



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



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

**TESIS:**

**“CABLE BOLTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD  
DEL N° 4510 MAGISTRAL NORTE UNIDAD MINERA  
SANTANDER -2022”**

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

**PRESENTADO POR:**

**Bach. FERNANDEZ SANCHEZ, Brandy William**

**ASESOR:**

**Dr. Ing. TORRES YUPANQUI, Luis Alberto**

**HUARAZ - PERÚ**

**2022**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
"SANTIAGO ANTÚNEZ 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) del día veinticuatro de octubre del Dos mil Veintidos (24/10/22), se reunieron los miembros del jurado Evaluador nominados según Resolución Nro. 169-2022-FIMGM/D, de fecha 08 de Setiembre del 2022, integrado por los siguientes Docentes: **Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA**, como **Presidente**; **M.Sc. Ing. ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO**, como **Secretario** y el **M.Sc. Ing. WALTER NICOLAW ROMERO VEGA**, como **Vocal**; para la sustentación de la tesis Titulada: "**CABLE BOLTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL NV 4510 MAGISTRAL NORTE UNIDAD MINERA SANTANDER - 2022**" presentado por el **Bachiller BRANDY WILLIAM FERNANDEZ SANCHEZ**, para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez 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° 169-2022-FIMGM/D de fecha 08 de Setiembre del 2022. Acto seguido se 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 diez horas y cincuentaicinco minutos (10:55 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 Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO DE MINAS** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la UNASAM.*

Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA

Presidente

M.Sc. Ing. ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO

Secretario

M.Sc. Ing. WALTER NICOLAW ROMERO VEGA

Vocal

Dr. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI

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).

Nota: El sustentante deberá levantar las observaciones realizadas por el Jurado Evaluador



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: "**CABLE BOLTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL NV 4510 MAGISTRAL NORTE UNIDAD MINERA SANTANDER - 2022**" presentado por el Bachiller BRANDY WILLIAM FERNANDEZ SANCHEZ y sustentada el día 24 de Octubre del 2022, por Resolución Decanatural N° 169-2022-FIMGM/D, la declaramos CONFORME.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 24 de Octubre del 2022

Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA  
Presidente

M.Sc. Ing. ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO  
Secretario

M.Sc. Ing. WALTER NICOLAW ROMERO VEGA  
Vocal

Dr. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI  
Asesor

---

*A mis padres, y esposa por su apoyo  
incondicional en todo momento.*

---

## AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a mi alma mater Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”, institución donde pasé buenos años de mi vida para lograr la carrera de Ingeniería de Minas en la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia, y cumplir con ese sueño de ser un profesional para servir a la sociedad y a mi pueblo.

También el agradecimiento a los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas y a mi asesor del presente trabajo de investigación, quien influyo, con sus enseñanzas y consejos, e involucrar en el mundo de la geomecánica a través del sostenimiento de labores mineras subterráneas.

Por último, agradecer a mi familia, por su apoyo incondicional, su comprensión, su cariño para mi formación como Ingeniero de Minas.

**Brandy Fernández**

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación titulada: “**Cable bolting para mejorar la estabilidad del Nv 4510 Magistral Norte Unidad Minera Santander – 2022**”, se muestra la importancia que tiene la aplicación del Cable bolting para el sostenimiento de la labor minera subterránea del Nv 4510.

La presente investigación responde a un diseño no experimental, pero del tipo aplicada, así como una investigación de corte transversal y observacional.

La población de estudio de la unidad minera estuvo centrada en la aplicación de los elementos o sistema de sostenimiento de la Mina Santander. La muestra para el estudio estuvo representada por el Cable Bolting como elemento de sostenimiento para restablecer el equilibrio del macizo rocoso, garantizando la infraestructura, equipos o maquinarias y en especial el recurso humano. Mediante la determinación de la caracterización del macizo rocoso y la determinación de la calidad del mismo se pudo diseñar y aplicar en el Nv. 4510 el Cable Bolting.

Corresponde a una investigación analítica por el análisis de los diferentes tipos de elementos o sistemas de sostenimiento aplicados en la Mina Santander.

**Palabras Claves:** Sistemas de sostenimiento, Cable bolting.

## ABSTRACT

In the present research work entitled: cable bolting to improve the stability of Nv 4510 Magistral Norte Unidad Minera Santander - 2022, the importance of the application of Cable bolting for the maintenance of the underground mining work of Nv 4510 is shown. The present investigation responds to a non-experimental design, but of the applied type, as well as a cross-sectional and observational investigation.

The study population of the mining unit was focused on the application of the elements or support system of the Santander Mine. The sample for the study was represented by Cable Bolting as a support element to restore the balance of the rock mass, guaranteeing the infrastructure, equipment or machinery and especially the human resource. Through the determination of the characterization of the rock mass and the determination of its quality, it was possible to design and apply it in the Nv. 4510CableBolting.

It corresponds to an analytical investigation for the analysis of the different types of elements or support systems applied in the Santander Mine.

**Keywords:** Support systems, Cable bolting.

## INDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT.....	v
INDICE.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	viii
CAPITULO I.....	10
GENERALIDADES .....	10
1.1. Entorno Físico .....	10
1.1.1. Ubicación .....	10
1.1.2. Acceso .....	10
1.1.3. Fisiografía .....	10
1.2. Entorno Geológico .....	10
1.2.1. Geología Region.....	11
1.2.2. Geología Local .....	11
1.2.3. Geología Estructural.....	12
1.2.4. Geología Económica .....	12
CAPITULO II .....	14
GENERALIDADES .....	14
2.1. Marco Teórico.....	14
2.1.1. Antecedentes de la investigación.....	14
2.2. Definición de Términos .....	21
2.3. Fundamentación teórica.....	26
CAPITULO III.....	45
METODOLOGÍA .....	45
3.1. El Problema .....	45

3.1.1. Descripción de la realidad problemática .....	45
3.1.2. Planteamiento y Formulación del Problema.....	46
3.1.3. Objetivos de la investigación .....	46
3.1.4. Justificación e importancia.....	46
3.1.5. Alcances.....	46
3.1.6. Delimitación de la Investigación.....	47
3.2. Hipótesis.....	48
3.3. Variables .....	48
3.4. Diseño de la investigación .....	49
3.4.1. Tipo de investigación.....	49
3.4.2. Nivel de la investigación .....	49
3.4.3. Diseño de investigación .....	49
3.4.4. Población y muestra.....	50
3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	50
3.4.6. Forma de tratamiento de los datos.....	51
CAPITULO IV.....	52
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	52
4.1. Descripción de la realidad y Procesamiento de Datos.....	52
4.2. Análisis e Interpretación de la Información.....	52
4.3. Discusión de los Resultados .....	56
4.4. Aportes de la tesista.....	56
CONCLUSIONES .....	57
RECOMENDACIONES.....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
ANEXOS .....	62

## INTRODUCCIÓN

La operación minera o fase minera unitaria de sostenimiento es considerada prioritaria ya que de ella depende el restablecimiento del equilibrio del macizo rocoso , para garantizar la estabilidad de la labor minera subterránea , y más aún la seguridad de la infraestructura, maquinarias y equipos y el recurso humano de la operación minera., razón que es muy importante el conocimiento del elemento de sostenimiento cable bolting, los procedimientos de su instalación, motivo por el cual en la búsqueda de mejores resultados se está empleando el cable bolting en la Unidad Minera Santander, en el presente trabajo de investigación se analiza cada uno de los procedimientos de su instalación, así como también sus costos que inciden en dicha aplicación.

El presente trabajo se desarrolló en el Nv 4510 Magistral Norte de la Unidad Minera Santander el año 2022.

La organización temática del siguiente trabajo se realizó en IV capítulos:

**Capítulo I;** Generalidades: refiere el entorno físico, ubicación, acceso, fisiografía y entorno geológico.

**Capítulo II;** Marco teórico, antecedentes, definición de términos, fundamentación teórica relacionado al cable bolting.

**Capítulo III;** Metodología: Identificación del problema, objetivos, justificación, hipótesis, variables y diseño de la investigación.

**Capítulo IV;** Resultados de la Investigación: trata sobre los efectos (resultados) de la investigación, con la descripción de la realidad y procesamiento de datos, análisis e interpretación de la información, la discusión de resultados y aportes de la tesis.

Se finaliza con las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1. Entorno Físico

##### 1.1.1. Ubicación

El área de la mina Santander, geográficamente se encuentra ubicada en el distrito de Santa Cruz de Anadamarca, provincia de Huaral, departamento de Lima. En línea recta aproximadamente a 5km hacia NE del centro poblado de Baños y a 1.4km al NW de la antigua mina Santander, que fue explotada en el año de 1992. Las coordenadas UTM promedio son: 8 764,300N y 333,450E. Las altitudes están entre 4,550 y 4570m.s.n.m. Ver anexo N°01

##### 1.1.2. Acceso

El acceso al área de la mina es desde Lima es a través de la carretera Panamericana Norte, asfaltada hasta la ciudad de Huaral (90km), y de aquí por carretera afirmada hasta Santander, pasando por Acos y Tingo, con un recorrido de 110km. Otra ruta alternativa es a través de la carretera Lima-Canta-Cerro de Pasco, de Lima a Canta son 110km de carretera asfaltada y de Canta a Santander son 90 km de carretera afirmada.

También se puede acceder a Santander por la carretera Central que une Lima-La Oroya-Cerro de Pasco de 300km, asfaltado. En el km 289 hay un desvío a partir del cual mediante un recorrido de aproximadamente 85km se llega a Santander, pasando por Huayllay.

##### 1.1.3. Fisiografía

La zona presenta una fisiografía accidentada e irregular, ha sufrido una

fuerte erosión producto de las precipitaciones y deshielos, el valle presenta una topografía cárstica debido a la presencia de calizas, este valle está rellenado generalmente por material morrénico y aluvial, mientras que en los flancos se puede observar material eluvial como consecuencia de la erosión y meteorización, cuyos materiales han quedado insitu.

## **1.2. Entorno Geológico**

### **1.2.1. Geología Regional**

En las inmediaciones del área del Proyecto Santander a nivel regional se presentan ampliamente distribuidas en mayor porcentaje rocas sedimentarias clásticas y/o calcáreas de las formaciones Oyon, Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat, Pariahuanca, Chulec, Pariatambo y Jumasha, y en menor porcentaje, emplazadas hacia los sectores NE y SW, se encuentran rocas volcánicas andesíticas de la formación Calipuy, con edades comprendidas entre el Cretáceo Inferior al Terciario Inferior. Ver ANEXO N°02

### **1.2.2. Geología Local**

A nivel local, en las inmediaciones de los cuerpos mineralizados, afloran principalmente rocas clásticas y calcáreas, pertenecientes a las formaciones Oyon, Chimu, Chulec, Pariatambo y Jumasha de edad Cretáceo Inferior. Sobre este basamento rocoso se encuentran depósitos cuaternarios de tipo coluvio-glaciario, morrenicos, bofedales y antropomorfos.

### 1.2.3. Geología Estructural

Los rasgos estructurales más importantes que se aprecian a nivel regional y local corresponden a una típica tectónica de plegamientos y fallamientos de tipo compresional. Los plegamientos son intensos y bien definidos y han originado en los estratos clásticos calcáreos, sistemas anticlinales, sinclinales.

### 1.2.4. Geología Económica

Como se mencionó anteriormente, el yacimiento Magistral consiste de tres cuerpos mineralizados: Magistral Norte, Magistral Centro y Magistral Sur, alineados en forma discontinua al piso de la Falla Santander de rumbo N20°-30W. Estos son típicos de yacimientos hidrotermales, polimetálicos de reemplazamiento metasomático.

**El cuerpo mineralizado Magistral Norte**, tiene una longitud de 200m, potencia de 3 a 30m, una profundidad de algo más de 300m, buzamiento 70°SW. Se caracteriza por la asociación mineralógica de Marmatita, Galena y Calcopirita.

**El cuerpo mineralizado Magistral Centro**, tiene una longitud de 100m, potencia de 5 a 35m, una profundidad de algo más de 300, buzamiento 70°SW. Se caracteriza por la asociación mineralógica de Marmatita y Galena, con menor contenido de Calcopirita y presencia de Pirrotita.

**El cuerpo mineralizado Magistral Sur**, tiene una longitud aproximada de 200m, potencia de 4 a 25m, profundidad algo mayor que 300m, buzamiento de 60 SW. Se caracteriza por la asociación mineralógica de

Galena, con Marmatita y Esfalerita.

Se ha estimado un recurso de 5,493,144 tm, con leyes promedio 4.79 % de Zn, 0.63 % de Pb y 0.12% de Cu. Con un costo de promedio de producción de 40U\$/tm y un valor de mineral 50U\$/tm ,con un ritmo de producción de 2500tpd.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1. Marco Teórico

##### 2.1.1. Antecedentes de la investigación

###### Antecedente Internacional

**Astudillo y Toro (2020)** en el Trabajo de Titulación titulado “**Propuesta de mejora en la fortificación en mina Cerro Negro del 1 al 12**”, sustentado el año 2020, por Catalina Constanza Astudillo Villalobos y Matías Ignacio Toro Andrades en la Universidad Técnica Federico Santa María. Sede Viña Del Mar - José Miguel Carrera. Viña del Mar, Valparaíso, Chile. En donde se plantea un método de fortificación, donde se establecerán factores que influyen para una propuesta de fortificación de las labores de producción tales como fallas geológicas, discontinuidades o anomalías. Por lo tanto, junto a estos factores es por lo que se podrá determinar el método de sostenimiento más factible, en conjunto a una descomposición geomecánica y la calidad del macizo rocoso del túnel 657, el cual no presenta ningún tipo o método de sostenimiento en sus galerías de avance de la mina Cerro Negro del 1 al 12. Dicha área minera, se encuentra ubicada en la región de Valparaíso, en la localidad de Petorca, referente a la provincia de Petorca, conformada por un yacimiento a rajo y subterráneo de Oxido de Cobre. El sistema de fortificación es un procedimiento importante en la minería subterránea, el cual consiste en recubrir o reforzar el entorno

de una labor, mediante algún elemento de sustento, tales como marcos, pernos, shotcrete o una combinación de ellos, sobre todo para las pequeñas mineras la cuales están más expuestas a problemas de desprendimientos. Por ende, mediante el estudio de las condiciones geológica subterráneas del área, se pueden establecer los planes a seguir para garantizar la instalación adecuada de la fortificación a determinar. Con el sostenimiento adecuado del terreno es esencial garantizar la seguridad tanto en las personas como los equipos que operen al interior de la mina, además evitar derrumbes y deformaciones de las labores subterráneas. Según la calidad de la roca, establecido por el análisis geomecánico, determino un tipo de roca media entre el 60-40% de irregularidad, por lo tanto, el mejor método para poder implementar en esta labor será una fortificación pasiva, la cual está compuesta de un apernado sistemático en techo y cajas, malla en techo y shotcrete.

**Yucás (2015)** en la tesis titulada **“Análisis geo mecánico del macizo rocoso para la construcción de la chimenea Glory Hole mediante el sistema Alimak”**, sustentado el año 2015, por Víctor Hugo Yucás Mejía en la Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Carrera De Ingeniería De Minas. Quito, Ecuador. 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”. 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 de yacimiento, mineralización, propiedades físico-mecánicas de la roca, descripción del macizo rocoso, clasificación geomecánica RMR, formay 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 quese presenten.

**Allpoc (2020)** en la tesis titulada “**Evaluación y optimización del sostenimiento con Cable Bolting en la unidad operativa Inmaculada, Hochschild Mining – Ayacucho**”, sustentado el año 2020,

por Luis Allpoc Espinoza en la Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ingeniería de Minas. Huancayo, Perú. La tesis fue desarrollada en unidad minera Inmaculada, dicha mina explota oro y plata. Esta mina emplea el método de explotación de taladros largos. El tiempo que fue desarrollado esta tesis fue en los meses de julio a septiembre del 2019. El presente trabajo presenta como objetivo evaluar y optimizar el sostenimiento con CABLE BOLTING en la unidad minera Inmaculada. En primer lugar, se evaluó a través de inspecciones geomecánicas, el macizo en la unidad minera. Determinándose el grado de estabilidad del tajeo, utilizándose la metodología de estabilidad gráfica, que básicamente es un sistema que permite dimensionar geomecánicamente los tajeos de explotación. Igualmente se hizo la evaluación del sistema de reforzamiento para optimizara los costos en el proceso de instalación de CB. Además, Se implanto el sistema de control de convergencia en los tajeos con la finalidad de llevar un registro de las deformaciones que se van produciendo durante los avances de las labores de tajeos. Las magnitudes de las deformaciones registradas permiten retroalimentar los programas de diseño en el terreno y los elementos de sostenimiento.

**Conde (2019)** en la tesis titulada **“Análisis del macizo rocoso y su aplicación de Cables Bolting en la ejecución de echaderos de relleno detrítico en la mina San Rafael Melgar – Puno”**, sustentado el año 2019, por Yarica Conde Castelo en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y

Metalúrgica. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Cusco, Perú. La tesis tiene como objetivo: controlar las características negativas del macizo rocoso que generan inestabilidad en los echaderos de rellenodetrítico con la finalidad de mejorar y optimizar las operaciones mineras de la Mina San Rafael. Se utilizaron los métodos analítico y deductivo. El tipo de investigación fue descriptivo, debido a que se determinaron e identificaron particularidades propias de lámina San Rafael en relación a la estabilidad de los echaderos aplicando la instalación de Cable Bolting. En relación a la muestra se observaron 49 perforaciones en tres cámaras con un echadero cada uno. Se arribó a la siguiente conclusión: con la instalación de cables bolting mellizos se logró controlar la inestabilidadde los echaderos, el cual desarrollará una alta estabilidad y garantizará un proceso óptimo de relleno de la gran cavidad, a su vez se mejorará yse optimizará las operaciones mineras de la Mina San Rafael.

**Quispe y Rosales (2019)** en la tesis titulada **“Implementación del sistema de sostenimiento con cable bolting para la recuperación del mineral”**, sustentado el año 2019, por Fidel Wilson Quispe Bautista y Roberto Carlos Rosales Rojas en la Universidad Continental. Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huancayo, Perú. El objetivo la evaluación en la implementación del sistema de sostenimiento con cable bolting para la recuperación de mineral en la veta Pablo de la Unidad Minera Pallancata. La evaluación

incluyó una inspección de sitio, estudios geomecánicos del macizo rocoso y de estructura mineralizada y la revisión de información proporcionado por la unidad minera. La profundización de labores subterráneas genera altos costos operacionales por lo que es importante generar programas de optimización y reducción de costos, controlando y mejorando las variables operacionales en el método de explotación aplicado en la unidad minera. En base a estos criterios, controlar la dilución y mejorar la recuperación de mineral aplicado en la unidad minera es de vital importancia en la aplicación del presente estudio. De acuerdo a los estudios geomecánicos desarrollados en el macizo rocoso, es factible dimensionar tajetas mediante el minado Bench and Fill y subniveles ascendentes con relleno cementado (SARC) con las siguientes características: ancho de 15 a 20 m con longitud 50 m, mediante el reforzamiento con cable bolting de 10m con espaciamiento de 3 m en configuración cuadrada. La producción de mineral generada en tajetas se incrementó en 302,789.57 toneladas, lo que representa el incremento en 60%, respecto al periodo anterior. Este incremento de producción es debido al cumplimiento del programa de desarrollo y preparación de los distintos niveles de producción y a las mejores recuperaciones de mineral producto del método de minado aplicado. La disminución de la dilución en el minado de tajetas es de 2.30%, por lo que se incrementa el valor de mineral. Este descenso de la dilución es producto de la implementación del cable bolting en la recuperación de mineral. El consumo de cable bolting para el año 2018

fue de 13,275 metros perforados y un costo total de US \$434,955.75. El tonelaje por metro instalado para los periodos 2018 - 2019 es de 35 ton/m y de 58 ton/m respectivamente. Este incremento de la productividad es debido a la implementación del cable bolting como control de la recuperación en las tajeas minadas. Finalmente, la disminución y control de la dilución producto de la implementación del sistema de sostenimiento de cable bolting permite mejorar el valor actual neto.

**Penadillo (2019)** en la tesis titulada **“Geomecánica aplicada al método de explotación para garantizar la estabilidad de la operación minera de la mina Cobriza – Doe Run Perú SRL – 2018”**, sustentado el año 2019, por Edwin Shakespeare Penadillo Mejía en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. Escuela Académico Profesional de Ingeniería De Minas. Huaraz, Perú. La tesis se ha desarrollado con el propósito de utilizar la Geomecánica Aplicada al método de explotación para garantizar la estabilidad de la Operación Minera de la Mina Cobriza de Doe Run Perú SRL – 2018, a partir de la caracterización litológica- estructural y clasificación geomecánica de la masa rocosa asociada a la profundización del área Pumagayoc, teniendo en cuenta los aspectos geológicos y geomecánicos. Para cumplir con este objetivo, se ha determinado las aberturas máximas, tiempos de auto sostenimiento y el sostenimiento en base a las clasificaciones geomecánicas, a la estabilidad controlada por discontinuidades y esfuerzos inducidos de tal manera que las excavaciones subterráneas a ejecutar tengan

condiciones de estabilidad satisfactorias para un minado seguro y eficiente.

## 2.2. Definición de Términos

- ✚ **Absorción:** El agua que llena los poros de una muestra de roca inmersa puede quedar atraída por la roca o bien quedarse libre, es decir, no sujeta a atracción. Cuando se somete en agua una muestra de roca no absorbe tanta cantidad como lo permitiría su capacidad teórica, ya que durante la inmersión una parte del aire existente en la muestra es aprisionada por el agua y no puede encontrar salida; así es que el agua se ve imposibilitada para llenar determinado porcentaje de los poros. Si sumergimos una roca en agua durante determinado periodo de tiempo y a temperatura también determinada, la relación entre el volumen de la muestra y el del agua absorbida es la absorción porcentual (ISRM, 1981, citado por Conde, 2019).
  
- ✚ **Clasificaciones Geomecánicas del Macizo Rocos:** Existen varios sistemas de clasificación geomecánica en obras subterráneas las más aplicadas son el RMR, RQD y GSI. Las clasificaciones geomecánicas constituyen actualmente un método fundamental para cuantificar la calidad del macizo rocoso. (Conde, 2019).
  - **Sistema RMR:** El sistema Rock Mass Rating (RMR) fue desarrollado por Bieniawski y clasifica los macizos rocosos de 0 a 100 puntos, siendo 0 para roca muy mala y 100 para roca muy buena. Las versiones

más utilizadas son el RMR (Bieniawski, 1976) y el RMR (Bieniawski, 1989), ambas incorporan la valoración de parámetros como: Resistencia de la roca intacta, RQD (Rock Quality Designation), Espaciamiento de discontinuidades, Condiciones de las discontinuidades y agua subterránea. (Conde, 2019).

Clasificación de rocas según el total de valuación					
Valuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<21
Clasificación	I	II	III	IV	V
Descripción	Muy buena roca	Buena roca	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala

Figura N°01: Excavaciones subterráneas en roca- E. Hoek, E. Brown.

- **Índice de Calidad de la Roca RQD:** El índice de la calidad de la roca RQD (Rock Quality Designation) fue desarrollado por (Deere, 1964) para proporcionar un estimado cuantitativo de la calidad del macizo rocoso, el RQD asigna un porcentaje de calificación al macizo rocoso de 100% a 0%. (Conde, 2019).

$$RQD = \frac{\text{Longitud de los núcleos mayores de 100mm}}{\text{largo de barreno}} \times 100$$

RQD	Calidad de Roca
<25%	Muy mala
25-50%	Mala
50-75%	Regular
75-90%	Buena
90-100%	Muy buena

Figura N°02: Excavaciones subterráneas en roca- E. Hoek, E. Brown.

- **Clasificación de Barton:** El índice Q que se obtiene en esta metodología representa la calidad del macizo rocoso, de igual forma se realiza el estudio para las demás clasificaciones geomecánicas

empleadas en el mismo estacionado y se muestran a continuación.

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

- ✚ **Densidad (p):** La densidad de la roca es la relación entre la masa de sólidos y volumen total, esta expresado de la siguiente manera (ISRM, 1981).(Conde, 2019).
- ✚ **Estructura del Macizo Rocosos:** Las principales estructuras que están presentes en el macizo rocosos son los siguientes: (Conde, 2019).
  - **Fallas:** Son fracturas que han tenido desplazamiento, a lo largo de la cual se mueven los bloques rocosos que son separados por ella. (Conde, 2019).
  - **Diaclasas:** También denominadas juntas, son fracturas que no han tenido desplazamiento y las más comúnmente se presentan en la masa rocosa. (Conde, 2019).
  - **Planos de Foliación o Esquistosidad:** Se forman entre las capas de las rocas metamórficas dando la apariencia de hojas o láminas.
  - **Diques:** Son estructuras de la roca ígnea de forma tabular que cortan a la roca encajonante, que se presentan generalmente verticales o sub verticales.
- ✚ **Macizo Rocosos:** Es el medio in-situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales. Dependiendo de cómo se presenten estas discontinuidades o rasgos estructurales dentro de la masa rocosa, éstas tendrán un determinado comportamiento frente a las operaciones de minado (Jiménez, 2014, citado por Conde, 2019).

- ✚ **Porosidad:** La porosidad es la relación entre el volumen de vacíos  $V_v$  (ocupado por los huecos o poros en la roca) y el volumen total  $V$  (partículas sólidas + huecos), se expresa se la siguiente manera (Gavilanes y Andrade, 2004, citado por Conde, 2019).
  
- ✚ **Propiedades de Resistencia Mecánica de la Roca:** Las propiedades mecánicas de las rocas representan resistencia mecánica, o sea, la capacidad de resistir a los esfuerzos aplicados y son cuantificadas con ensayos de laboratorio. (Conde, 2019).
  
- ✚ **Propiedades de las Discontinuidades:** Todas las discontinuidades presentan propiedades geomecánicas importantes que las caracterizan y que influyen en el comportamiento de la masa rocosa. Estas propiedades son descritas por (Jiménez, 2014). (Conde, 2019).
  - **Orientación:** Es la posición de la discontinuidad en el espacio, comúnmente es descrito por el rumbo o azimut y buzamiento. **Espaciado:** Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Este determina el tamaño del bloque. (Conde, 2019).
  
  - **Persistencia:** Es la extensión en longitud o tamaño de una discontinuidad. Cuanto menor sea la persistencia, la masa rocosa será más estable y cuanto mayor sea esta, será menos estable. (Conde, 2019).
  
  - **Rugosidad:** La rugosidad es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad. Cuanta menor rugosidad tenga una discontinuidad, la masa rocosa es menos competente y cuanto mayor sea esta, la masa rocosa será más competente. (Conde, 2019).
  
  - **Apertura:** Es la distancia perpendicular que separa las paredes de la

discontinuidad cuando no existe relleno. Este parámetro puede ser muy variable en diferentes zonas de un mismo macizo rocoso. A menos apertura las condiciones de la masa rocosa serán mejores y a mayor apertura las condiciones serán más desfavorables. (Conde, 2019).

- **Relleno:** Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando los materiales son suaves, la masa rocosa es menos competente y cuando estos son más duros, ésta es más competente. (Conde, 2019).

✚ **Propiedades Físicas de las Rocas:** Según (Gonzales de Vallejo, 2002) las propiedades físicas de las rocas son el resultado de su composición mineralógica, fabrica e historia geológica, deformacional y ambiental, incluyendo los procesos de alteración y meteorización. La gran variabilidad de propiedades se refleja en comportamientos mecánicos diferentes frente a las fuerzas que se aplican sobre las rocas, comportamientos que quedan definidos por la resistencia del material y por su modelo de deformación. Las propiedades físicas de las rocas son:(Conde, 2019).

✚ **Resistencia a la carga puntual:** El ensayo de carga puntual (Point Load Test) se utiliza como una prueba de índice para la clasificación de resistencia de los materiales rocosos, que proporciona una evaluación aproximada de la resistencia a los esfuerzos de las muestras, que pueden estar en forma de testigos cilíndricos de sondajes (ensayos diametral y axiales), bloques cortados (ensayos en bloques) o de formas irregulares (ensayos de especímenes irregulares), se fracturan por la aplicación de carga concentradas usando un par de puntas cónicas de geometría estandarizada y

registrar la fuerza aplicada. A partir de esta información, se puede obtener un índice que puede ser correlacionado con la Resistencia a la Compresión Uniaxial.

✚ **Resistencia a la compresión Triaxial:** Este ensayo representa las condiciones de las rocas in situ sometidas a esfuerzos confinantes, mediante la aplicación de presión hidráulica uniforme alrededor de la probeta. Este ensayo determina la resistencia a la compresión de un testigo cilíndrico de roca en estado no drenado bajo una presión de confinamiento. Nos provee de los valores necesarios para graficar la envolvente de esfuerzos (Mohr), y a partir de ésta calcular el valor del ángulo de fricción interna y la cohesión aparente de la roca. (González de Vallejo, 2002, citado por Conde, 2019)

✚ **Roca Intacta:** La roca intacta es el bloque ubicado entre las discontinuidades y podría ser representada por una muestra de mano o trozo de testigo que se utiliza para ensayos de laboratorio (Jiménez, 2014, citado por Conde, 2019).

## 2.3. Fundamentación Teórica

### 2.3.1. Tipos de Sostenimiento

Una de las condiciones necesarias para que el sostenimiento se realice eficientemente luego de realizada una excavación, es la correcta indagación y evaluación estructural del macizo rocoso. Los principales tipos de sostenimiento empleados en labores subterráneas son:

- Pernos de Anclaje.
- Cuadros de Madera.
- Cerchas o Cimbras metálicas.
- Shotcrete.

- Cable Bolting.
- Split Set
- Relleno en Pasta, etc. (Conde, 2019).

### Ejemplos

Sostenimiento de frentes con lanzamiento de shotcrete húmedo y pernos helicoidales.



FIGURA N°03: JRC Ingeniería y Construcción SAC-Equipo lanzador de shotcrete Alpha.



FIGURA N°04: JRC Ingeniería y Construcción SAC-Equipo perforación Atlas Copco Boomer S1D (04).

### PARAMETROS OPERATIVOS DE LOS PERNOS HELICOIDALES

#### Parámetros operativos

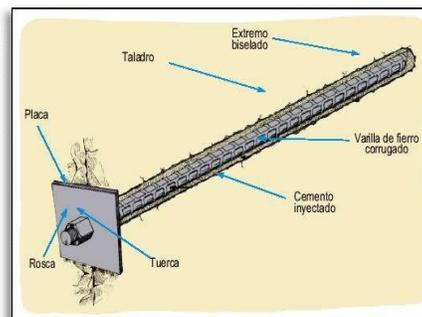
- Diámetro de perno: 22 mm
- Diámetro de perforación : 32mm -36mm
- Longitud de perno: 7 pies / 10 pies.

#### Cementado

Agua / cemento : 10 litros / bolsa de cemento 42.5 kg.

#### Resina

- R rápida / R lenta : 4 resinas rápidas / 3 resinas lentas.
- Capacidad de anclaje: 18 Toneladas



## TIPOS DE SOSTENIMIENTO-CONSUMO

### SHOTCRETE (m2) -Rendimiento 135.17m2/guardia



Fuente: JRC Ingeniería y Construcción. Reporte mensual acumulado a planeamiento.

### PERNOS HELICOIDALES (Und) -Rendimiento 50 und/guardia



Fuente: JRC Ingeniería y Construcción. Reporte mensual acumulado a planeamiento.

### 2.3.2. Aplicación de Cable Bolting

En minas subterráneas, las caídas de roca son el mayor causante de accidentes. Es por ello que, en nuestras operaciones, usamos el sostenimiento con cable bolting no solo en los tajos, sino que además en labores permanentes (galerías) por los temas de descajes de los hastiales y techos.

#### Ejemplos.

##### Sostenimiento en frentes con cable bolting.

La zona de falla magistral está conformada por areniscas, margas y limonitas, presenta una masa rocosa de calidad Mala a Muy Mala. En las condiciones

Geomecánicas mencionadas se pudo apreciar que los pernos de 10' no pueden controlar la influencia de 6 m de la falla y se produce un descaje desproporcionado tanto en los hastiales como en el techo.

**Parámetros operativos**

-Diámetro de perforación : 64 mm  
-Longitud del cable bolting: 6.5m /  
10m / 15m.

Adherencia:  
Agua / cemento : 15 litros de agua /  
1 bolsa de cemento 42.5 kg.



FIGURA N°05: JRC Ingeniería y Construcción SAC-Inyección de cable bolting con ayuda Telehandler.

**Sostenimiento en frentes con cable bolting.**

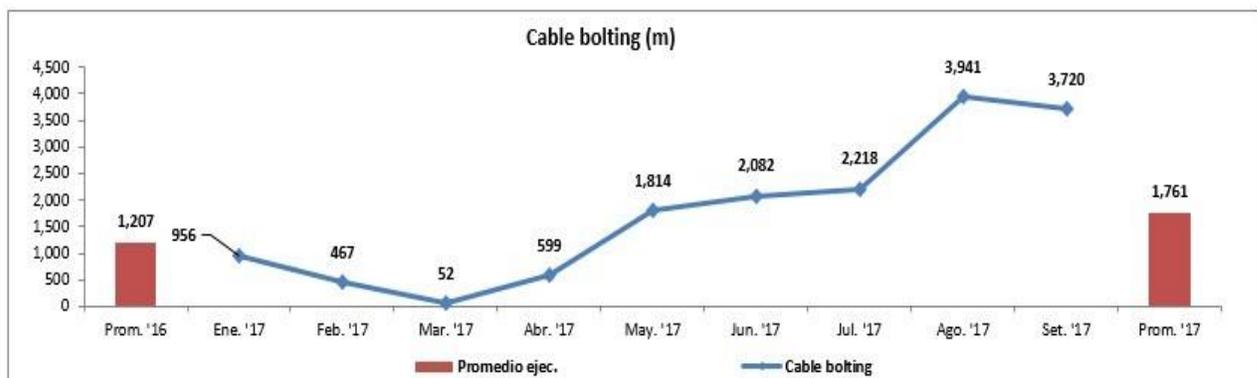


Fuente: JRC Ingeniería y Construcción SAC-Preparación de mezcla de agua y cemento 15l de agua por cada Bolsa de cemento de 42.5kg.



Fuente: JRC Ingeniería y Construcción SAC-Inyección de cable bolting en tajos.

### TIPOS DE SOSTENIMIENTO-CONSUMO CABLE BOLTING



Fuente: JRC Ingeniería y Construcción SAC-Consumo de cable bolting en tajos.

#### 2.3.3. Perno estabilizador Cable Bolt

Es un tendón flexible constituido por un número determinado de alambres de acero, al cual se le inyecta Pasta de Cemento dentro del taladro. Los CABLEBOLTS son normalmente instalados en taladros espaciados regularmente para proveer reforzamiento y soporte para los techos, cajas y pisos de una labor subterránea o una abertura superficial (Mucha, 2019, p. 58, citado por Allpoc, 2020).

El CABLE BOLT tiene una longitud que varía entre 3 a 15 metros. El acero estandarizado ASTM A 416-270, con una tensión de ruptura mínima de 58,600 lbs (260.70KN). Estructura 1x7, con alambres de acero

trenzado. El Cable Bolting utilizado será del tipo Bulbed de 5/8” (15.24mm) de diámetro y bulbado cada 0.6m. La longitud del cablebolting estará en función del ancho y a las condiciones estructurales de la labor a sostener; estas longitudes estarán plasmadas en la malla de sostenimiento.

#### **2.3.4. Instalación**

##### **➤ De la labor y el personal**

La zona a sostener debe ser inspeccionada por el jefe de mina, ingeniero geomecánica, supervisor técnico o jefe de guardia.

Los cables se colocarán como elemento de reforzamiento en labores con anchos mayores a 9.0m.

La colocación de los cables será efectuada por el personal calificado.

Durante todo el proceso de sostenimiento, la ubicación de los trabajadores será bajo un área sostenida (zona con condiciones seguras de trabajo).

##### **➤ Del conjunto cuña-barril y placa**

Conjunto usado para reforzar el punto de anclaje.

Su instalación deberá realizarse después de 05 días de haberse inyectado la lechada de cemento.

La placa de 200mm x 200mm x 4.50mm.

##### **➤ De la perforación**

El diámetro del taladro será de 51 a 64mm.

La longitud del taladro deberá ser 0.30m menos que la longitud del cable bolting.

La perforación de taladros se realizará después de sostenerse con shotcrete la labor, la acumulación de taladros no debe ser mayor a 80m<sup>2</sup> o 3 filas.

La perforación se realizará con la simba electrohidráulica.

##### **➤ Del tensado, la preparación e instalación**

Antes de instalarse, los cables deberán estar completamente limpios (libre de grasa, óxidos y/o lodo) para una correcta adherencia al cemento.

El cable bolting y las tuberías de inyección deberán sujetarse a la superficie del macizo rocoso mediante una alcayata (3/8” de diámetro), alambre de amarre antes de su inyectado.

El tramo del cable bolting que debe sobresalir por fuera de la boca del taladro debe ser máximo de 1½ pie o 45cm y mínimo de 30cm.

Para el acople o empalme de la tubería HDPE y la manguera de la bomba, usar alicate de presión tipo “pico de loro”.

El tiempo de fraguado es de 48 hr como mínimo, antes de ese tiempo no se podrá cortar las tuberías de inyección ni realizar voladuras aledañas.

El tensado del cable bolting para todas las labores será de carácter obligatorio, el tensado se deberá realizar en un rango de 3Tn a 5tn, el tonelaje apropiado se indicará en el cuaderno geomecánica.

El tensado deberá realizarse pasado los 05 días desde la inyección de la lechada de cemento.

### **2.3.5. Método de inyección**

Los cables bolting serán inyectados con lechada de cemento (tipo V), esta deberá ser inyectada inmediatamente después de su preparación, para evitar su fraguado prematuro.

La dosificación de la lechada será de 15 litros de agua por bolsa de cemento de 42.5 kg, vale decir una relación A/C de 0.35.

Para la inyección de la lechada de cemento se puede usar el método Malkoski o el método del tubo respiradero.

#### **a). - Método Malkoski**

La inyección de la pasta de cemento se realiza mediante una manguera de ¾” de diámetro que se extiende hasta el fondo del taladro sujeta al cable bolting mediante una cinta adhesiva. El taladro se considera inyectado cuando aparece una pasta acuosa en la boca del taladro o la bomba inyectora disminuya la presión de inyectado; considerar el siguiente gráfico:



FIGURA N°06 Método de inyección Malkoski

**b). - Método del tubo respiradero**

La pasta de cemento se inyecta con una tubería de 3/4" de diámetro, la cual debe estar 0.5m dentro del taladro perforado; el aire se purga a través de un tubo de 1/2" de diámetro, el cual se extiende hasta el fondo del taladro sujeta al cable con una cinta adhesiva. Se detiene la inyección cuando la pasta de cemento regresa por el tubo respiradero; es importante que al terminar la inyección el tubo de purga quede completamente lleno de pasta de cemento.

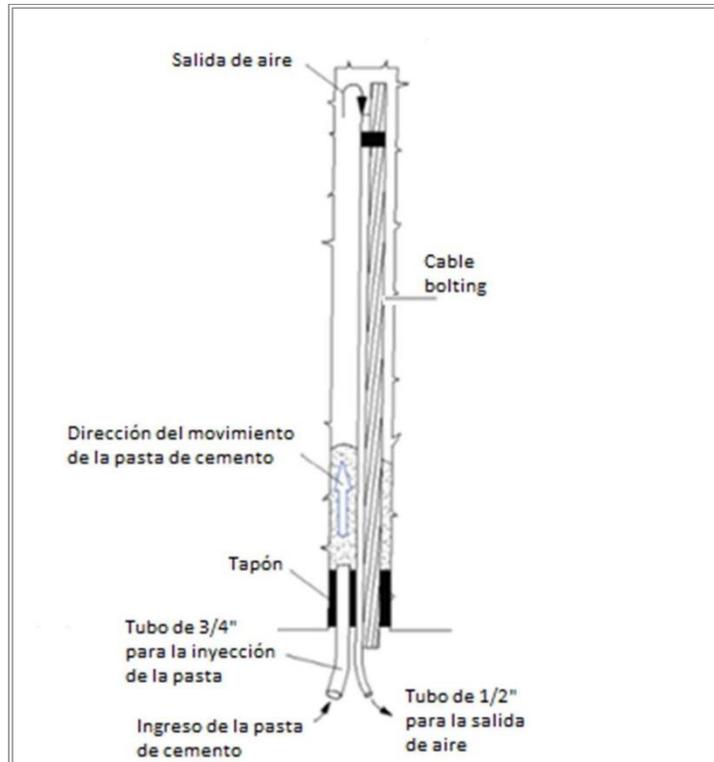


FIGURA N°07.Método de inyección del tubo respiradero

### 2.3.6. La bomba de inyección (bomba helicoidal-sprayboy P12-Putzmeister)

La inyección de lechada será con una bomba certificada de flujo continuo. No se admitirá bomba hechiza; esta debe trabajar con una presión mínima de 80 a 120 PSI.

Realizar la inspección mediante el check list de equipo, antes de su uso; verificando que todos los elementos del revestimiento protector y dispositivos de seguridad se encuentren correctamente instalados; además, verificar la limpieza de la tubería de transporte.

La bomba debe ser operada por personal calificado; y no se debe realizar modificaciones sin autorización del fabricante. La instalación eléctrica deberá ser sólo por personal calificado.

El llenado de la bomba se debe realizar mediante la tolva, durante su funcionamiento no se debe exponer el personal a las partes móviles del equipo.

### 2.3.7. La malla de diseño de sostenimiento

El diseño de malla de sostenimiento se realizará en función a las secciones transversales del área de geología con una dimensión de 1.5x2.0m -2.0x2.50m, se enfatizará las discontinuidades principales y/o formación de cuñas o bloques tabulares para la orientación de los cables.

La malla de sostenimiento deberá ser aprobada por las áreas de planeamiento, geomecánica, geología, mina y empresa contratista.

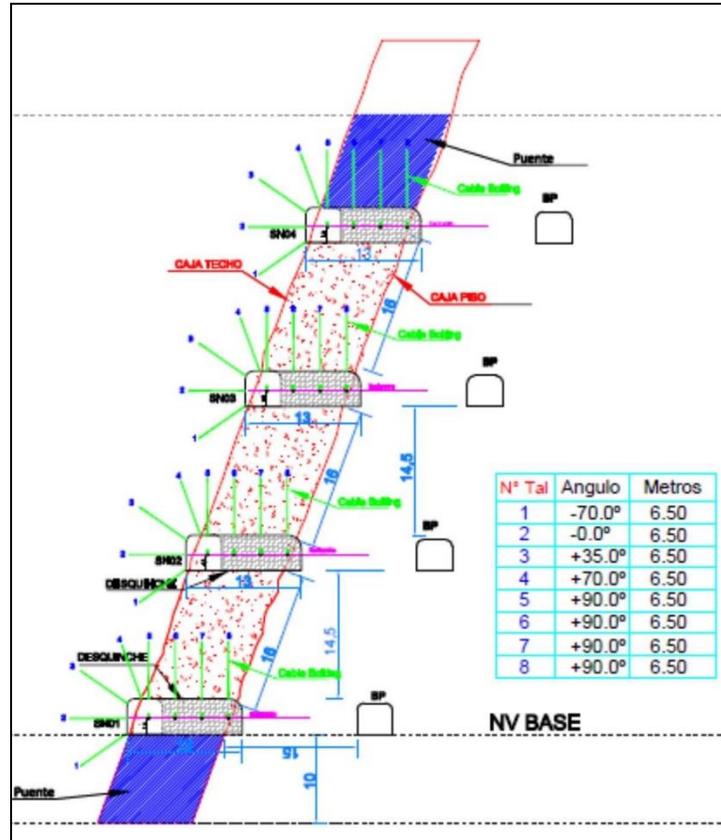


FIGURA N°08. Minera Trevali-Diseño de malla de sostenimiento

### 2.3.8. Ventajas

- Flexibilidad, alta resistencia y bajo peso lineal.
- Fácil instalación y manipulación por su bajo peso lineal comparado con la barra sólida.
- Alta productividad y bajo costo de instalación.
- Alta resistencia a la tracción.

- e. Permite anclaje con longitudes sobre 10 m.
- f. Puede ser usado como anclaje pasivo (sin tensar) y activo (tensado), y se considera un anclaje de tipo permanente (Mucha, 2019, pág. 61, citado por Allpoc, 2020).

### **2.3.9. Usos**

Ofrece un perno de alta capacidad y flexibilidad, que en la actualidad está siendo utilizado por importantes faenas mineras, tanto en minería subterránea como a cielo abierto, debido a las ventajas comparativas que representa su mayor capacidad de soporte, frente a los sistemas tradicionales de fortificación” (Remicsa, 2015, citado por Allpoc, 2020).

### **2.3.10. Ventajas**

Son utilizados en condiciones de rocas duras, moderadamente fracturadas o fracturadas, que presenten bloques grandes a medianos, con RMR mayor o igual a 40 o cuando se quiere asegurar una franja de roca débil entre dos franjas de roca competente. Instalados correctamente constituyen un sistema de reforzamiento competente y durable. Se requiere varios días de tiempo de fraguado (curado) antes que los cables puedan trabajar a capacidad completa.

**Tabla 1. Características Técnicas Cable Bolting.**

Son las características técnicas del cable tipo bulbado

Propiedades	Valores
Diámetro	5/8 pulgadas.
Hilos	7
Peso	1.10 Kg/m
Resistencia mínimo	26.5 Tn
Norma	ASTM A416 - 270
Elongación mínima en 2 pies	0.035
Área	140 mm <sup>2</sup>

Nota. ASTM son las siglas de Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

Fuente: Unidad operativa Inmaculada, citado por Allpoc, 2020.

### 2.3.11. Conceptos teóricos de variables de diseño y estabilidad de tajeos

• **Radio hidráulico:** El concepto de radio hidráulico para tomar en cuenta el tamaño y forma de un plano de tajeo bajo análisis fue introducido por Laubscher y Taylor (1976).

$$N' = Q' \times A \times B \times C$$

Donde:

N' = Numero de estabilidad

Q' = Índice de calidad tunelera

A = Factor de esfuerzo en la roca

B = Factor por ajuste de orientación de las juntas

C = Factor de ajuste gravitacional

#### Radio Hidráulico (RH)

$$RH = \frac{\text{Área (m}^2\text{)}}{\text{Perímetro (m)}} = \frac{A \times L}{2(A+L)}$$

Donde:

RH = radio hidráulico

L= longitud del tajeo (variable)

A= altura del tajeo (por diseño la altura optima es de 22.50)

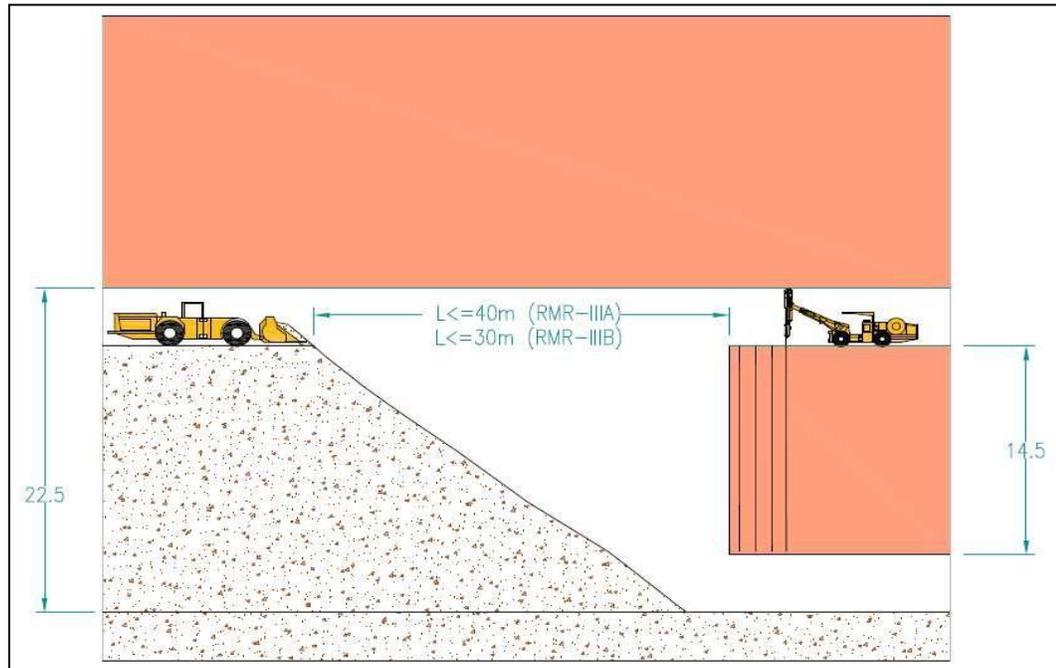


FIGURA N°09: Planeamiento Trevali- Tajo con longitud de 30m.

**Parámetros geomecánicos de la caja techo obtenidos en el extremo norte**

Ubicación	Q'	A	B	C	N'
Caja Techo	3.50	1.00	0.2	5.0	3.5

Numero de Estabilidad (N')	Radio Hidráulico	Altura (m)	Longitud (m)	Condición de Estabilidad
3.50	4.32	22.5	<14	Estable sin Sostenimiento
3.50	6.43	22.5	30	Estable con sostenimiento opcional
3.50	8.18	22.5	60	Estable con sostenimiento (cable bolting)

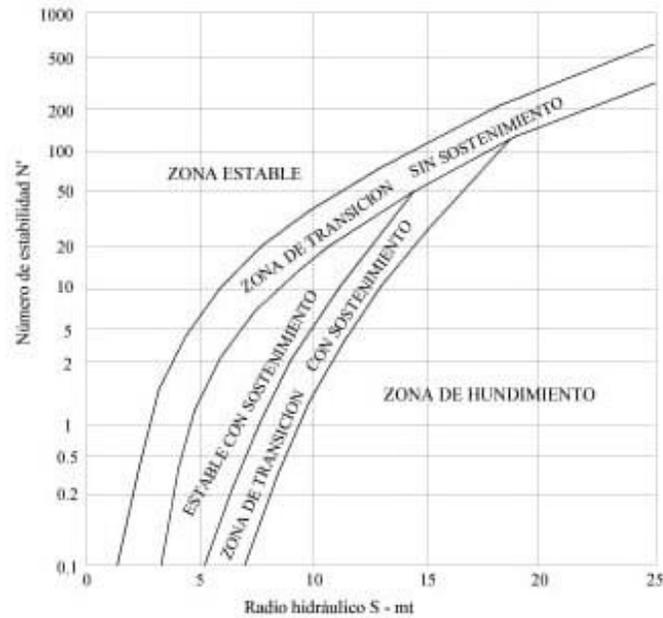


FIGURA N°10 Según Potvin (1998) y Nickson (1992)-Gráfico de Estabilidad.

Condición de estabilidad	Mineral - análisis en el techo (bóveda)						Zona estéril - análisis en las cajas							
	Potencias consideradas						Altura=20 m		Altura=40 m		Altura=60 m		Altura=80 m	
	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m	CT	CP	CT	CP	CT	CP	CT	CP
<b>Magistral Norte</b>														
ESS	sr	150	60	38	30	25	50	50	24	24	19	19	18	18
ESO	sr	sr	150	100	60	50	sr	sr	40	40	30	30	26	26
ECS	sr	sr	sr	sr	200	100	sr	sr	70	70	44	44	38	38
<b>Magistral Centro</b>														
ESS	sr	150	45	32	26	23	60	60	25	25	21	21	19	19
ESO	sr	sr	120	75	55	43	sr	sr	44	44	32	32	28	28
ECS	sr	sr	sr	200	150	85	sr	sr	80	80	48	48	41	41
<b>Magistral Sur</b>														
ESS	200	80	35	27	23	21	60	70	25	29	22	23	20	21
ESO	sr	sr	120	60	48	39	200	250	43	50	33	35	30	31
ECS	sr	sr	sr	200	120	75	sr	sr	80	90	50	55	42	44

Notas: ESS = Estable Sin Sostenimiento; ESO = Estable Sostenimiento Opcional; ECS = Estable Con Sostenimiento Obligado (sr) Significa (sin restricción) que no hay restricción de longitud en la superficie analizada para dicha condición de estabilidad.

FIGURA N°11:Compañía Minera Trevale-Dimensionamiento de tajos,longitud m.

• **Estabilidad estructuralmente controlada:** Las discontinuidades estructurales como fallas, diaclasas, estratos y otros, constituyen plano de debilidad, que, al interceptarse, podrían formar cuñas o bloques rocosos en el techo y/o paredes de la excavación rocosa, presentando libertad para descolgarse, rotar o deslizar. Por tanto, la estabilidad de las excavaciones rocosas estará condicionado por la presencia de estas cuñas o bloques, a

esto es lo que se llama “estabilidad estructuralmente controlada”.

• **Estimación de sobre excavación no controlada (ELOS):** El concepto de dilución puede vincularse a dos indicadores de la calidad de la explotación minera: desempeño y eficiencia. El desempeño de un caserón está generalmente medido en relación a su habilidad para maximizar la recuperación minera. No obstante, el incrementar la recuperación conlleva inherentemente un aumento de la dilución debido al aumento del tamaño de las unidades, lo que implica pérdida de selectividad y mayor probabilidad de falla en las paredes. En relación a esto último, se ha establecido que el principal mecanismo o fenómeno físico que permite cuantificar la dilución en Sublevel Stopping corresponde a la sobre excavación de las paredes del caserón (Cepuritis & Villaescusa, 2006). También se entiende a la dilución como un indicador de eficiencia minera, definida como la proporción de lastre introducido al proceso minero. Mayor eficiencia implicaría menor dilución, y por ende menores costos de producción. Ahora bien, dado que la dilución se cuantifica principalmente por la cantidad sobre excavación de las paredes del caserón, esta suele ser difícil de calcular ya que exige la implementación de levantamientos de cavidades por láser y posterior análisis comparativo. Sin embargo, de acuerdo al grado de incertidumbre de la procedencia de la dilución, es posible distinguir dos tipos (Scoble & Moss, 1994):

- Dilución planificada: Hace referencia al material estéril que es cubicado dentro de los márgenes de la definición física de la unidad básica minera, y forma parte de la planificación minera.

- Dilución no planificada: Material adicional extraído que no corresponde a mineral, ya sea roca o relleno provenientes desde las afueras de los márgenes del caserón. La disponibilidad de este material ocurre debido a fracturamiento inducido en las paredes por daño por tronadura, desprendimiento de rocas desde las paredes inestables, o desprendimientos de relleno. Dado el impacto en los costos de producción, estimar la magnitud de la dilución no planificada permite diseñar caserones con un nivel de certidumbre mayor en relación a su estabilidad, y a la estabilidad de los pilares circundantes. A su vez, esto permite definir los costos asociados a la tolerancia a la dilución para el sistema minero, entendiendo de forma exhaustiva la relación entre la recuperación y la dilución para la valorización de las operaciones mineras.

- **Factores y mecanismos condicionantes de la dilución:** Diversos autores, a través del estudio de casos históricos o mediante modelamiento numérico de distintos casos representativos (Capes, 2009, Henning & Mitri, 2008, Henning & Mitri, 2007, Mah, 1997, Martín et al., 1999, Martín et al., 2003, Potvin, 1988), han concluido y destacan que la cantidad de dilución por sobre excavación observada y medida está fuertemente condicionada a cinco aspectos fundamentales que guardan relación con: la geometría de la excavación, la orientación de los esfuerzos principales y la competencia del macizo rocoso. Siendo estos:

- **Altura del caserón:** Asociada a la desviación excesiva de los tiros de producción conforme se aumenta la distancia de perforación, o a la estabilidad del macizo rocoso a medida que se aumenta la altura y

con esto la luz máxima de exposición.

- **Ángulo de inclinación de la pared colgante:** Mientras más inclinada se encuentra la pared colgante, mayor será la dilución por sobre excavación debido a la presencia de esfuerzos verticales actuando sobre el macizo circundante, y al aumento de la altura real de la pared.
- **Tensor de esfuerzos imperante:** Se genera una zona de relajación en la pared colgante, debido a una redistribución de los esfuerzos. Se ha demostrado que la relajación puede causar condiciones de esfuerzos casi nulas lo que reduce la capacidad de la excavación de auto soportarse en un macizo fracturado y aumenta la probabilidad de formación de grietas nuevas (Diederichs & Kaiser, 1999, Hoek, 1968).
- **Forma y tipo de caserón:** esto hace referencia a la relación de aspecto que presenta un caserón. Se ha concluido que caserones más altos que anchos presentan menor dilución que sus pares con forma más cúbica (Henning & Mitri, 2007).
- **Secuencia de extracción:** Se alude a la secuencia de extracción ascendente de caserones con posterior relleno, en donde los caserones primarios, que se caracterizan por estar rodeados de roca presentan índices de dilución menores que los caserones terciarios que se rodean de pilares compuestos de relleno cementado.
- **Línea Equivalente de Sobre Excavación (ELOS):** El término ELOS fue introducido por Dunne y Pakalnis, y Clark y Pakalnis (Clark & Pakalnis, 1997, Dunne & Pakalnis, 1996) para representar a la dilución en términos de una densidad lineal de sobre excavación. Este término

uniformiza el volumen total de sobre excavación de una pared a lo largo de toda la extensión de su área (ver figuras 13 y 14). Físicamente el término ELOS representa una profundidad promedio de sobre excavación para una pared, y tiene la ventaja de entregar información de manera independiente del valor del ancho del caserón, a diferencia del término porcentual. Cuando se expresa la dilución en términos porcentuales (%), el ancho del caserón genera grandes distorsiones en el análisis dado su peso en el volumen total de la excavación, pudiendo ser este último el caso de comparación entre vetas angostas y caserones de ancho considerable (Fuente: Henning (2007)).

• **Zonificación Generalizada en Gráficos Empíricos:** Debido a que los métodos de predicción de sobre excavación presentan gran variabilidad en los valores de la base de datos, éstos son zonificados en intervalos de igual potencial de sobre excavación. Estas zonas se asumen en asociación a ciertas prácticas operacionales, siendo estas:

- **Zona:** ELOS ~ 0.5 [m] Se asocia principalmente a daño por voladura. Esta sobre excavación es provocada por el efecto de la propagación de onda de choque, vibraciones y desviaciones de los tiros de producción que generan un aumento del poder rompedor de la configuración de la voladura, más allá de los límites de diseño.
- **Zona:** 0.5 [m] ~ ELOS ~ 1.0 [m] Considerado como dilución menor. Es provocada por fenómenos de deslizamiento de bloques o ajamiento de las paredes del caserón producto de la distribución de esfuerzos en torno al caserón.
- **Zona:** 1.0 [m] ~ ELOS ~ 2.0 [m] Considerado como dilución

moderada. Está asociada al desprendimiento y caída de bloques de roca desde la pared colgante y techo.

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. El Problema

##### 3.1.1. Descripción de la realidad problemática

Las excavaciones subterráneas, deben de tener un buen diseño del sostenimiento subterráneo en base a los parámetros de la mecánica de rocas, el cual permite tener valorar las características del macizo rocoso. Debido a las características geomecánicas se pudo apreciar que los pernos de 10 pies no pueden controlar la influencia de 6 metros de la falla y se produce un descaje desproporcionado; para el control de estas situaciones de inestabilidad se requiere de elementos de anclaje de mayor longitud como son los cables bolting o pernos súper swellex. Sin embargo, en los cuerpos donde la influencia de falla es hacia la caja techo no fue mayor a 2m los pernos cumplieron la función de mitigar la influencia de la falla y controlar el descaje de la caja techo, esto se pudo apreciar en el Nv. 4510 Magistral Norte. Se debe de tener una buena evaluación del macizo rocoso, la recuperación del mineral la reducción del porcentaje de dilución y el incremento del radio hidráulico, con la optimización de los costos de reforzamiento hacen que se aplique el Cable Bolting para mejorar la estabilización del macizo rocoso, en el Nv 4510 Magistral Norte en la Unidad Minera Santander, en el año 2022.

### 3.1.2. Planteamiento y Formulación del Problema<sup>1</sup>

#### 3.1.2.1. Formulación Interrogativa del Problema

¿El cable bolting mejorara la estabilidad del Nv 4510  
Magistral Norte Unidad Minera Santander - 2022?

#### 3.1.2.2. Formulación de problemas específicos

- ✚ ¿La caracterización del macizo rocoso influye en la  
instalación del cable bolting?
- ✚ ¿El zoneamiento geomecanico de las labores mineras  
subterráneas inciden en la instalación de los cables  
bolting?
- ✚ ¿Los indicadores económicos incidirán en la instalación de  
los cables bolting?

### 3.1.3. Objetivos de la investigación

#### 3.1.3.1. Objetivo General

Determinar el cable bolting para mejorar la estabilidad del Nv  
4510 Magistral Norte Unidad Minera Santander - 2022.

#### 3.1.3.2. Objetivos Específicos

- ✚ Evaluar la caracterización del macizo rocoso que influye en  
la instalación del cable bolting.
- ✚ Determinar el zoneamiento de las labores mineras  
subterráneas que inciden en la instalación de los cables  
bolting.

<sup>1</sup> La **formulación del problema** de investigación es la etapa donde se estructura formalmente la idea de investigación. Una buena **formulación del problema** implica necesariamente la delimitación del campo de investigación, establece claramente los límites dentro de los cuales se desarrollará el proyecto.

- ✚ Determinar los indicadores económicos para la instalación de los cables bolting

### 3.1.4. Justificación e importancia<sup>2</sup>

Se justifica porque, en el Nv 4510 Magistral Norte Unidad Minera Santander, el desprendimiento y caída de roca constituye el mayor causante de accidentes motivo por el cual es muy importante la estabilización de la roca, aplicando el reforzamiento ya que por el método de explotación se generan vibraciones y con el objetivo de reducir el porcentaje de dilución. Es importante porque ayuda a mantener la excavación abierta durante el tiempo que dure la extracción del mineral para que el personal y los equipos realicen un trabajo seguro.

### 3.1.5. Alcances

Se aplicará el Cable Bolting para mejorar la estabilidad del Nv 4510 Magistral Norte Unidad Minera Santander – 2022.

### 3.1.6. Delimitación de la Investigación

#### Delimitación Espacial

El presente trabajo de investigación nos permitirá realizar la aplicación de Cable Bolting para mejorar la estabilidad del Nv 4510 de Magistral Norte Unidad Minera Santander – 2022.

#### Delimitación Temporal

El periodo en el cual se realizará esta investigación comprende desde el año 2020 - 2021.

---

<sup>2</sup> La **justificación** a la parte de un proyecto de investigación que expone las razones que motivaron a realizar esa investigación. La **justificación** es la sección en la que se explica la importancia y los motivos que llevaron al investigador a realizar el trabajo. Introducción (de un proyecto o investigación)

### **Delimitación Social**

Se encuentra dirigido a: Los trabajadores de la mediana minería y gran minería de la Región y a nivel nacional, así como también a estudiantes de las Escuelas Profesionales de Minas de las Universidades del Perú.

## **3.2. Hipótesis<sup>3</sup>**

### **Hipótesis General**

El cable bolting mejora la estabilidad del Nv 4510 Magistral Norte Unidad Minera Santander – 2022.

### **Hipótesis Específicos**

- ✚ La caracterización del macizo rocoso influye en la instalación del cable bolting.
- ✚ El zoneamiento en las labores mineras subterráneas inciden en la instalación de los cables bolting.
- ✚ Los indicadores económicos inciden en la instalación de los cables bolting.

## **3.3. Variables**

### **Variable Independiente (x)**

Cable Bolting.

### **Variable dependiente (y)**

Mejorar la estabilidad del Nv 4510 Magistral Norte Unidad Minera Santander – 2022.

---

<sup>3</sup> La **hipótesis**, es una proposición **que** aún no ha sido corroborada y a partir de la **cual** se puede desarrollar una investigación. Es decir, una **hipótesis** es una afirmación **que** puede o no ser cierta. ... La **hipótesis** puede fundamentarse en la evidencia científica o un conjunto de argumentos **que** cuenten con sustento.

### 3.4. Diseño de la investigación

#### 3.4.1. Tipo de investigación

##### a) De acuerdo a la orientación:

Calificada como una Investigación Aplicada ya que la investigación tiene como propósito dar solución a situaciones o problemas de una realidad concreta e identificable.

#### 3.4.2. Nivel de la investigación

Según Roberto Marroquín Peña, los niveles de investigación son los siguientes:

- ✓ Investigación Exploratoria
- ✓ Investigación Descriptiva
- ✓ Investigación Correlacional
- ✓ Investigación Explicativa

En resumen, se puede confirmar que se trata de una investigación del **Nivel Descriptivo**, porque acopia las características de la realidad y la describe de acuerdo a la variable de interés de la investigación.

#### 3.4.3. Diseño de investigación

Un buen diseño de investigación, permite que el proyecto se lleve a cabo de forma efectiva y eficiente. Hernández et.al., dice que “*el termino diseño se refiere al plan o estrategia concebida para obtener*

la información que se desea” (2003, p.184).

La presente investigación se orienta en un tipo de Investigación **NO EXPERIMENTAL**, puesto que se observa los fenómenos o acontecimientos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

**TRANSVERSAL**, puesto que la información es captada en un determinado momento.

#### 3.4.4. Población y muestra

##### **Población**

La población o universo de estudio está representado por todos los Niveles de Magistral Norte Unidad Minera Santander – 2022.

##### **Muestra**

La muestra está compuesta por el Nv 4510 de Magistral Norte de la Unidad Minera Santander donde se realizará la investigación.

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

Las técnicas que se utilizará para la recolección de información son las siguientes:

<b>Técnicas de Investigación</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Informantes o Fuentes</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Análisis documental	Fichas bibliográficas	Libros, Reglamentos, internet, tesis, entre otros.	Muy objetiva Puede constituir evidencias	Aplicación limitada a fuentes documentales

Observación de campo – visitas a las unidades productivas	Procedimientos o guías de observación de campo	Toma de datos por parte del investigador	Contacto directo Con la realidad	Aplicación limitada a aspectos fijos o repetitivos
---	--	--	-------------------------------------	--

### 3.4.6. Forma de tratamiento de los datos

El tratamiento de datos del presente proyecto de investigación, se realizarán con los siguientes programas informáticos:

**Microsoft Excel:** Para procesar datos de campo, elaboración de tablas (cuadros de las minas formalizadas de la pequeña minería, programa de fiscalización de minas operativas de la pequeña minería, entre otros).

**Microsoft Word:** Para la redacción de la tesis final, siguiendo el modelo de redacción de tesis propuesto por la UNASAM.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.1. Descripción de la realidad y Procesamiento de Datos

La Unidad Minera Santander de acuerdo a la calidad del macizo rocoso ha procedido a la instalación del cable bolting en el Nv. 4510, con el objetivo de garantizar la estabilidad de la labor minera subterránea, considerando los costos de dicho elemento de sostenimiento.

El Cable bolting es un elemento de sostenimiento que es instalado bajo procedimientos de estabilidad en este caso en un tipo de calidad del macizo rocoso tipo IIIA y IIIB. Ver anexo N°05

#### 4.2. Análisis e Interpretación de la Información

##### 4.2.1. Métodos de instalación de cables con inyección de pasta de cemento

El cable Bolting es uno de los sistemas de sostenimiento más usados en las grandes aberturas subterráneas como tajeos de explotación, debido al requerimiento de sostenimiento de grandes longitudes, su flexibilidad durante el transporte e instalación y sus altos rendimientos de resistencia para garantizar la estabilidad durante la operación”

Los dos métodos de instalación de cables más conocidos son: Método Malkoski (hacia arriba) y Método de pre-cargado / lechada (hacia abajo)”.

#### **4.2.2. Método de Malkoski (hacia arriba)**

Los siguientes elementos son utilizados:

Paso 1: Manguera PVC de 3/4”.

Paso 2: Cable de acero de 7 torones de 5/8”. Paso 3: Tapón cuña, hilacha y/o Papel.

Paso 3: Tapón cuña, hilacha y/o Papel.

Paso 4: Descarga de pasta de cemento. Paso 5: Pasta de cemento.

Paso 5: Pasta de cemento.

Paso 6: Cinta adhesiva.

Paso 7: Inyección de lechada de cemento.

#### **4.2.3. Método de boca taponeado (hacia arriba)**

Los siguientes elementos son utilizados: Paso 1: Manguera PVC de 1/2”.

Paso 1: Manguera PVC de 1/2”.

Paso 2: Manguera PVC de 3/4”. Paso 3: Cable de 5/8”.

Paso 3: Cable de 5/8”.

Paso 4: Tapón de Cemento con Hilacha. Paso 5: Ingreso de Aire al Tubo.

Paso 5: Ingreso de Aire al Tubo.

Paso 6: Pasta de Cemento.

Paso 7: Tubo de 1/2” en Balde con Agua. Paso 8: Inyección de Lechada de Cemento.

Paso 8: Inyección de Lechada de Cemento.

Paso 9: Cinta adhesiva. (Yarica, 2019, pág. 31, citado por Allpoc, 2020).

#### 4.2.4. Método de pre-cargado/lechada (hacia abajo)

Los siguientes elementos son utilizados: Paso 1: Cable de 5/8”.

Paso 1: Cable de 5/8”.

Paso 2: Pasta de Cemento. Paso 3: Introducción del Cable.

Paso 3: Introducción del Cable.

Paso 4: Pasta de Cemento Pre- Cargado.

Paso 5: Retiro Paulatino de la Manguera. Paso 6: Inyección de Pasta de Cemento.

Paso 6: Inyección de Pasta de Cemento.

Paso 7: El tapón se coloca al Finalizar la introducción del Cable.

Paso 8: El tapón se coloca al Finalizar la inyección de la Pasta de Cemento”

#### 4.2.5. Gráfico Múltiple GDE:

La principal incertidumbre en túneles está relacionada con la identificación de los riesgos que se puedan presentar durante su excavación debido a los diferentes tipos de rotura que presenta el macizo rocoso. Esta incertidumbre se debe principalmente a la dificultad de realizar investigaciones detalladas, previas a las excavaciones, y a la complejidad de los procesos de formación del macizo rocoso que han intervenido en sus características actuales, por lo que, la predicción del comportamiento de una excavación es un punto clave en los diseños de túneles, habiéndole dedicado los especialistas en mecánica de rocas muchos esfuerzos con el objetivo de aumentar la fiabilidad de las evaluaciones con el fin de obtener las posibles respuestas del macizo

rocoso. Uno de los trabajos más recientes, relacionado con la predicción de riesgos, es el propuesto por el Dr. G. Russo, 2007 (Geodata Spa, Turin, Italy) titulado "Un enfoque racional simplificado para la evaluación preliminar del comportamiento de las excavaciones de túneles en roca", así como su actualización propuesta en el año 2014 y publicada en la revista *Tunnelling and Underground Space Technology* 41 (2014) 74-81 titulado "Actualización del Gráfico Múltiple - GDE para su aplicación en la evaluación preliminar del comportamiento del macizo rocoso en túneles". Este enfoque de evaluación del comportamiento del macizo rocoso en una excavación subterránea correlaciona las diferentes clasificaciones geomecánicas (RMI, GSI y RMR) con el objeto de obtener un índice de competencia (IC), que al relacionarlo con las tensiones in-situ, producto de la profundidad de la excavación, nos permita identificar en forma preliminar los diferentes tipos de rotura del macizo rocoso que puedan presentarse durante la excavación. El gráfico múltiple - GDE (Russo, 2007, 2014) está compuesto por cuatro sectores, habiéndose elaborado en cada uno ellos un uso sencillo de la cuantificación de las propiedades del macizo rocoso. Estos sectores son los siguientes:

- **Sector 1:** Caracterización del macizo rocoso (Volumen de bloque + condición de discontinuidades).
- **Sector 11:** Resistencia del macizo rocoso (Resistencia de la roca intacta + Caracterización del macizo rocoso).
- **Sector 111:** Índice de Competencia (Resistencia del macizo rocoso + Condición tensional in-situ).
- **Sector IV:** Comportamiento de la excavación (Índice de competencia

+ Condición de autoaporte).

- La aplicación del gráfico múltiple se realiza en sentido horario siendo el sector I el inferior derecho, el sector 11 el inferior izquierdo, el sector 111 el superior izquierdo y el sector IV, el superior derecho. (Quispe y Rosales, 2019).

#### **4.3. Discusión de los Resultados**

- ✓ Durante la inspección inopinada de Seguridad se encontró dos (2) observaciones, que se debe mejorar a posteriori en la Unidad Minera Santander.
- ✓ En la evaluación de la matriz de consistencia al momento de analizar los procedimientos se obtuvo un rendimiento bueno.

#### **4.4. Aportes de la tesista**

Al realizar el trabajo de investigación se obtuvieron los siguientes aportes:

Se obtuvo un análisis cuantitativo y cualitativo de la instalación del cable bolting en el Nv 4510 de la Unidad Minera Santander, cuyo objetivo es el restablecimiento del macizo rocoso y garantizando la seguridad de la infraestructura, equipos y maquinarias y más aún del recurso humano.

Se pudo determinar los procedimientos para la instalación del cable bolting, y las bondades en el tipo de sostenimiento en el macizo rocoso tipo IIIA y IIIB.

## CONCLUSIONES

- 1.- El cable bolting mejora la estabilidad del Nv 4510 Magistral Norte Unidad Minera Santander 2022, considerando la calidad del macizo rocoso, que esta entre IIIA y IIIB.
- 2.- La caracterización del macizo rocoso influye en la instalación del cable bolting, que con las características litológicas del material determinamos la calidad del macizo rocoso del Nv 4510.
- 3.- El zoneamiento en las labores mineras subterráneas incide en la instalación de los cables bolting, ya que las características geomecánicas permiten la adaptación y instalación de los cables bolting.
- 4.- Los indicadores económicos inciden en la instalación de los cables bolting, concluyendo por su costo relativo en el Nv 4510 de la Unidad Minera Santander.

## RECOMENDACIONES

1. La capacitación del trabajador o colaborador se debe centrar en los procedimientos de instalación del cable bolting, considerando que su objetivo es el restablecimiento del equilibrio del macizo rocoso.
2. Evaluar la posibilidad de realizar inspecciones constantes o inopinadas para verificar e identificar los procedimientos en la instalación del cable bolting.
3. Realizar la evaluación del Nv 4510 de la Unidad Minera Santander con la aplicación de los cables bolting, para su instalación de los cables bolting permanentes.
4. Para un buen desarrollo de las operaciones mineras en la unidad Minera Santander crear un área inmersa al área de geomecánica para ver el desarrollo y su comportamiento del cable bolting en un determinado periodo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✚ Allpoc, L. (2020). Evaluación y optimización del sostenimiento con Cable Bolting en la unidad operativa Inmaculada, Hochschild Mining – Ayacucho. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ingeniería de Minas. Huancayo, Perú.
- ✚ Área de Ingeniería. (2022). Mina Magistral Norte Unidad Minera Santander.
- ✚ Astudillo, V. C. y Toro, A. M. (2020). Propuesta de mejora en la fortificación en mina Cerro Negro del 1 al 12. (Trabajo de Titulación). Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña Del Mar - José Miguel Carrera. Viña del Mar, Valparaíso, Chile.
- ✚ Ayuque, M. (2020). Optimización de la recuperación de mineral en el método de explotación bench and fill con taladros largos en la veta Magistral Centro - Tajo 4230 de Minera Trevali Perú - Unidad Santander. (Tesis de Pregrado). Universidad Continental. Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huancayo, Perú.
- ✚ Conde, Y. (2019). Análisis del macizo rocoso y su aplicación de Cables Bolting en la ejecución de echaderos de relleno detrítico en la mina San Rafael Melgar – Puno. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Cusco, Perú.
- ✚ Departamento de geología. (2020). Departamento de geología. Informe geológico de la mina Magistral Norte Unidad Minera Santander – 2020. Canta, Perú.

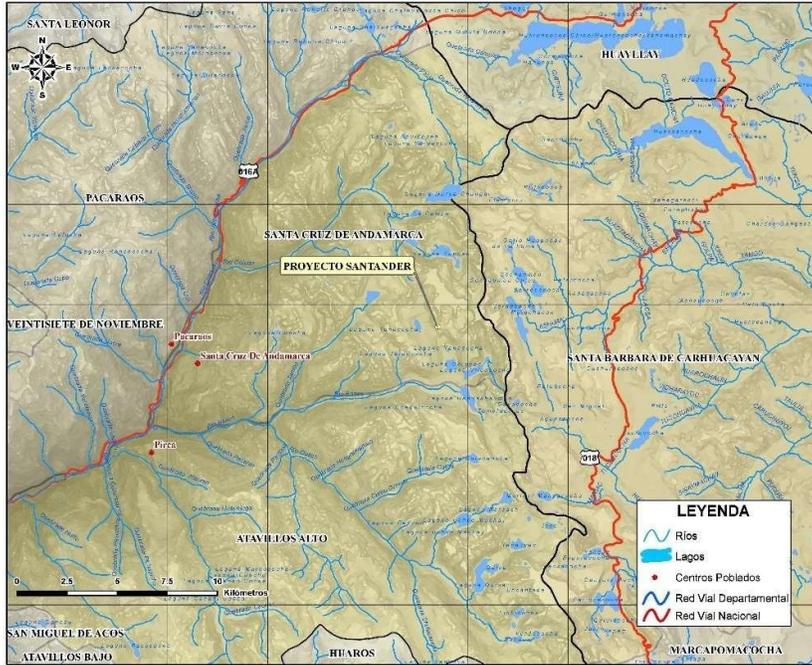
- ✚ Mucha, A. (2019). Aplicación de Cable Bolting como reforzamiento del sostenimiento para poder estabilizar al macizo rocoso, en la unidad de producción Carahuacra – Compañía Minera Volcán S.A.A. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Daniel
- ✚ Alcides Carrión. Facultad de Ingeniería de Minas. Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas. Cerro De Pasco, Perú.
- ✚ Pacco, W. (2019). Aplicación de Cable Bolting como reforzamiento del sostenimiento para poder estabilizar al macizo rocoso, en el Tajo-75 Del Nivel 1220 En La Unidad De Producción San Cristóbal – Compañía Minera Volcán S.A.A. (Trabajo de Suficiencia Profesional). Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de Ingeniería de Minas. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Puno, Perú.
- ✚ Paredes, D. (2018). Estudio geoeconómico y estructural del yacimiento Magistral. Santander- Huaral. (Informe por servicios profesionales). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Geología, Geofísica y Minas Escuela Profesional de Ingeniería Geológica.
- ✚ Penadillo; E. (2019). Geomecánica aplicada al método de explotación para garantizar la estabilidad de la operación minera de la mina Cobriza – Doe Run PerúSRL – 2018. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. Escuela Académico Profesional de Ingeniería De Minas. Huaraz, Perú.
- ✚ Quispe, B. F. y Rosales, R. R. (2019). Implementación del sistema de sostenimiento con cable bolting para la recuperación del mineral. (Tesis de

Pregrado). Universidad Continental. Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huancayo, Perú.

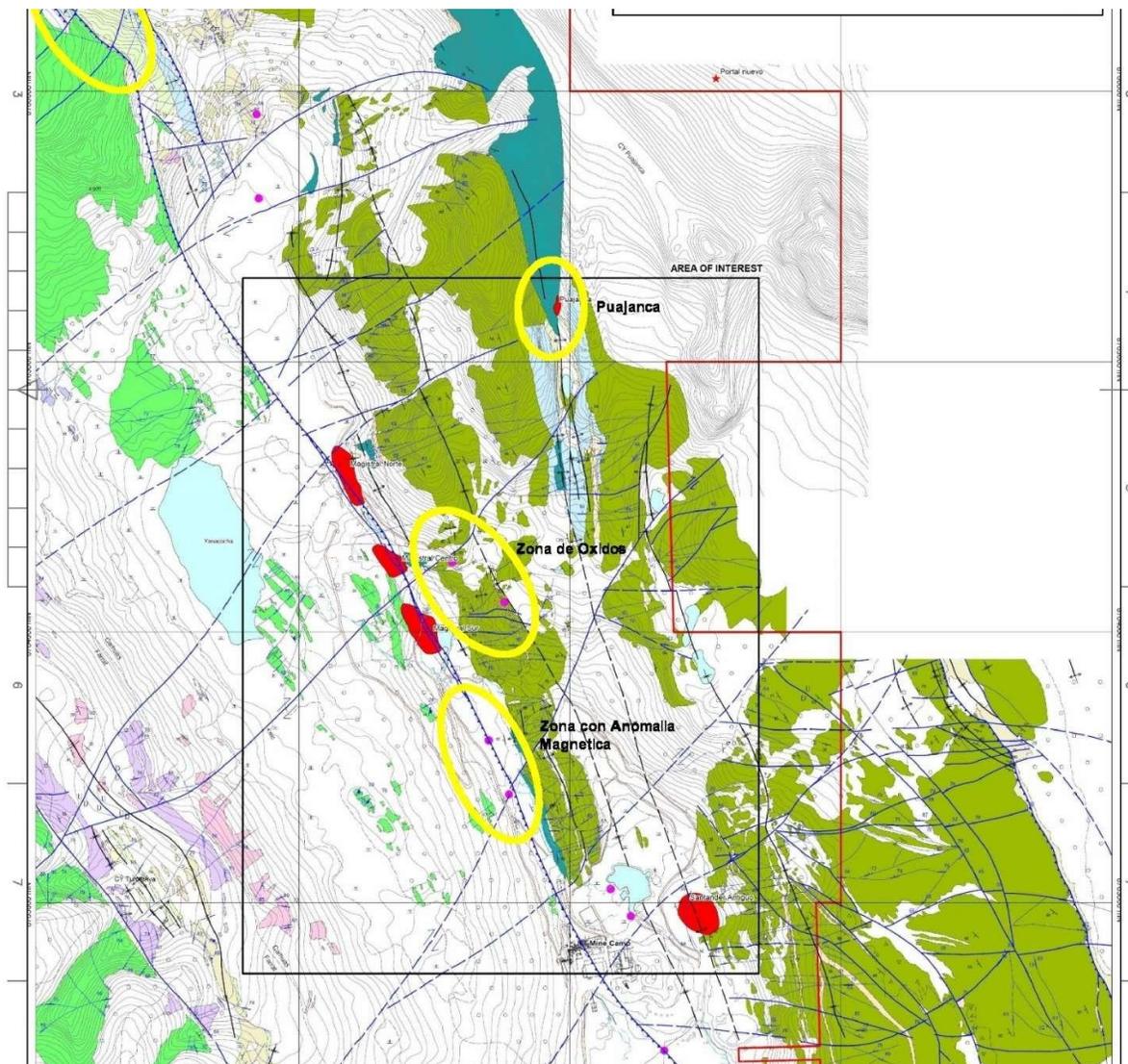
- ✚ Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación, México, MC ORAW HILL, México. Yucás, V. (2015). Análisis geo mecánico del macizo rocoso para la construcción de la chimenea Glory Hole mediante el sistema Alimak. (Tesis de Pregrado). Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Carrera De Ingeniería De Minas. Quito, Ecuador.

# ANEXOS

## ANEXO N° 01: UBICACIÓN DE LA MINA SANTADER



## ANEXO N° 02: GEOLOGIA REGIONAL



**ANEXO N° 03: MATRIZ DE CONSISTENCIAS**

**CABLE BOLTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL Nv 4510 MAGISTRAL NORTE UNIDAD MINERA SANTANDER - 2022**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Tipo	Población y Muestra
¿El cable bolting mejorara la estabilidad del Nv 4510 Magistral Norte Unidad Minera Santander -2022?	Determinar el cable bolting para mejorar la estabilidad del Nv 4510 Magistral Norte Unidad Minera Santander - 2022.	El cable bolting mejora la estabilidad del Nv 4510 Magistral Norte Unidad Minera Santander - 2022.	La investigación que se realizará será tipo: <ul style="list-style-type: none"> <li>🚩 Explicativo</li> <li>🚩 Descriptiva</li> <li>🚩 Científico</li> </ul>	<b><u>POBLACIÓN</u></b>  La población o universo de estudio está representado por todos los Niveles de Magistral Norte Unidad Minera Santander – 2022.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Diseño y Alcance de la Investigación	<b><u>MUESTRA</u></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>🚩 ¿La caracterización del macizo rocoso influye en la instalación del cable bolting?</li> <li>🚩 ¿El zoneamiento de las labores mineras subterráneas inciden en la instalación de los cables bolting?</li> <li>🚩 ¿Los indicadores económicos incidirán en la instalación de los cables bolting?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>🚩 Evaluar la caracterización del macizo rocoso que influye en la instalación del cable bolting.</li> <li>🚩 Determinar el zoneamiento de las labores mineras subterráneas que inciden en la instalación de los cables bolting.</li> <li>🚩 Determinar los indicadores económicos para la instalación de los cables bolting</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>🚩 La caracterización del macizo rocoso influye en la instalación del cable bolting</li> <li>🚩 El zoneamiento en las labores mineras subterráneas incide en la instalación de los cables bolting.</li> <li>🚩 Los indicadores económicos inciden en la instalación de los cables bolting.</li> </ul>	La investigación que se desarrolla es:  No experimental de corte transversal.	La muestra está compuesta por el Nv 4510 de Magistral Norte de la Unidad Minera Santander donde se realizará la investigación.



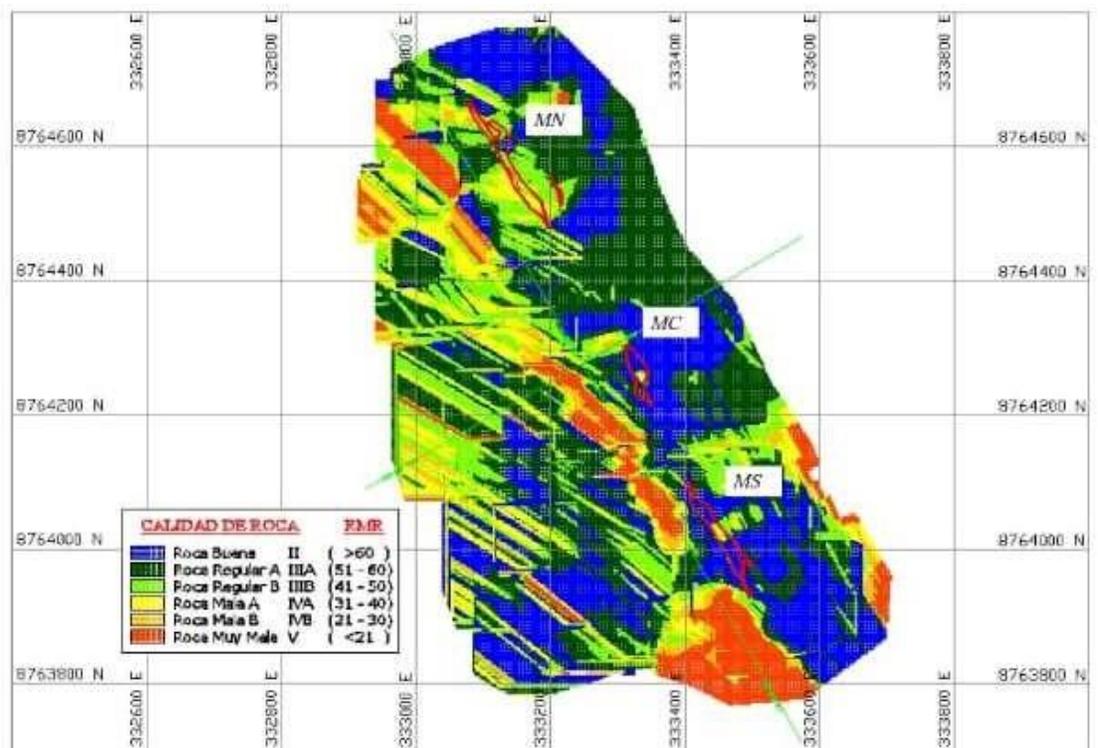
## ANEXO N° 04: ACRÓNIMOS

1. RQD : Rock Quality Design
2. RMR : Rock Mass Rating
3. GSI : Geological Strength Index
4. MPa : Mega Pascales
5. RCU : Resistencia a la compresión uniaxial.
6. BUZ : Buzamiento
7. DIP DIR : Dirección de buzamiento.
8. NE : Noreste.
9. N : Norte.
10. E : Este.
11. W : Oeste.
12. S : Sur.
13. UTM : Universal Transverse Marcator.
14. cm. : Centímetros.
15. m. : Metro.
16. mm. : Milímetros. (Pacco, 2019).

**ANEXO N° 05: CRITERIO PARA LA CLASIFICACION DE LA MASA  
ROCOSA**

<b>Tipo de roca</b>	<b>Rango RMR</b>	<b>Rango Q</b>	<b>Calidad según RMR</b>
II	> 60	> 5.92	Buena
IIIA	51 – 60	2.18 – 5.92	Regular A
IIIB	41 – 50	0.72 – 1.95	Regular B
IVA	31 – 40	0.24 – 0.64	Mala A
IVB	21 – 30	0.08 – 0.21	Mala B
V	< 21	<0.08	Muy Mala

## ANEXO N° 06: ZONIFICACION GEOMECANICA MAGISTRAL NORTE, MAGISTRAL CENTRO, MAGISTRAL SUR



## ANEXO N° 07: ESTRUCTURA DE PRECIOS UNITARIOS CABLE BOLTING DE 6.5M

### ESTRUCTURA DE PRECIOS UNITARIOS CABLE BOLTING (6.5 m.) - EQUIPO TH Y TENSADO

<b>Perforacion de Produccion</b>	<b>20.00</b>	<b>taladros/guardia</b>			
Taladros perforados - Precorte		tal/tajeo			
Taladros perforados - Produccion	20	tal			
m por taladro	7	m/tal			
Taladros Alivio	0	tal/gdia			
Total perforado	140	m			
<b>Equipos de Perforacion</b>					
Rendimiento de Simba	100	m/gdia			
Horas Trabajadas SIMBA	7	hr/gdia			
Consumo de Petroleo	1.50	Gal/hr			
Dias trabajados	30	dias	Horas por dia	10.28	Horas

Item	Descripcion	Unidad	Cantidad	Cantidad	Costo Unitario	Vida Util	Costo Parcial	Costo Total Sin Explosivo
			(Personas)		US\$/Unidad		US\$/gdia	US\$/m
<b>1.00 PERFORACION</b>							<b>3,167.52</b>	<b>22.40</b>
<b>1.01 Mano de Obra</b>							<b>313.57</b>	
Operador Simba		Gdia	1.29	1.00	62.17		79.89	
Ayudante Operador Simba		Gdia	1.29	1.00	37.30		47.93	
Maestro Sosteniimiento		Gdia	1.29	1.00	43.52		55.92	
Ayudante Sosteniimiento		Gdia	1.29	2.00	34.19		87.88	
Operador Telehandlers		Gdia	1.29	0.75	43.52		41.94	
<b>1.02 Aceros de Perforacion</b>							<b>1,422.66</b>	
Barra SP T38-RD38-T38 x 4"		p.p		459.20	0.75		346.43	
Broca Retractil FP T38 x 64MM		p.p		459.20	0.33		150.56	
Shank COP 1838/1638 T38 x 435 MM		p.p		459.20	0.07		31.71	
Copas de Afiliado		Jgo		153.07	0.22		33.95	
Aguzadora de copas		Pza		76.53	0.21		15.77	
Manguera de 1" ( 100 m)		m		100.00	0.00		0.00	
Tubería HDPE SDR 11 PN16 25mm		m		147.00	0.64		94.35	
Lechada de cemento		kg		1,360.00	0.14		190.63	
Cable de acero		m		130.00	2.77		360.56	
Planchas (placas, cuña, barriil)		Jgo		20.00	9.94		198.72	
<b>1.03 Equipos</b>							<b>1,415.62</b>	
Simba		hr.		7.00	164.38		1,150.63	
Combustible		Gal		5.25	2.47		12.97	
Telehandler		hr.		7.00	27.00		189.00	
Combustible		Gal		7.70	2.47		19.02	
Bomba De Inyección		hr		5.00	4.00		20.00	
Hilti		hr		4.00	1.50		6.00	
Equipo Tensador (gata hidraulica)		hr		6.00	3.00		18.00	
<b>1.04 Herramientas y EPP</b>							<b>15.68</b>	
Implementos de seguridad		Gdia	5.00	1.00	1.82		9.12	
Herramientas		Gdia	1.00	1.00	4.04		4.04	
Lamparas Mineras		Gdia	5.00	1.00	0.50		2.51	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (US\$/m)</b>								<b>22.40</b>
Utilidad Costo Directo					10%			2.24
Gastos Generales					21.6%			4.83

## ANEXO N° 08: ESTRUCTURA DE PRECIOS UNITARIOS CABLE BOLTING DE 10 M

### ESTRUCTURA DE PRECIOS UNITARIOS CABLE BOLTING (10 m.) - SIN EQUIPOTH Y TENSADO

<b>Perforacion de Produccion</b>	<b>13.00</b>	<b>taladros/guardia</b>		
Taladros perforados - Precorte		tal/tajeo		
Taladros perforados	13	tal		
m por taladro	10	m/tal		
Taladros Alivio	0	tal/gdia		
Total perforado	130	m		
<b>Equipos de Perforacion</b>				
Rendimiento de Simba	100	m/gdia		
Horas Trabajadas SIMBA	7	hr/gdia		
Consumo de Petroleo	1.50	Gal/hr		
Dias trabajados	30	dias	Horas por dia	10.28 Horas

Item	Descripcion	Unidad	Cantidad	Cantidad	Costo Unitario	Vida Util	Costo Parcial	Costo Total Sin Explosivo
			(Personas)		US\$/Unidad		US\$/gdia	US\$/m
<b>1.00 PERFORACION</b>							<b>2,871.35</b>	<b>21.99</b>
<b>1.01 Mano de Obra</b>							<b>271.62</b>	
Operador Simba		Gdia	1.29	1.00	62.17		79.89	
Ayudante Operador Simba		Gdia	1.29	1.00	37.30		47.93	
Maestro Sostenimiento		Gdia	1.29	1.00	43.52		55.92	
Ayudante Sostenimiento		Gdia	1.29	2.00	34.19		87.88	
<b>1.02 Aceros de Perforacion</b>							<b>1,380.93</b>	
Barra SP T38-RD38-T38 x 4"		p.p		459.20	0.75		346.43	
Broca Retractil FP T38 x 64MM		p.p		459.20	0.33		150.56	
Shank COP 1838/1638 T38 x 435 MM		p.p		459.20	0.07		31.71	
Copas de Afilado		Jgo		153.07	0.22		33.95	
Aguzadora de copas		Pza		76.53	0.21		15.77	
Manguera de 1" ( 100 m)		m		100.00	0.00		0.00	
Tubería HDPE SDR 11 PN16 25mm		m		149.50	0.64		95.95	
Lechada de cemento		kg		1,547.00	0.14		216.84	
Cable de acero		m		130.00	2.77		360.56	
Planchas (placas, cuña, barril)		Jgo		13.00	9.94		129.17	
<b>1.03 Equipos</b>							<b>1,210.10</b>	
Simba		hr.		7.00	164.38		1,150.63	
Combustible		Gal		5.25	2.47		12.97	
Bomba De Inyección		hr		6.00	4.00		24.00	
Hilti		hr		5.00	1.50		7.50	
Equipo Tensador (gata hidraulica)		hr		5.00	3.00		15.00	
<b>1.04 Herramientas y EPP</b>							<b>8.70</b>	
Implementos de seguridad		Gdia	2.00	1.00	1.82		3.65	
Herramientas		Gdia	1.00	1.00	4.04		4.04	
Lamparas Mineras		Gdia	2.00	1.00	0.50		1.00	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (US\$/m)</b>								<b>21.99</b>
Utilidad Costo Directo					10%			2.20
Gastos Generales					21.6%			4.74
<b>COSTO TOTAL (US\$/m)</b>								<b>28.84</b>

## ANEXO N° 09: ESTRUCTURA DE PRECIOS UNITARIOS CABLE BOLTING DE 15 M

### ESTRUCTURA DE PRECIOS UNITARIOS CABLE BOLTING (15 m.) - SIN EQUIPOTH Y TENSADO

<b>Perforacion de Produccion</b>	<b>8.00</b>	<b>taladros/guardia</b>			
Taladros perforados - Precorte		tal/tajeo			
Taladros perforados	8	tal			
m por taladro	15	m/tal			
Taladros Alivio	0	tal/gdia			
Total perforado	120	m			
<b>Equipos de Perforacion</b>					
Rendimiento de Simba	100	m/gdia			
Horas Trabajadas SIMBA	7	hr/gdia			
Consumo de Petroleo	1.50	Gal/hr			
Dias trabajados	30	dias	Horas por dia	10.28	Horas

Item	Descripcion	Unidad	Cantidad	Cantidad	Costo Unitario	Vida Util	Costo Parcial	Costo Total
			(Personas)		US\$/Unidad		US\$/gdia	Sin Explosivo
								US\$/m
<b>1.00 PERFORACION</b>							<b>2,764.78</b>	<b>22.93</b>
<b>1.01 Mano de Obra</b>							<b>271.62</b>	
Operador Simba		Gdia	1.29	1.00	62.17		79.89	
Ayudante Operador Simba		Gdia	1.29	1.00	37.30		47.93	
Maestro Sostenimiento		Gdia	1.29	1.00	43.52		55.92	
Ayudante Sostenimiento		Gdia	1.29	2.00	34.19		87.88	
<b>1.02 Aceros de Perforacion</b>							<b>1,250.86</b>	
Barra SP T38-RD38-T38 x 4"		p.p		459.20	0.75		346.43	
Broca Retractil FP T38 x 64MM		p.p		459.20	0.33		150.56	
Shank COP 1838/1638 T38 x 435 MM		p.p		459.20	0.07		31.71	
Copas de Afilado		Jgo		153.07	0.22		33.95	
Aguzadora de copas		Pza		76.53	0.21		15.77	
Manguera de 1" ( 100 m)		m		100.00	0.00		0.00	
Tubería HDPE SDR 11 PN16 25mm		m		138.00	0.64		88.57	
Lechada de cemento		kg		1,224.00	0.14		171.57	
Cable de acero		m		120.00	2.77		332.82	
Planchas (placas, cuña, barril)		Jgo		8.00	9.94		79.49	
<b>1.03 Equipos</b>							<b>1,233.60</b>	
Simba		hr.		7.00	164.38		1,150.63	
Combustible		Gal		5.25	2.47		12.97	
Bomba De Inyección		hr		10.00	4.00		40.00	
Hilti		hr		8.00	1.50		12.00	
Equipo Tensador (gata hidraulica)		hr		6.00	3.00		18.00	
<b>1.04 Herramientas y EPP</b>							<b>8.70</b>	
Implementos de seguridad		Gdia	2.00	1.00	1.82		3.65	
Herramientas		Gdia	1.00	1.00	4.04		4.04	
Lamparas Mineras		Gdia	2.00	1.00	0.50		1.00	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (US\$/m)</b>								<b>22.93</b>
Utilidad Costo Directo					10%			2.29
Gastos Generales					21.6%			4.95
<b>COSTO TOTAL (US\$/m)</b>								<b>30.08</b>