.841**

La distribución Chi Cuadrado calculada es mayor que la distribución Chi Cuadrado de tabla, se rechaza la hipótesis nula.

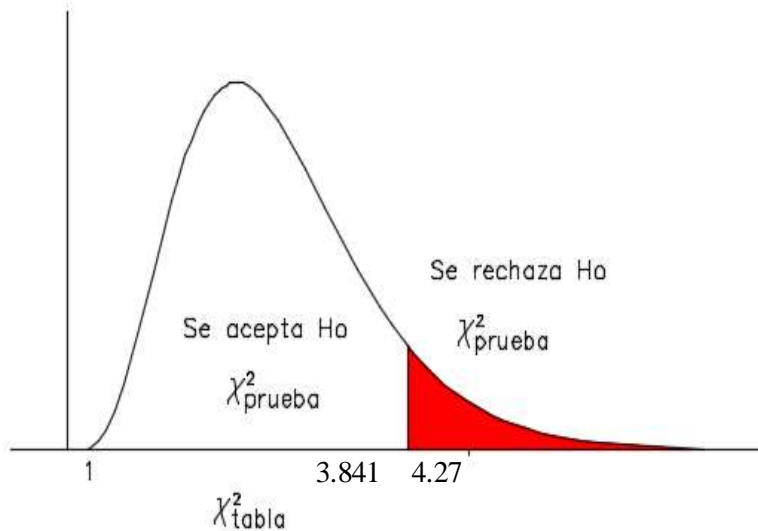


Figura N° 18: Tabla de Chi Cuadrado.

Fuente: El Tesista.

**Por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la alterna**

#### **4.8. *Discusión de resultados.***

Con la evaluación geomecánica se determinó que el tipo de sostenimiento para la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio” de la sociedad comercial importadora y exportadora DICAVE Limitada para el año 2020, es la Malla MFI 3500: 3.5 metros con pernos Helicoidales de 4 metros con un diámetro de 22 mm y pernos Split set de 2.4 metros de largo con un diámetro de 45 mm. El tipo de acero: grado A630 – 420H; Tensión de fluencia: 46kg/mm<sup>2</sup>; Tensión de ruptura: 72 kg/mm<sup>2</sup>. ubicados cada 1.5 m. x 1.5 m. malla rectangular, solo en zonas en que la calidad del macizo rocoso es mala se empleara Shotcrete; antes de realizar el sostenimiento (fortificación).

## CONCLUSIONES

1. Se realizó la Evaluación Geomecánica determinándose que la calidad de la roca es buena tipo III - B, con un RMR promedio de 47 en la rampa Principal Mina Flor de Lirio, en Zonas de Intersección se deben fortificar con perno y malla de forma sistemática.  
  
Zonas de contacto litológico (estéril/mineral) en que la calidad del macizo rocos es de mala a muy mala se empleara Shotcrete ya que en contacto Mineral / Estéril se encuentra controlada por un dique el cual es muy desfavorable para el avance de la galería de producción; con estas características se realizó la elección del tipo de sostenimiento de la Rampa Principal en la mina “Flor de Lirio” de la Sociedad Comercial Importadora y Exportadora DICAVE Limitada año 2020.
2. Se aplicó la Geomecánica, que determino en la elección del tipo de Fortificación tanto en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio” como en la Galerías de Producción.
3. Se determinó los procedimientos de instalación de los sistemas de Fortificación en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”, así también se deja registro de los pasos a seguir para realizar una fortificación adecuada.
4. Se realizó la aplicación de la geomecánica con el logueo geotécnico, en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”, tanto en la Veta Sur y Veta Norte, para prevenir accidentes fatales por caída de rocas.

## RECOMENDACIONES

1. A medida que se realiza el avance el ingeniero geomecánico debe de ir evaluando el macizo rocoso así como los cambios en la geología, para tomar las medidas correspondientes al sostenimiento de la Rampa Principal, siendo muy importante la previa evaluación ya que es una labor permanente en la cual el flujo de personal y equipos es constante.
2. Realizar un buen estudio geomecánico para garantizar el tipo de sostenimiento es el adecuado.
3. Después de cada disparo de avance en la Rampa Principal se debe de realizar la Acuñaadora, esto se hace de forma preventiva para controlar y evitar las caídas de rocas, para posteriormente realizar un análisis detallado de la postura para de forma segura.
4. Fortalecer el departamento de geomecánico para que en el futuro cuando la mina se profundice se tenga una data valiosa que servirá para tomar decisiones importantes en cuanto al sostenimiento.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad Alvarado, A. (2011). *Sostenimiento en túneles - Proyecto Huascacocha*. Lima - Perú.
- Blas Plácido, C. (2016). *La geomecánica en el sostenimiento de la mina Ricotona*. Apurímac - Perú.
- Cáceres, Michel y Mallca, Edwin. (2017). *Evaluación geomecánica del macizo rocoso para el sostenimiento de las labores de explotación en la mina San Cristóbal – Compañía Minera Volcan*. Ica - Perú.
- Departamento de ingeniería - mina Flor de Lirio. (2019). *Proyecto de Explotación Subterránea Mina “Flor de Lirio”*. El Salado – Chile.
- Fabián Flores, E. y Guerrero Porras, J. (2017). *Aplicación de la Geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes por desprendimientos de rocas en la CIA. minera Reyna Cristina – Ancash*. Lircay – Huancavelica.
- Hernandez, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación Quinta edición 2010*. México D.F.
- <https://www.bcn.cl/siit/>. (2020). *Nuestropais/region3/relieve.htm*. Chile.
- Macedo Espíritu, A. (2015). *Método gráfico de estabilidad aplicado al minado en terrenos de baja calidad geo mecánica en la mina San Cristóbal año 2013 – 2015*. Huaraz – Perú.
- Mathew Milne, D. (1977). *Underground Design and Deformation Based on Surface Geometry. Cap. II p. 22*. Canadá.
- Mendieta Britto. (2014). *Optimización de los costos operativos en la unidad Cerro Chico*.
- Palmstrom. (1982). *Índice de designación de la calidad de la roca (RQD)*.
- Quispe Matos, K. . (2018). *Evaluación geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en el túnel Yauricocha del NV.720, Sociedad Minera Corona S.A.* Huancayo - Perú.

- Rodríguez Lucas, D. (2018). *Geomecánica aplicada para mejorar la estabilidad de labores mineras subterráneas en la unidad minera Arequipa M de la compañía minera A.C. Agregados S.A. - año 2018*. Huaraz – Perú.
- Yaguillo Amante, M. (2014). *Aplicación de los pernos helicoidales para mejorar la estabilidad de las labores mineras en mina Huanzala – Compañía Mminera Santa Luisa S.A. - 2014*. Nasca - Perú.
- Yaguillo Amante, M. (2014). *Aplicación de los pernos helicoidales para mejorar la estabilidad de las labores mineras en mina Huanzala – Compañía Mminera Santa Luisa S.A. – año 2014, Trabajo Monográfico, Universidad Nacional “San Luis Gonzaga de Ica, Fac de Ing de Minas y Metalurgia*. Nasca - Perú.
- Yucás Mejía, V. (2015). *Análisis Geomecánico del Macizo Rocoso para La Construcción de la Chimenea Glory Hole Mediante el Sistema Alimak*. Quito – Ecuador.

# **ANEXOS**

**ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIAS**

<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>POBLACIÓN</b>
<p align="center"><b>Problema General</b></p> <p>¿Cómo realizar la evaluación Geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”?</p>	<p align="center"><b>Objetivo General</b></p> <p>Realizar la Evaluación Geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento de la Rampa Principal en la mina “Flor de Lirio” de la Sociedad Comercial Importadora y Exportadora DICA VE Limitada – 2020.</p>	<p align="center"><b>Hipótesis General</b></p> <p>La Evaluación Geomecánica influye en la elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio” de la Sociedad Comercial Importadora y Exportadora DICA VE Limitada – 2020.</p> <p align="center"><b>Hipótesis Nula.</b></p> <p>La NO Evaluación Geomecánica NO influye en la elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio” de la Sociedad Comercial Importadora y Exportadora DICA VE Limitada – 2020.</p>	<p align="center"><b>Tipo</b></p> <p>El tipo de investigación es APLICADA, porque se buscará las soluciones para realizar la evaluación Geomecánica y la posterior elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”.</p> <p align="center"><b>Nivel de la investigación.</b></p> <p>El nivel será de investigación descriptiva.</p> <p align="center"><b>Método.</b></p> <p>Se empleará el método deductivo donde el proceso de los conocimientos se inicia por la observación de fenómenos de carácter general con el propósito de llegar a conclusiones particulares contenidos explícitamente en la situación general.</p>	<p align="center"><b>Población y Muestra</b></p> <p><b>Población</b> La población de esta investigación, está constituida por todas las labores mineras en general constituida por 31 celdas geotécnicas de dimensiones Largo de 10 metros por Ancho = 5 metros</p> <p><b>Muestra</b> 30 celdas geotécnicas.</p>
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicos</b>		
<p>¿La Geomecánica incidirá en la elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”?</p>	<p>Aplicar la Geomecánica, para la elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”.</p>	<p>La aplicación de la Geomecánica, influye en la elección del tipo de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”.</p>		
<p>¿Los procedimientos de instalación de los sistemas de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”, serán los adecuados?</p>	<p>Determinar los procedimientos de instalación de los sistemas de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”.</p>	<p>Se determina los procedimientos de instalación de los sistemas de sostenimiento en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”.</p>		
<p>¿Cómo influye la aplicación de la geomecánica en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio” para prevenir accidentes fatales por caída de rocas?</p>	<p>Realizar la aplicación de la geomecánica en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”, para prevenir accidentes fatales por caída de rocas.</p>	<p>Se realiza la aplicación de la geomecánica en la Rampa Principal de la mina “Flor de Lirio”, para prevenir accidentes fatales por caída de rocas.</p>		

Fuente: El tesista.

**ANEXO N° 02: PROCESO DE FORTIFICACIÓN SISTEMÁTICA SEGÚN EL DISEÑO REALIZADO**



Figura 1: Jumbo realizando las perforaciones para la disposición de pernos posterior al marcado con spray rojo.

Fuente: El Tesista.

Instalación de pernos helicoidales, previo a la instalación de la malla



Figura 2: Acuñaadura del sector percutido e instalación de pernos.  
Fuente: El Tesista.





Figura 3: Instalación de la malla, con apoyo del jumbo y un cargador frontal.  
Fuente: El Tesista.

### **ANEXO N° 03: SECUENCIA DE EXPLOTACIÓN EN LA MINA “FLOR DE LIRIO” DE LA SOCIEDAD COMERCIAL IMPORTADORA Y EXPORTADORA DICAVE LIMITADA**

Explotación considera para los sectores norte y sur generar unidades o paneles de las longitudes de 30 m y 29 m, respectivamente, por la corrida del cuerpo mineralizado, estas unidades o paneles de explotación tendrán una altura de 35 m. Se dispondrá de un pilar vertical de 25 m largo, pilares menores de 7 m de largo (esto separaran una unidad de otra y su función es mantener los radios hidráulicos admisibles y otorgar estabilidad).

La secuencia de explotación, en sectores norte y sur, considera una explotación en retroceso desde los extremos de las galerías, es decir, desde extremo Este y Oeste se iniciará la explotación avanzando hacia el pilar central.

En este retroceso se dejarán pilares de 7 m de largo para separar una unidad de otra. Considerando lo anterior la explotación de un bloque es independiente de otro.

Esta secuencia permitirá en todo momento lo siguiente:

- Perforación en retroceso. Se perforará en sección reducida (5x5m), considerando en todo momento un espesor de piso que irá de galería a galería.
- La tronadura igualmente se realizará en retroceso (explotación en retroceso). Siempre se realizará carguío de tiros en sección reducida (5x5m), considerando en todo momento un espesor de piso que irá de galería a galería y las paradas de perforación de seguridad respectivas.



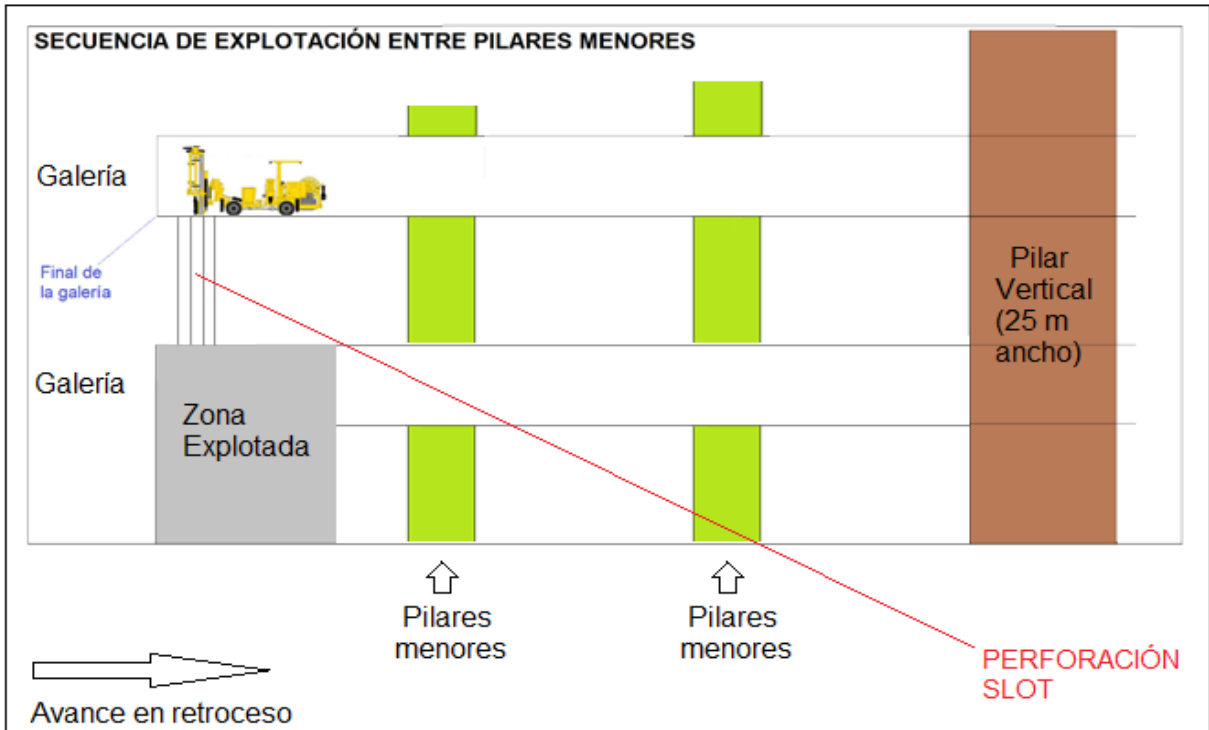


Figura 1: Perforación SLOt.  
Fuente: El Tesista.

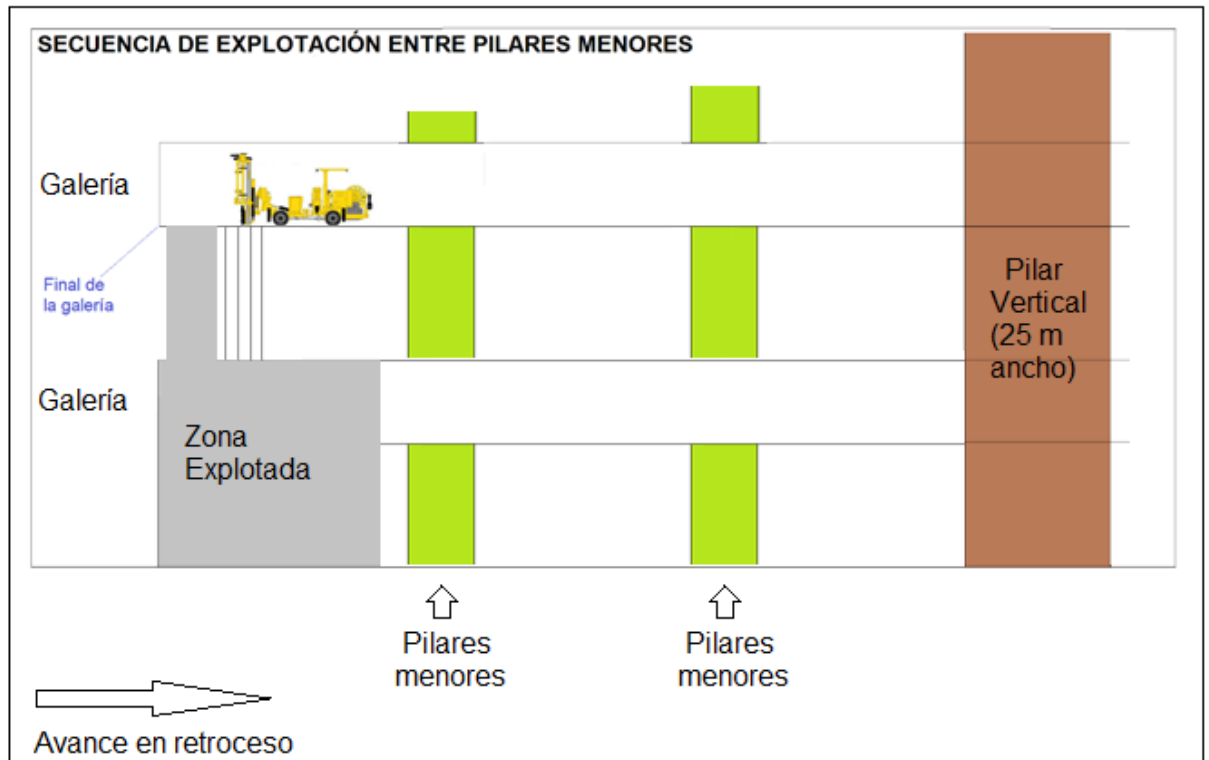


Figura 2: Perforación en retroceso hacia pilar principal (pilar 25 m de ancho).  
Fuente: El Tesista.

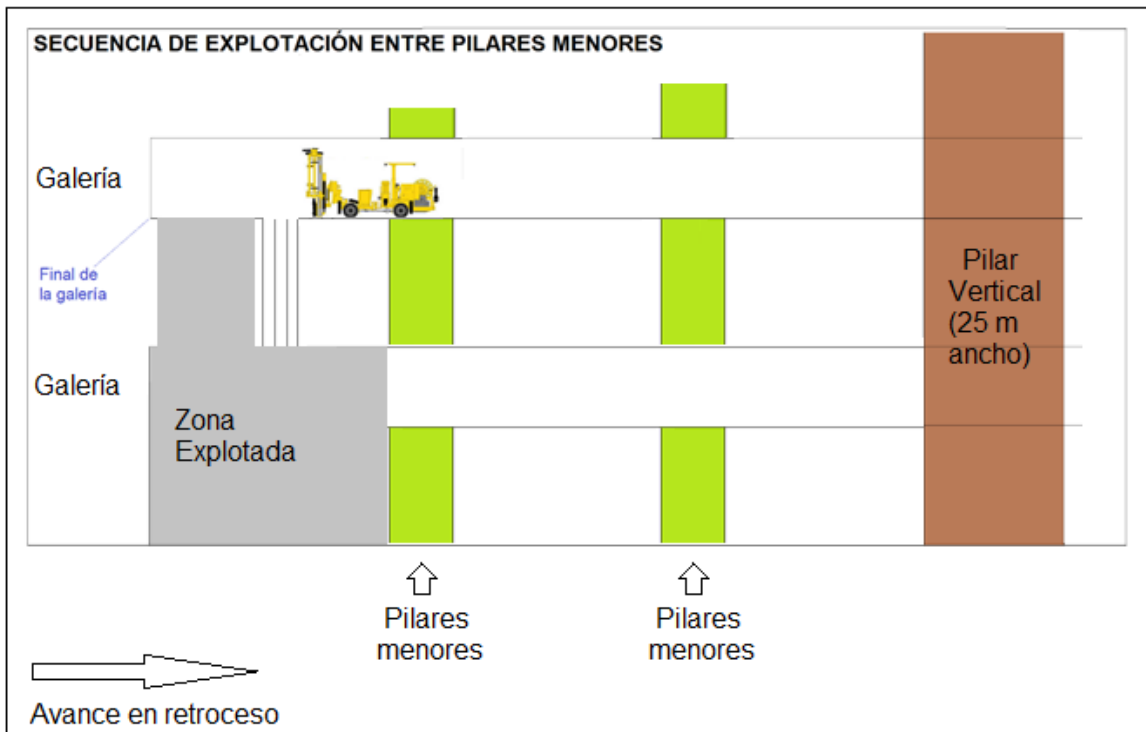


Figura 3: Perforación producción en retroceso hacia pilar principal (pilar 25 m de ancho).  
Fuente: El Tesista.

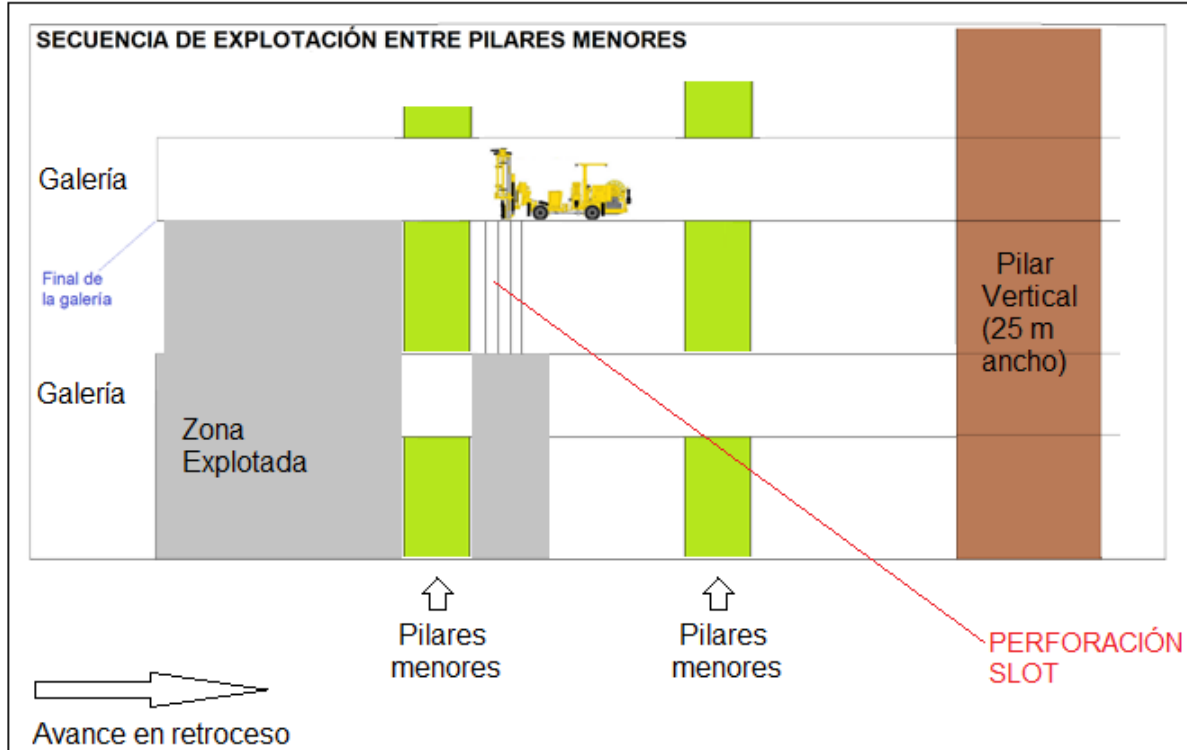


Figura 4: Perforación producción en retroceso hacia pilar principal (pilar 25 m de ancho).  
Fuente: El Tesista.

## **DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN: SUBLEVEL STOPING Y LONG BLAST HOLE (LBH).**

El yacimiento aplica a la descripción de forma tabular subvertical de gran espesor, por lo que se realiza una extracción tipo caserón, accediendo a través de una rampa y utilizando tiros largos de manera de no construir subniveles de extracción, lo que implica una variación del método clásico. Tanto la roca mineralizada como la roca circundante presentan buenas condiciones de estabilidad; vale decir, son autosoportantes según lo modelado en anexo geomecánico.

### **Principios del método:**

El sublevel stoping es un método en el cual se excava el mineral por tajadas verticales dejando el caserón vacío, por lo general de grandes dimensiones, particularmente en el sentido vertical, el mineral arrancado se recolecta en embudos o zanjas emplazadas en la base del caserón, desde donde se extrae según diferentes modalidades. La variación del método propuesto consiste en realizar una labor basal (en la base del mineral a extraer, conectado a una galería de transporte, y utilizando tiros largos no se realizan los subniveles y las zanjas de la versión clásica.

### **Extracción de mineral:**

Para el método propuesto se realizará extracción por medio de cargadores frontales, los cuales extraerán el mineral tronado desde las ventanas de extracción. Siempre se considerará la extracción con ventana abocada. El mineral tronado será cargado a camiones de 30 toneladas y por medio de ellos será transportado hasta superficie.

**Ventilación:**

En todos los lugares de la mina donde accede personal, el ambiente deberá ventilarse por medio de una corriente de aire fresco, de no menos de 3 metros cúbicos por minutos y por persona, en cualquier sitio de la mina, y la velocidad promedio no podrá ser mayor de 150 [m/min], ni inferior a 15 metros por minutos.

**Sostenimiento:**

Como fuera señalado anteriormente, la aplicación de este método exige buenas condiciones de estabilidad tanto de la roca mineralizada como de la roca circundante. No requiere, por lo tanto, de la utilización intensiva o sistemática de elementos de refuerzo. Las galerías de producción en la base de los caserones se fortifican por lo general – según requerimiento – mediante pernos cementados o pernos y malla de acero (incluso shotcrete), atendiendo a las condiciones locales de la roca. E

**Características:**

- Aplicable a cuerpos largos, muy inclinados (idealmente verticales), regulares y con roca mineral y de caja competente.
- Alta Productividad de los trabajadores ya que es altamente mecanizado.
- Intensivo en desarrollos, pero algunos son hechos en mineral (basales).
- Método no es selectivo cuerpos tienen que ser regulares.
- Uno de los métodos subterráneos de más bajo costo de desarrollo ya que no se realizan subniveles.

- Altamente versátil ya que se puede tener muchas frentes de trabajo simultáneas.

**Tipo de cuerpo mineralizado:**

- Regular.
- Grande.
- Resistente y competente.
- Muros deben autoportarse.
- Desde 6 m de ancho.
- Cuerpos parejos y bien definidos.
- Dilución.
- Sin inclusiones de estéril.
- Sin fracturas.
- Se truena muchas veces.
- Caserones permanecen abiertos por largo tiempo.

**Desarrollo:**

- Acceso por niveles basales.
- Conexión con galería de transporte cada 15 – 20 m.
- Slot para cara libre.

- Pilares se dejan para separar caserones y pueden recuperarse.

#### **Extracción:**

- LHD a puntos de traspaso
- Cargador frontal a camión.
- Perforación de producción.

#### **Factores que influyen:**

- Dureza.
- Tamaño requerido para traspaso.
- Diámetro de tiros.
- Largo de tiros.
- Orientación.
- Espaciamiento.
- Estos factores contribuyen a elegir el equipo de perforación.
- Perforación en abanico o tiros paralelos.

#### **LBH:**

- Diámetro: 170 mm.
- Distancia entre subniveles: 15,0 – 17,5 m.

- Espaciamiento y burden: 1,5 x 2,5 m.
- La perforación de producción considera perforar de manera ascendente y/o descendente según lo requiera la operación.

### **Tronadura de producción:**

#### **Factores:**

- Fragmentación requerida o Diámetro de perforación o Espaciamiento y burden o Condición de tiros.
- Agua.
- Tamaño permitido de la tronadura (vibraciones).
- Dureza del mineral.
- ANFO, hidrogeles, emulsiones y ANFOS pesados a granel o empaquetados.
- Tronadura secundaria.
- Perforación y tronadura.

#### **Carga cónica:**

- Aspectos económicos.
- Alta productividad.
- Bajo costo.

- Mecanización.

#### **Ventajas del método de explotación:**

- Muy favorable para mecanización.
- Altamente eficiente.
- Tasa de producción moderada a alta.
- Método seguro y fácil de ventilar.
- Recuperación alrededor de 70%.
- Dilución baja: < 20%.
- Perforación puede adelantarse.
- Mineral está disponible de inmediato al iniciarse la tronadura de producción.

#### **Desventajas del método de explotación:**

- Intensivo en capital bastantes desarrollos antes de iniciar la producción.
- No selectivo.
- Ineficiente a bajas inclinaciones.
- Tronadura secundaria puede generar gases que vuelven al caserón.
- Diseño de Galerías de Acceso y Preparación.

**Para determinar las dimensiones de las galerías se debe considerar:**



- Las dimensiones de los equipos a utilizar.
- Cumplir con las necesidades operacionales.

Tabla 1: Tipos y dimensiones de las principales galerías:

Tipo de Infraestructura	Tipo de Galería	Sección Semicircular	Pendiente Máxima (%)
		(ancho x alto)	
Rampa Acceso Principal	Rampa de Acceso	5.0 x 5.0	+/- 12%
Nivel de Perforación	Galería (GP)	5.0 x 5.0, alcanzando dimensiones mayores con el debido respaldo técnico según la calidad del macizo rocoso	+/- 0%
Cruzados	Estocadas	5.0 x 5.0	+/- 0 – 5%
Pique	Vertical	4.0 x 4.0	Vertical
Chimeneas	Producción y Servicios	4.0 x 4.0	Zig-zag

Fuente: Adaptación propia.

**Algunas otras recomendaciones de diseño que deben tenerse en cuenta son:**

- Cada 100 metros por rampa se construirán estocadas de carguío para una adecuada operación cargador/camión, estas en el futuro se utilizan como estacionamiento o labor de ceda el paso.
- Radios de giros mínimos en el centro de la galería de 15 metros.
- Diseño, Parámetros y Geometría de la Infraestructura.
- Trazado.

**Para definir el trazado de la rampa principal se consideraron los siguientes aspectos:**

- Ubicación de los laboreos subterráneos existentes en la zona (galería desarrollada por estéril).

- Ubicación de las estructuras principales.
- Calidad del macizo rocoso.
- Pendiente de diseño, la apropiada para trabajo de equipos de transporte minero (-10%).
- Pendiente.
- Teniendo en consideración que la rampa tiene sólo el objetivo de transporte, se eligió la mayor pendiente compatible con la operación de equipos mineros estándar y de uso normal en la industria para este tipo de faenas, esto es -12%.

**La definición de las dimensiones y forma de la sección de la rampa tuvo en cuenta los siguientes criterios:**

- Tamaño de los equipos principales. Para el desarrollo del proyecto se ha considerado usar equipos existentes en faena, estos equipos son cargador frontal modelo tipo CAT 950 H y equipos de transporte marca Scania, de 30 Ton, para la perforación equipo Jumbo diesel autónomo.
- Con respecto a la forma, se recomienda un galibo tipo arco de medio punto, que representa una forma más estable para favorecer el autosoporte.
- Estaciones de Carguío y Cruce; el diseño de las estaciones de carguío tiene dos aspectos relevantes, que son la distancia entre estaciones y el diseño geométrico de las mismas.

**Con respecto a la distancia entre estaciones se debe considerar:**

- Costo de construcción de la estación, lo que incide en minimizar el número de estaciones.

- Tiempo de carguío aumenta con aumento de distancia entre estaciones.
- Longitud de tramos rectos, visibilidad y facilidad de maniobras.
- Luego de diversos análisis de ciclos de carga en nuestro yacimiento, se determinó que las distancias óptimas entre las estaciones de carga son de 80 m.
- Con respecto al diseño de la estación de carga y cruce, en la imagen 21 se muestra el diseño propuesto. Las principales características de este diseño son:
  - La pendiente de la rampa se mantiene en -12% en la zona de la estación.
  - La estación se desarrolla una estocada horizontal y posee una longitud total de 12m.
  - La sección de la estación es de 5.0 x 5.0 m<sup>2</sup> e incluye una zona de levante de 1,5m, en la rampa para el carguío de camiones.
  - Permite el cruce de vehículos con pocas maniobras.
  - Cuando la estación ya no está siendo ocupada para carguío de marina, la estocada se puede utilizar para guardar equipos stand by, para viraje de retorno de vehículos, etc.

**Refugio Minero:** Se implementará refugio minero de tipo estocada, a unos 100 metros de la frente de trabajo y de la salida de emergencia, de manera de estar siempre accesible al trabajador, los cuales se encontraran implementados según normas, “Estos refugios deberán contar con los elementos indispensables que garanticen la sobrevivencia de las personas afectadas por algún siniestro, por un período mínimo de 48 horas, tales como alimentos no perecibles, agua potable fresca, sistema de comunicación con la superficie o áreas contiguas, elementos de primeros auxilios y manuales explicativos para auxiliar a lesionados”.