

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



TESIS

**ESTUDIO GEOMECÁNICO PARA EL SOSTENIMIENTO EN EL
CRUCERO 8753N DE LA ZONA MERCEDES NIVEL 650 DE LA
MINA SAN JUAN DE CHORUNGA - AREQUIPA**

PRESENTADO POR:

Br. BILL RAMOS CRUZ

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

ASESOR:

ING. MÁXIMO VICTOR MAYTA LINO

CUSCO – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
VICE RECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe asesor del trabajo de investigación titulado: "ESTUDIO GEOMECÁNICO PARA EL SOSTENIMIENTO EN EL CRUCERO 8753N DE LA ZONA MERCEDES NIVEL 650 DE LA MINA SAN JUAN DE CHORUNGA - AREQUIPA"


Presentado por **BILL RAMOS CRUZ**, con DNI 74828137 para optar al Título Profesional de: **INGENIERO DE MINAS**. Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 (Tres) veces, mediante el software antiplagio Turnitin, conforme al Artículo 6° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de: **10 % (Diez por ciento)**.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación, tesis, textos, libros, revistas, artículos científicos, material de enseñanza y otros (Art. 7, inc. 2 y 3)

Porcentaje	Evaluación y acciones.	Marque con una X
Del 1 al 10 %	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30%	Devolver al usuario para las correcciones.	_____
Mayores a 31 %	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a ley.	_____

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software antiplagio.

Cusco, 25 de mayo de 2024.



FIRMA

POST FIRMA: Ing. Máximo Víctor Mayta Lino
DNI Nro.: 23956885

ORCID ID: 0000-0002-9935-5754

Se adjunta:

1. Reporte Generado por el sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio:
<https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:357195274?locale=es-MX> ✓

NOMBRE DEL TRABAJO

ESTUDIO GEOMECÁNICO PARA EL SOSTENIMIENTO EN EL CRUCERO 8753N DE LA ZONA MERCEDES NIVEL 650 DE LA MI

AUTOR

BILL RAMOS CRUZ

RECUENTO DE PALABRAS

19248 Words

RECUENTO DE CARACTERES

111812 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

131 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.5MB

FECHA DE ENTREGA

May 25, 2024 2:02 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 25, 2024 2:04 PM GMT-5

● 10% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de trabajos entregados
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 30 palabras)
- Material bibliográfico
- Material citado
- Fuentes excluidas manualmente

DEDICATORIA

A mi madre que desde el momento que me trajo al mundo ha sabido formarme con buenos sentimientos, valores y amor lo cual me ha ayudado y lo sigue haciendo a seguir adelante en los momentos difíciles.

A mi hermana que desde el cielo me protege e ilumina para seguir adelante con mis proyectos.

También dedico a mis padrinos de bautizo que siempre estuvieron pendiente en mis estudios, dando el soporte en los momentos que más necesitaba y poder llegar a ser un ejemplo de la familia.

AGRADECIMIENTOS

El principal agradecimiento a Dios por darme siempre la fuerza para continuar en lo adverso, por guiarme por el buen camino y entregarme la sabiduría para mejorar día a día como profesional.

A la Universidad nacional de San Antonio Abad de Cusco, alma mater conjuntamente a la escuela profesional de ingeniería de minas por brindarme la formación académica.

A mi familia por su comprensión, orientación y todo el apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.

Al mismo tiempo quiero agradecer fraternamente a mis docentes de la escuela profesional de ingeniería de minas por brindar sus conocimientos, tiempo y apoyo en la etapa de formación académica. En especial a mi asesor de tesis Ing. Máximo Víctor Mayta Lino, por su esfuerzo y dedicación.

Y toda las personas, amigos y compañeros que de una y otra forma me apoyaron en la realización de este trabajo.

INTRODUCCIÓN

La mina San Juan de Chorunga, ubicada en la región de Arequipa, enfrenta desafíos significativos en sus operaciones debido a las características geológicas y condiciones subterráneas presentes en la zona Mercedes, nivel 650. Las labores de avance y sostenimiento se ven afectadas por el tipo de roca y el drenaje constante de aguas subterráneas, lo que resulta en demoras significativas y altos costos operativos debido al consumo elevado de mallas y pernos. Estos problemas son especialmente críticos en el crucero 8753N, donde se ha observado un uso excesivo de mallas de 4x4", pernos helicoidales y Splitset. Esta situación no solo incrementa los costos y la duración de las labores de sostenimiento, sino que también genera incertidumbre respecto a la seguridad del personal y la continuidad de las operaciones mineras. Las alteraciones de la roca debido a la presencia de agua y la ubicación en una zona de falla geológica con cuñas y vetas son factores que contribuyen a estos desafíos.

En este contexto, es esencial realizar un estudio técnico y geomecánico para identificar los factores que influyen en la selección adecuada del sostenimiento en el crucero 8753N. Este estudio permitirá determinar las mejores opciones para optimizar el sistema de sostenimiento y garantizar la seguridad y eficiencia de las operaciones mineras. La formulación del problema de investigación se centra en las implicancias de un estudio geomecánico para el diseño del sostenimiento en el crucero 8753N y en identificar los factores geomecánicos que deben considerarse. Además, se busca determinar el tipo de sostenimiento más adecuado y los costos asociados con su aplicación.

RESUMEN

El proyecto de investigación se concentra en el diseño de sistemas de sostenimiento para la Mina San Juan de Chorunga en Arequipa, específicamente en el crucero 8753N, nivel 650. El objetivo primordial es realizar un análisis exhaustivo del diseño de sostenimiento en la mina, con un enfoque en la seguridad y la eficiencia operativa. Para ello, se emplean pasos estandarizados para la recolección y análisis de datos geomecánicos, utilizando tanto métodos empíricos como numéricos. Los resultados obtenidos son de vital importancia, ya que proporcionan una evaluación detallada de la calidad del macizo rocoso y determinan el tipo de sostenimiento más adecuado para la zona en estudio. Se destaca la relevancia de llevar a cabo un estudio geomecánico riguroso, el cual permite fundamentar las decisiones relacionadas con el sostenimiento de manera sólida y confiable. En este sentido, se recomienda una combinación de pernos helicoidales, Swellex, malla metálica electrosoldada, shotcrete y otros materiales, los cuales se adaptan de manera óptima a las condiciones geológicas y geomecánicas específicas de la mina. Además, el análisis incluye datos cuantitativos relevantes, como los costos asociados al sostenimiento. Se presenta una tabla detallada que describe los trabajos a realizar, los precios unitarios y la cantidad de trabajos, lo que suma un total de 27886.34 soles. Esta información permite tener una visión clara de la inversión necesaria para implementar el sostenimiento recomendado, asegurando al mismo tiempo la seguridad y la continuidad de las operaciones mineras.

Palabras Clave: Sostenimiento, Geomecánica, Seguridad, Eficiencia

ABSTRACT

The research project focuses on the design of support systems for the San Juan de Chorunga Mine in Arequipa, specifically in crosscut 8753N, level 650. The primary objective is to carry out an exhaustive analysis of the support design in the mine, with a focus on safety and operational efficiency. To achieve this, standardized steps are used for the collection and analysis of geomechanical data, using both empirical and numerical methods. The results obtained are of vital importance, since they provide a detailed evaluation of the quality of the rock mass and determine the most appropriate type of support for the area under study. The relevance of carrying out a rigorous geomechanical study is highlighted, which allows supporting decisions related to sustainment in a solid and reliable manner. In this sense, a combination of helical bolts, Swellex, electrowelded metal mesh, shotcrete and other materials is recommended, which are optimally adapted to the specific geological and geomechanical conditions of the mine. Additionally, the analysis includes relevant quantitative data, such as costs associated with sustainment. A detailed table is presented that describes the work to be performed, the unit prices and the number of works, which adds up to a total of 27886.34 soles. This information allows for a clear view of the investment necessary to implement the recommended maintenance, while ensuring the safety and continuity of mining operations.

Keywords: Support, Geomechanics, Safety, Efficiency

ÍNDICE

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
INTRODUCCIÓN	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
1. CAPÍTULO I	18
PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.2.1. PROBLEMA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.3. JUSTIFICACIÓN	19
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.5.1. DELIMITACIÓN.....	20
2. CAPÍTULO II	21
MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	21

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.1.1.	ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	21
2.1.2.	ANTECEDENTES NACIONALES	22
2.2.	BASES TEÓRICAS	23
2.2.1.	MODELO GEOMECANICO	23
2.2.2.	MECANICA DE ROCAS	23
2.2.3.	CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO.....	24
2.2.4.	ROCK MASS RATING (RMR)	26
2.2.5.	RQD (Rock Quality Designation).....	27
2.2.6.	INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI – GEOLOGICAL STRENGH INDEX).	29
2.2.7.	CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO.....	31
2.2.8.	TIPOS COMUNES DE SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO DE TERRENOS	34
2.2.9.	COMPARACIÓN DE LA ZONA DE ANCLAJE Y LA RESISTENCIA MÍNIMA DE LOS TIPOS DE SOSTENIMIENTO.....	36
2.2.10.	EFFECTOS DE LOS ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO	37
2.2.11.	FUNCIONES DE LOS PERNOS PARA ROCA	41
2.2.12.	ACCESORIOS Y ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO ADICIONAL	44
2.3.	HIPÓTESIS	46

2.3.1.	HIPÓTESIS GENERAL	46
2.3.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	46
2.4.	VARIABLES E INDICADORES	47
2.4.1.	VARIABLE DEPENDIENTE	47
2.4.2.	VARIABLE INDEPENDIENTE	47
2.5.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	47
3.	CAPÍTULO III.....	48
	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	48
3.2.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	48
3.3.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
3.4.	POBLACIÓN	48
3.5.	MUESTRA	49
3.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE CAPTURA DE INFORMACIÓN.....	49
3.6.1.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	49
3.6.2.	INSTRUMENTACIÓN.....	49
3.7.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS	49
4.	CAPÍTULO IV.....	51
	SOSTENIMIENTO ACTUAL EN LAS GALERÍAS O CRUCEROS	51
4.1.	CRITERIO DE DISEÑO.....	53

4.1.1.	MÉTODO EMPÍRICO DE DETERMINACIÓN DE SOSTENIMIENTO.	61
4.2.	SISTEMA DE SOSTENIMIENTO RECOMENDADO.....	72
4.3.	ESTÁNDAR OPERATIVO DE MAPEO GEOMECÁNICO	75
4.3.1.	ESPECIFICACIONES DEL ESTANDAR	75
4.4.	MAPEO GEOMECÁNICO DEL CRUCERO 8753N	77
4.4.1.	CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI	80
4.5.	SELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO	82
4.5.1.	ESTÁNDAR OPERATIVO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SOSTENIMIENTO CON PERNOS HELICOIDALES, SPLIT SET Y MALLA ELECTROSOLDADA.....	84
4.5.2.	ESTÁNDAR OPERATIVO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SOSTENIMIENTO CON CIMBRAS METÁLICAS	89
4.6.	CUANTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO	92
4.7.	IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL CRUCERO.....	96
4.8.	COSTOS DE SOSTENIMIENTO.....	100
5.	CAPITULO V.....	106
	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	106
	CONCLUSIONES	108
	RECOMENDACIONES	110
	BIBLIOGRAFÍA.....	112

ANEXOS.....	114
ANEXO 1	114
1. ÁMBITO DE ESTUDIO Y GEOLOGÍA.....	114
1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	114
1.2. ACCESIBILIDAD.....	114
1.3. CLIMA Y VEGETACIÓN.....	116
1.4. TOPOGRAFÍA Y DRENAJE	118
1.5. GEOMORFOLOGÍA	119
ESCARPA COSTERA	119
MESETA COSTANERA.....	120
1.6. GEOLOGÍA GENERAL.....	120
1.7. GEOLOGIA REGIONAL	121
COMPLEJO BASAL (PE-gn)	121
GRUPO YURA (JsKi-yu).....	122
FORMACIÓN CACHIOS LABRA (Js-laca).....	122
ROCAS INTRUSIVAS VOLCÁNICAS	123
COMPLEJO BELLA UNIÓN (Kms-bu).....	123
ROCAS INTRUSIVAS PLUTÓNICAS.....	123
BATOLITO DE LA COSTA	123
SÚPER UNIDAD LINGA (ks-gd/mz-li).....	124

1.8.	GEOLOGIA LOCAL	124
	GNEIS (PE-gn)	124
	ROCAS INTRUSIVAS	124
	INTRUSIONES MENORES	125
1.9.	GEOLOGIA ESTRUCTURAL	126
	GENERALIDADES	126
	ZONA ALTAMENTE FRACTURADA	126
	ZONA FALLADA	126
	ZONA DE EMPLAZAMIENTO DEL BATOLITO DE LA COSTA	127
	ZONA DE LA DEPRESION DE CARAVELI	127
1.10	. GEOLOGIA ECONÓMICA	128
	ANÁLISIS GEOLÓGICO ESTRUCTURAL DE LAS VETAS SAN JUAN Y MERCEDES	129
	TIPO Y GÉNESIS DEL YACIMIENTO	131
	ANEXO 2	132
2.	CARTILLA GEOMECÁNICA	132
6.	ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLOGÍA.....	132
7.	PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE AVANCE	133
8.	FACTORES INFLUYENTES	134
9.	PRODUCCIÓN DE MINA EN ZONA MERCEDES	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Tabla rqd – Deere(1968).....	28
Tabla 2:	Tabla de variables.....	47
Tabla 3:	Zonificación por progresiva del proyecto de la rampa	57
Tabla 4:	Cálculo empírico de longitud de pernos de anclaje.....	63
Tabla 5:	Cálculo del fs por la metodología del peso muerto	64
Tabla 6:	Leyenda del cálculo del fs por la metodología del peso muerto	65
Tabla 7:	Determinación cualitativa del sostenimiento.....	65
Tabla 8:	Resumen de sostenimiento para labores mineras De 3x3m.	73
Tabla 9:	Resumen de sostenimiento para labores mineras De 4x4m.	74
Tabla 10:	Elementos de sostenimiento.....	95
Tabla 11:	Costo de sostenimiento	101
Tabla 12:	Accesibilidad.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

figura 1:	Tabla rmr - bienawski	27
figura 2:	Guia de sostenimiento - merrit(1972).....	29
figura 3:	Características gsi – hoek(1994).....	30
figura 4:	Longitud del perno.....	35
figura 5:	Longitud del perno en base al ancho de abertura.....	35
figura 6:	Resistencia mínima de los tipos de sostenimiento.....	36
figura 7:	Resistencia mínima de los tipos de sostenimiento.....	36
figura 8:	Relación longitud - espaciamento.....	37
figura 9:	Vista perfil de anclaje de expansión.....	37
figura 10:	Diagrama perno split set.....	38
figura 11:	Barra corrugada.....	39
figura 12:	Barra corrugada.....	40
figura 13:	Perno autoperforante.....	41
figura 14:	Resistencia en tracción.....	42
figura 15:	Resistencia en tracción.....	42
figura 16:	Efecto cuña.....	43
figura 17:	Perno en roca laminada.....	43

figura 18:	Sostenimiento en bloques.....	44
figura 19:	Sección del crucero.....	52
figura 20:	Vista en planta del proyecto de la rampa.....	54
figura 21:	Vista isométrica rampa proyecto.....	55
figura 22:	Evaluación estructural.....	56
figura 23:	Modelamiento numérico por elementos finitos	66
figura 24:	Sigma δ_1 .-rampa orex.....	67
figura 25:	Sigma δ_3 .-rampa orex.....	68
figura 26:	Strength factor. -rampa orex	69
figura 27:	Strength factor. -rampa orex	70
figura 28:	Total, displacement. -rampa orex.....	71
figura 29:	Plano ubicación 650 zona mercedes	78
figura 30:	Frente del crucero cx8753n.....	79
figura 31:	Herramientas usadas	81
figura 32:	Condiciones del crucero cx8753n.....	82
figura 33:	Diseño de sostenimiento	83
figura 34:	Parámetros geomecánicos de la masa rocosa.....	84
figura 35:	Sostenimiento con cimbra metálica	91
figura 36:	Malla electrosoldada	93
figura 37:	Split set.....	93

figura 38:	Pernos helicoidal.....	94
figura 39:	Taladros cargados en el frente del crucero cx8753n.....	96
figura 40:	Resultados de la voladura	97
figura 41:	Evaluación de la frente pos voladura.....	98
figura 42:	Equipo de acarreo de material.....	99
figura 43:	Ajustado de pernos.....	99
figura 44:	Crucero cx8753n.....	100
figura 45:	Ubicación y acceso.....	116
figura 46:	Geomorfología	119
figura 47:	Meseta costanera.....	120

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: El tipo de roca según la progresión de la rampa.....	58
Gráfica 2: Costos unitarios en función de la progresiva.....	59
Gráfica 3: Costos unitarios en función del tipo de roca	60
Gráfica 4: Incidencia del sostenimiento del proyecto de la rampa.....	61
Gráfica 5: Trabajos a realizar y precios unitarios.....	101
Gráfica 6: Trabajos a realizar y su cantidad.....	102
Gráfica 7: Cantidad vs precio unitario de trabajos realizados.....	103
Gráfica 8: Pareto de los costos totales.....	104
Gráfica 9: Costo total de sostenimiento.....	105

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las labores de avance en la zona mercedes nivel 650 de la mina San Juan de Chorunga, así como las labores auxiliares en las que se desarrolla sostenimiento, presentan ciertas deficiencias debido al tipo de roca y constante drenaje de aguas subterráneas, por lo cual es un gran inconveniente ya que presenta grandes demoras y alta inversión debido al alto consumo de mallas y pernos.

Siendo así un problema general el sostenimiento por los altos costos y gran consumo de materiales; en el caso particular del crucero 8753N , se presentó un consumo excesivo de mallas de 4x4”, pernos helicoidales y Splitset, incrementando los costos y tiempo de duración de los trabajos de sostenimiento para la seguridad del personal y el consiguiente desarrollo normal de las labores de producción, se tiene diagnosticado que el consumo de mallas, pernos helicoidales y Splitset es debido a las alteraciones de la roca por presencia de agua y que se encuentra en una zona de falla geológica, con presencia de cuñas y vetas, lo que genera una incertidumbre en el desarrollo normal y seguro de las labores de sostenimiento; por lo que se requiere de un estudio técnico para dar los alcances de mejora en todo el sistema de sostenimiento ya planificado.

Por lo que se requiere realizar un estudio técnico - geomecánico e identificar los factores que intervienen en la elección adecuada del sostenimiento en el crucero 8753N.

1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

- ¿Qué implicancias tiene un estudio geomecánico para diseñar el sostenimiento en el crucero 8753N de la zona Mercedes Nivel 650 de la mina San Juan de Chorunga?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN

- ¿Cuáles son los factores geomecánicos que se deben considerar para el sostenimiento en el crucero 8753N de la zona Mercedes Nivel 650 de la mina San Juan de Chorunga?
- ¿Cómo elegir el tipo de sostenimiento más adecuado en el crucero 8753N de la zona Mercedes Nivel 650 de la mina San Juan de Chorunga?
- ¿Cuál es el costo de la aplicación del sostenimiento en el crucero 8753N de la zona Mercedes Nivel 650 de la mina San Juan de Chorunga?

1.3.JUSTIFICACIÓN

La presente investigación tiene importancia desde el punto de vista técnico, ya que aportará un estudio detallado y comparativo de las mejores opciones a tomar para la elección de un sistema de sostenimiento adecuado que cumpla con todos los parámetros establecidos y las normas internacionales de diseño y seguridad.

1.4.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar las implicancias de un estudio geomecánico para el sostenimiento en el crucero 8753N de la zona Mercedes Nivel 650 de la mina San Juan de Chorunga.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los factores geomecánicos implicados en el sostenimiento del crucero 8753N de la zona Mercedes Nivel 650 de la mina San Juan de Chorunga.
- Determinar el tipo de sostenimiento más adecuado en el crucero 8753N de la zona Mercedes Nivel 650 de la mina San Juan de Chorunga.
- Determinar los costos implicados en el diseño y aplicación del sostenimiento del crucero 8753N de la zona Mercedes nivel 650 de la mina San Juan de Chorunga

1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. DELIMITACIÓN

Delimitación Geográfica. la investigación se realizó únicamente en el crucero 8753N de la zona Mercedes nivel 650 de la mina San Juan de Chorunga – Arequipa.

Delimitación Temporal. El trabajo de investigación utiliza los datos de los meses Marzo – Mayo del año 2023.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- **BECERRA RAMIREZ & CASTILLO RIAPIRA(2017) “Estudio geomecánico para las minas esperanza y zarzal pertenecientes a la concesión minera fiu – 151, municipio de gameza, boyacá” Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.**

Tesis cuyo objetivo es realizar un estudio geomecánico para un posterior sostenimiento en mina esperanza, donde se encontrará el sostenimiento más adecuado y los materiales que se utilizarán según las características del comportamiento del macizo rocoso.

Se concluye que el comportamiento geomecánico para las minas Esperanza y Zarzal de la concesión minera FIU-151 se da por su calidad, que en general es buena y destacando que en los lugares de Fallamiento tiende a bajar y es media, de las rocas de techo y base que son en las que se realizan los trabajos de sostenimiento se concluye que poseen buena resistencia, muy baja filtración, son compactas, densas y por ende dictan que son aptas en el trabajo de sostenimiento para las minas.

- **HERGENRETH PEREZ (2017) “Consideraciones geomecánicas en el diseño de secciones tipo para un túnel minero” Tesis para optar el título de Magíster en Minería en la Universidad de Oviedo – España**

En la cuál el autor tiene como objetivo que en cuanto a las secciones tipo, la elección de los elementos de sostenimiento se ha visto condicionada por las limitaciones del software de

análisis. En base a lo anterior se han diseñado ocho tipos de sostenimiento, los cuales cubren un amplio espectro de posibles situaciones geotécnicas y estructurales que podrían ser encontradas durante la excavación del túnel.

En conclusión los elementos considerados para los distintos tipos de sostenimiento, consisten en bulos de anclaje repartidos resinados ($\varnothing=32$ mm) con longitudes variables de 25 entre 3 y 5 m, espaciados en patrones que van desde 2 x 2 m a 1 x 1 m; hormigón proyectado reforzado con fibras con espesores que van desde los 30mm a los 250 mm, cerchas metálicas tipo HEB – 180 (TS5A, TS5B y TS6) arriostradas con tresillones y espaciados que varían entre 0,75 y 1 m; además de medidas especiales como los pernos de fibra de vidrio para los casos de control estructural del frente de la excavación o paraguas de pre – sostenimiento para evitar sobre excavaciones de la bóveda en avances posteriores.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

- **QUISPE BASURCO & PORTAL CALDERÓN (2021) “Estudio del sostenimiento activo y pasivo en labores de avance temporales y permanentes en una mina de oro subterránea en la libertad” Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas en la Universidad Privada del Norte – Trujillo .**

Tesis con el objetivo de diferenciar los sostenimiento activo y pasivo según un análisis geomecánico del comportamiento de la roca.

Donde como conclusión describe los diseños de sostenimiento activo y pasivo en las labores de avance temporales en una mina de oro subterránea en la Libertad. Los tipos de sostenimiento que se vienen aplicando en estas labores son: Cuadros de madera, Puntales de madera y Jackpot, WoodPack – JackPack y Split Set con malla electrosoldada.

- GONZALES AYALA (2018) “**Reducción de costos en sostenimiento para labores temporales en roca tipo IIIb con la implementación del sistema de sostenimiento con split set y malla electrosoldada - labor u (-80) v4 145 az - en la unidad minera huanzala, 2018**” Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas en la **Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo – Ancash.**

Tesis donde tiene como objetivo reducir los costos del sostenimiento de labores temporales en roca tipo III, con el uso de pernos split set y malla electrosoldada

Más adelante se demuestra conceptualmente que para una roca regular IIIB en condiciones de esfuerzo de bajo a moderadas que los pernos Split set 7’ logran una capacidad de anclaje eficiente con un factor de seguridad de 1.8, además que dada a la exposición del acero del Split set a la humedad y el agua, y la baja capacidad de anclaje, el Split set es un perno para labores temporales principalmente.

2.2.BASES TEÓRICAS

2.2.1. MODELO GEOMECANICO

Se evalúan las propiedades mecánicas de la roca intacta, de las discontinuidades y del macizo rocoso como tal. Las propiedades mecánicas de los macizos rocosos deben incluir el estudio de parámetros de deformabilidad y de resistencia, a fin de estudiar el comportamiento del macizo rocoso frente a procesos de desestabilización por efecto de la construcción de la obra; esto implica el empleo de criterios de rotura aplicables en función de las características del macizo rocoso. (ZUÑIGA FERNÁNDEZ, 2014)

2.2.2. MECANICA DE ROCAS

Brown, menciona que su desarrollo formal como disciplina en los programas de ingeniería se dio a partir de 1960. Se la reconoce como materia interdisciplinaria con aplicación

en geología e ingeniería de minas, petrología y civil, relacionándose con proyectos de desarrollo energético, transporte e instalaciones de defensa. La mecánica de rocas estudia el comportamiento de las masas de roca y especialmente las propiedades que tienen importancia en la resistencia del material rocoso. Se debe tener cuidado de distinguir entre las propiedades que provienen de una muestra de mano y aquellas obtenidas por medio del estudio del macizo rocoso insitu. (HOEK, KAISER, & BAWDEN, 1995)

2.2.3. CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Los sistemas de clasificación geomecánica son un intento de representar con un solo valor las propiedades de resistencia de un macizo rocoso. El macizo rocoso es usualmente un material altamente anisotrópico y puede ser representado por más de un sistema de clasificación. Desde comienzos de los años 70 se ha extendido el uso de sistemas de calificación y clasificación geotécnica de macizos rocosos, los que emplean un índice de calidad geotécnica para calificar el macizo rocoso y, de acuerdo a esta calificación o “rating”, clasificarlo según su “calidad geotécnica”. (BIENIAWSKI, 1989) Los sistemas de clasificación de la masa rocosa sustituyen a un enfoque para estimar las propiedades de la masa rocosa a gran escala. En la industria minera, el índice GSI y los sistemas RMR y Q son parámetros de entrada para muchos métodos de diseño, así como parámetros de entrada para muchos programas de modelado numérico.

Los sistemas de clasificación del macizo rocoso, constituyen una parte integral del diseño empírico de mina. En los últimos años estos sistemas se han estado usando paralelamente con herramientas analíticas y numéricas. Muchos de las metodologías de trabajo conectan los Índices Geomecánicos a las propiedades del material, como: el Módulo de Elasticidad, los factores m y s del Criterio de Falla de Hoek & Brown, etc. Estos valores están siendo usados como parámetros de entrada en los modelamientos numéricos. Consecuentemente la importancia de la

caracterización geomecánica de Macizos Rocosos ha ido incrementándose con el paso del tiempo. (BIENIAWSKI, 1989)

El Doctor Z.T. Bieniawski en su libro “Engineering Rock Mass Classifications”, plantea los siguientes objetivos:

- Identificar los parámetros más significativos que influyen el comportamiento del Macizo Rocosos.
- Dividir una formación particular del macizo rocoso en grupos de similar comportamiento, es decir, clases de Macizos rocosos con diversas calidades.
- Proporcionar una base para el entendimiento de las características de cada clase de Macizo Rocosos.
- Relacionar las experiencias de condiciones de roca en un determinado sitio con condiciones y experiencias encontradas en otros. Facilitando la planeación y el diseño de estructuras en la roca al proporcionar datos cuantitativos que se necesitan para la solución de problemas de ingeniería.
- Proporcionar una base común de comunicación efectiva para todas las personas interesadas en un problema de geomecánica. Este propósito se lograría si la clasificación:
 - “Es sencilla y significativa en sus términos; y
 - Se apoya en parámetros que se dejan medir y pueden establecerse en el campo de manera rápida y económica”. Así mismo, plantea los siguientes beneficios:
 - Mejorar la Calidad de Investigaciones de Sitio, requiriendo los mínimos datos de entrada como son los parámetros de clasificación.
 - Proporcionar información cuantitativa para propósitos de Diseño
 - Habilitar un mejor juicio de Ingeniería y mayor comunicación efectiva en un proyecto.

El ingeniero debe estimar el valor de clasificación más realístico para los requerimientos de diseño; también, debe tener en cuenta que existen diversas aplicaciones para cada sistema de clasificación geomecánica. A continuación, se describen los sistemas de clasificación más usados en el Perú. (BIENIAWSKI, 1989) En resumen, las Clasificaciones Geomecánicas tienen como objetivo caracterizar un macizo rocoso específico en base a una serie de parámetros a los que se les asignan ciertos valores. A través de la clasificación, se calcula un índice característico de la roca, lo que permite una descripción numérica de su calidad para diversos fines, como la selección de sistemas de soporte, métodos de excavación, etc. Es una herramienta valiosa en el diseño y construcción de obras subterráneas, pero debe usarse con precaución para su correcta aplicación, ya que requiere conocimiento y experiencia por parte del usuario. Las clasificaciones geomecánicas no pretenden sustituir en ningún caso a los estudios analíticos. Sin embargo, en muchos proyectos mineros, las clasificaciones geomecánicas han sido y siguen siendo el procedimiento de diseño sistemático utilizado. Estos sistemas de clasificación serán útiles para determinar la extensión de los dominios geomecánicos en una mina.

2.2.4. ROCK MASS RATING (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, de acuerdo a la tabla Las versiones más usadas son el RMR76 y el RMR89. Ambas incorporan la valoración de parámetros como:

Resistencia de la Roca Intacta.

RQD.

Espaciamiento de discontinuidades.

Condición de discontinuidades.

Figura 1: TABLA RMR - BIENAWSKI

RMR	DESCRIPCIÓN	CLASE	TIPO MEDIO DE AUTO SOSTENIMIENTO	ÁNGULO DE FRICCIÓN DE MASA ROCOSA	COHESIÓN Kpa
0 – 20	Muy pobre	V	30 min / 1 de apertura	< 15°	<100
21 – 40	Pobre	IV	10 horas / 2.5 m de apertura	15 - 25°	100 - 200
41 – 61	Regular	III	1 sem / 5 m de apertura	25 - 35°	200 - 300
61 – 80	Buena	II	1 año / 10 m de apertura	35 - 45°	300 - 400

Fuente: Bienawski

2.2.5. *RQD (Rock Quality Designation)*

Se deben seguir las siguientes recomendaciones para estimar la RQD

- El diámetro del núcleo no debe ser inferior a 50 mm
- Si el núcleo se rompió durante las operaciones de manipulación o perforación (fracturas frescas), las piezas frescas rotas deben ajustarse a su posición original y contarse como una sola pieza
- Los materiales que son obviamente más débiles que la roca circundante, como los rellenos preconsolidados, deben excluirse del conteo, incluso si tienen longitudes superiores a 10 cm
- La longitud de las piezas individuales del núcleo debe medirse a lo largo del eje central del núcleo. De esta manera, las discontinuidades paralelas a la perforación no afectarán a los valores de RQD

- Se sugiere que RQD se determine para longitudes variables en lugar de fijas. En este sentido, se puede determinar en capas individuales, dominios estructurales, zonas de debilidad, etc., lo que indicaría cualquier variabilidad inherente en el subsuelo y proporcionaría una comprensión más precisa de la ubicación y el ancho de las áreas con cero o bajo RQD

El RQD se introdujo hace más de 30 años como un índice de calidad de la roca, cuando la información sobre la calidad de la roca generalmente solo estaba disponible a partir de descripciones geológicas y el porcentaje de recuperación del núcleo.

RQD es una modificación del porcentaje de recuperación de testigos del macizo rocoso, que solo incluye las roturas nuevas que tienen una longitud igual o superior a 100 mm (4 pulgadas).

Este índice cuantitativo ha sido ampliamente utilizado como un indicativo para identificar zonas de mala calidad de la roca, las mismas que necesitan un gran escrutinio y aburridos estudios adicionales en los trabajos de exploración. Para determinación del RQD, la ISRM recomienda recuperar los testigos con una perforadora de diamante de doble barril con un diámetro no menor al NX (54.7 mm). (VASQUEZ, 1993)

Tabla 1: Tabla rqd – Deere(1968)

RQD (%)	Calidad de Roca
< 25	Muy pobre
25 a 50	Pobre
50 a 75	Regular
75 a 90	Buena
90 a 100	Excelente

Fuente: Deere(1968)

2.2.5.1. Guía de sostenimiento.

Se encontró que el RQD puede ser de considerable valor para determinar el sostenimiento de túneles en roca dura. El Comparó los criterios de sostenimiento en función del ancho de la excavación. Esto se resume en la siguiente tabla: Hoy en día, el RQD es usado como un parámetro estándar en el registro de núcleos de perforación y forma un elemento básico de los dos sistemas de clasificación de macizos rocosos más utilizados: RMR y el sistema Q.

Figura 2: GUIA DE SOSTENIMIENTO - MERRIT(1972)

Autor	No necesita sostenimiento o pernos localizados	Diseño de pernos	Marcos de acero
Deere 1970	RQD 50 A 75.	RQD 50 A 75. Espaciado de 1.5 a 1.8 m	RQD 50 a 70 , marcos ligeros , espaciado de 1.5 a 1.8 m alternativa de pernos
		RQD 25 A 50. Espaciado de 0.90 a 1.5 m	RQD 25 a 50 , marcos ligeros , espaciado de 0.90 a 1.5 m alternativa de pernos
			RQD 0 a 25 , marcos ligeros , espaciado de 0.60 a 0.90 m alternativa de pernos
Cecil 1970	RQD 82 A 100.	RQD 52 A 82. Alternativamente hormigón lanzado de 40 a 60 mm de espesor.	RQD 0 a 25 , marcos reforzados con hormigón lanzado.
Merritt 1972	RQD 72 A 100.	RQD 52 A 82. Espaciados de 1.20 a 1.80 m	RQD 0 A 23

Fuente: Merritt (1972)

2.2.6. INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI – GEOLOGICAL STRENGTH INDEX).

(HOEK, KAISER, & BAWDEN, 1995) ,el GSI es un nuevo índice de calidad para macizos rocosos y se basa en la identificación y clasificación en campo de dos características fundamentales: la macro estructura y la condición de las superficies de las discontinuidades, es

estimado a partir de inspecciones visuales del macizo rocoso expuesto en las superficies de excavación, tales como afloramientos, taludes y túneles, proporciona un sistema para estimar la reducción de la resistencia del macizo rocoso para diferentes condiciones geológicas mostradas. La resistencia de un macizo rocoso diaclasado depende de las propiedades de los pedazos de roca intacta y de la libertad de estas para deslizar o girar bajo diferentes condiciones de tensiones.

Esta libertad de desplazamiento está controlada por la forma geométrica de las piezas de roca intacta, así como por las condiciones de las superficies que las separan. Fragmentos angulares de roca con superficies de discontinuidades limpias y rugosas conforman un macizo rocoso más resistente que uno que contienen piezas redondeadas limitadas por material meteorizado y alterado.

Figura 3: CARACTERÍSTICAS GSI – HOEK(1994)

Características del Macizo rocoso para estimar la resistencia a través del GSI Basado en la apariencia de la roca expuesta, el propósito de clasificar que proporciona la mejor descripción de las condiciones reales de las superficies	Superficie	May. Dimension (1)	Distancia (2)	Regularidad (3)	Abertura	Otros datos (4)
ESTRUCTURA Descripción de la Calidad de Superficie						
Maciza e intacta Especialmente de roca intacta o roca maciza maciza con pocas discontinuidades simplemente espaciadas	Diminución del entrelazamiento de las Piezas de Roca	90				
Fractura de Bloques Macizo rocoso no perturbado y muy bien consolidado consistente en bloques cúbicos formados por tres familias ortogonales de discontinuidades.		80	70			
Muy Fracturada de Bloques Macizo rocoso consolidado, parcialmente perturbado con bloques angulares, poliedricos formados por cuatro o más familias de discontinuidades.		60		50		
Fracturada en bloques perturbada agrietada Plegada y/o fallada con bloques angulares formados por intersección de algunas familias de discontinuidades. Entrelazamiento o rugosidad parciales.				40		
Desintegrada Parcialmente consolidada, considerablemente fragmentada con una cohesión.					30	
Crisal/Laminada Carente de cohesión, el espacado es pequeño debido a los débiles planes de discontinuidad o de cisalla.						20
						10
					5	

Fuente: Hoek (1994)

2.2.7. CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO

Sostenimiento se refiere a los métodos utilizados para colocar elementos estructurales con el fin de mejorar la estabilidad y mantener la capacidad de carga de la roca circundante a una excavación. El objetivo es fortalecer y preservar la resistencia de la masa rocosa para que pueda soportarse por sí misma. El sostenimiento puede ser temporal o permanente.

Además, contribuye a:

- Mejorar las condiciones de estabilidad de las excavaciones.
- Minimizar o disminuir la aplicación del sostenimiento.
- Evitar o minimizar el deterioro del sostenimiento.

Consideraciones del diseño de un buen sostenimiento.

• Considere las dimensiones de los trabajos y las zonas de influencia alrededor de estas excavaciones.

- Controlar la estabilidad, que es una función del comportamiento geomecánico y económico del individuo y de los rebajes en general.
- Establecer esquemas y secuencias apropiadas de avance para minimizar la perturbación del macizo rocoso
- Establecer las zonas de influencia de los rebajes.
- La vida útil de los trabajos puede imponer condiciones severas y/o leves.
- Considerar las perturbaciones mineras en las explotaciones adyacentes.
- Analizar la información geológica estructural de la zona.

a. El sostenimiento compresible, Que tiende a oponerse el acercamiento del techo con el piso, apoyándose sobre el piso, (con madera o con elementos metálicos).

b. El sostenimiento suspendido, Que también tiende a oponerse el acercamiento del techo con el piso, pero colgándose a estratos superiores del techo que tienen probabilidades de no moverse, (con pernos de anclaje). (VASQUEZ, 1993)

2.2.7.1. DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA FUNCIÓN QUE CUMPLEN

2.2.7.2. Fortificación activa

Es aquel tipo de sostenimiento que actúa el mismo instante de haberse colocado el sostenimiento. (QUISPE BASURCO & PORTAL CALDERÓN, (2021))

- Sostenimiento activo
- Pernos con resina y/o cemento
- Split set
- Pernos de anclaje
- Pernos y mallas
- Sistemas combinados

2.2.7.3. FORTIFICACIÓN PASIVA

Es aquel que trabaja cuando el terreno actúa sobre el sostenimiento colocado.
(BECERRA RAMIREZ & CASTILLO RIAPIRA, 20179)

Sostenimiento pasivo

Cuadros de madera Cimbras y/o cerchas Wood packs

Gatas a fricción

Shotcrete

Anillos con concreto

Sistemas combinados

2.2.7.4. DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL TIEMPO DE USO DEL SOPORTE

El fortalecimiento implica proteger o reforzar el entorno de una excavación subterránea utilizando elementos de soporte como marcos, mallas, puntales, pernos, concreto proyectado o una combinación de ellos. La fortificación en las operaciones mineras es una actividad crucial para garantizar la seguridad en el trabajo subterráneo, por lo tanto, quienes tienen la responsabilidad de llevarla a cabo deben asegurarse de realizar su labor de manera adecuada. (LIMAS SAMANIEGO & MOLINA VERA, 2021)

La fortificación en labores mineras tiene los siguientes objetivos básicos:

- Evitar derrumbes
- Proteger a los trabajadores, equipos, herramientas y materiales
- Evitar deformaciones de las labores subterráneas

La fortificación se realiza en todas las labores mineras tales como:

- Galerías
- Chimeneas
- Rampas
- Tajos (temporal)

Un sistema de soporte incluye una combinación de elementos en el cual cada uno de ellos provee una o más de las funciones descritas anteriormente. Algunos elementos actúan en paralelo y disipan la energía de deformación sinérgicamente mientras que otros actúan en serie por transferencia de cargas entre los elementos de soporte (malla-pernos o shotcrete-pernos). La interacción entre los elementos del sistema de soporte determinará la capacidad del sistema de fortificación. Para determinar el diseño de soporte más adecuado, se utilizan varios sistemas de

clasificación geotécnica para macizos rocosos, como el RMR de Bieniawski, Barton Q y otros, basados principalmente en las propiedades mecánicas y/o estructurales de los macizos rocosos.

(GONZALES AYALA, 2018)

2.2.7.5. Fortificación para un corto tiempo

Es un sistema de soporte (menos de un año) que se caracteriza por instalarse inmediatamente después de la explosión (detonación) de la cara. Proporciona seguridad inmediata al personal y a los equipos, evitando el deterioro prematuro del macizo rocoso.

Ejemplo: pernos con anclajes, pernos de fricción, mallas, etc. (GONZALES AYALA, 2018)

2.2.7.6. Fortificación definitiva

Se colocan con el objetivo de garantizar la estabilidad de las labores y sus singularidades, y se instalan después de los disparos de avance para toda la duración del proyecto. Algunos ejemplos de sistemas de soporte son cables de acero, pernos con resina o cementados, shotcrete, cimbras y otros. (GONZALES AYALA, 2018)

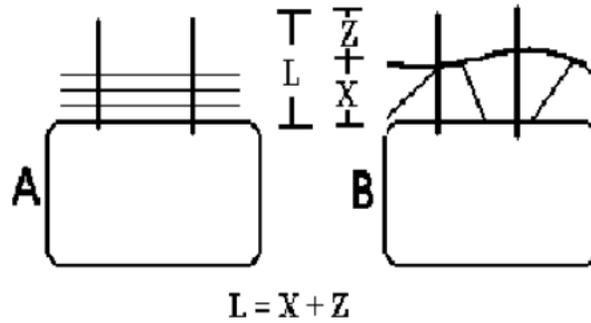
2.2.8. TIPOS COMUNES DE SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO DE TERRENOS

Determinación de longitud de pernos de roca

Longitud del elemento de sostenimiento respecto a la zona anclaje

$L = \text{profundidad de las capas (X)} + \text{Zona anclaje (Z)}$

Figura 4: LONGITUD DEL PERNO



Fuente: (GONZALES AYALA, 2018)

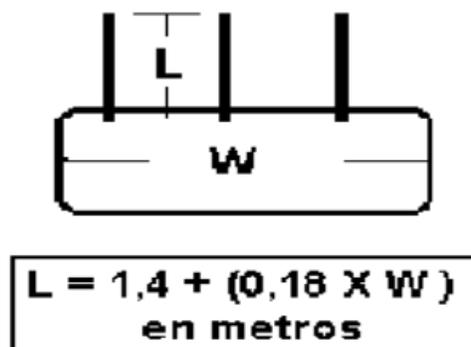
Longitud del elemento de sostenimiento respecto al ancho de la abertura

$$L = 1,4 + (0,18 \times W)$$

L = longitud del perno (m)

W= ancho de la abertura (m)

Figura 5: LONGITUD DEL PERNO EN BASE AL ANCHO DE ABERTURA

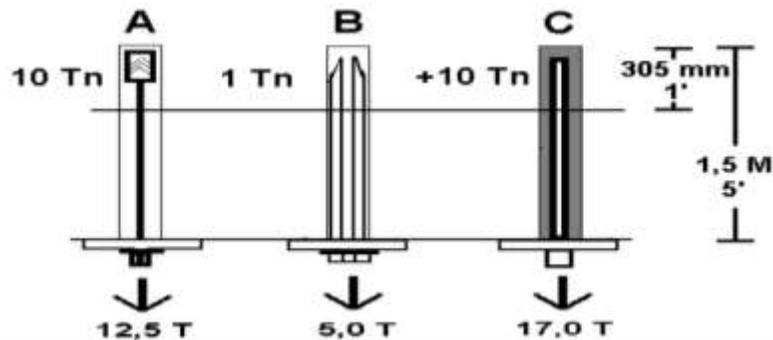


Fuente: (GONZALES AYALA, 2018)

**2.2.9. COMPARACIÓN DE LA ZONA DE ANCLAJE Y LA RESISTENCIA
MÍNIMA DE LOS TIPOS DE SOSTENIMIENTO**

La resistencia en tracción y la capacidad de la zona de anclaje máxima de los sistemas de sostenimiento medido por una profundidad de 1,5 m (5 pies) y por 305 mm (1 pie) del extremo de la instalación (LIMAS SAMANIEGO & MOLINA VERA, 2021)

Figura 6: RESISTENCIA MÍNIMA DE LOS TIPOS DE SOSTENIMIENTO



Nota: Donde: Perno A: Anclaje, Perno B: Split set C: Perno, Cementado

Figura 7: RESISTENCIA MÍNIMA DE LOS TIPOS DE SOSTENIMIENTO

ZONA DE ANCLAJE DE LOS ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO		
Elemento	zona anclaje (Z)	resistencia toneladas
Pernos con anclajes 16 – 19 mm	305mm(12")	10,0
Pernos Cementados 19 – 22 mm	450mm (18")	15,0
"Split Set" 39mm	915mm (36")	3,0
Cable de Acero	610mm (24")	22,0

Fuente: (GONZALES AYALA, 2018)

Colocación y espaciamento de los elementos de sostenimiento

$L \setminus E = 1.5 - 2.0$

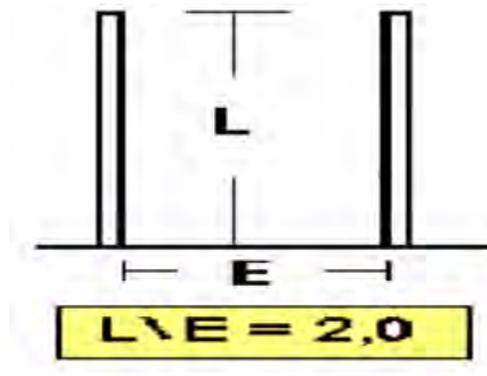
1.5 terreno regular

2.0 terreno malo

L = longitud del perno

E = espaciamento de los pernos

Figura 8: RELACIÓN LONGITUD - ESPACIAMIENTO



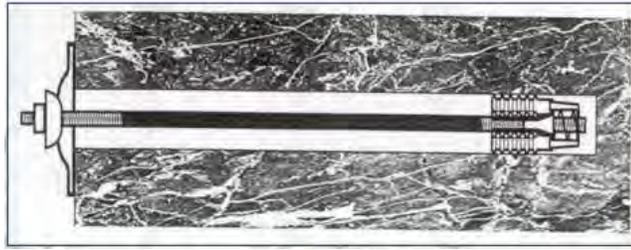
Fuente: (GONZALES AYALA, 2018)

2.2.10. EFECTOS DE LOS ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO

2.2.10.1. PERNOS CON ANCLAJE DE EXPANSIÓN

El uso de un perno de roca de anclaje de expansión controla el movimiento o desplazamiento de la masa rocosa al inducir presión de tensión en la barra entre el anclaje y la placa de soporte. Este tipo de soporte produce una tensión de aproximadamente 3.5 Tn y tiene una resistencia en tracción (ROTURA) máxima de 12,5 Tn. Utilizado generalmente en las estructuras de roca masiva con bloques o estratos. (BECERRA RAMIREZ & CASTILLO RIAPIRA, 20179)

Figura 9: VISTA PERFIL DE ANCLAJE DE EXPANSIÓN

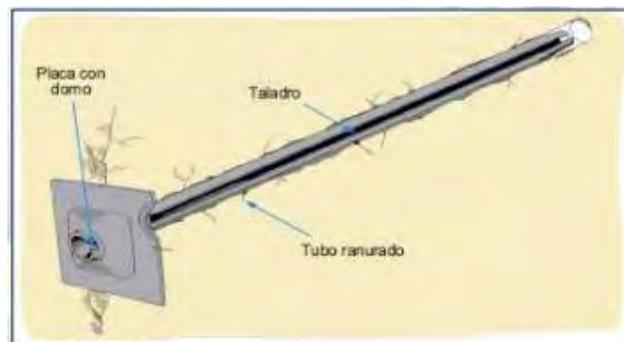


Fuente: (GONZALES AYALA, 2018)

2.2.10.2. ESTABILIZADORES DE FRICCIÓN

Estabilizadores de fricción están constituidos por un trozo de tubo de acero más ancho que el diámetro de la perforación y que es partido a lo largo por el centro. La fricción ejercida por los costados del perno lo mantiene en su lugar creando fuerzas que se extiendan radicalmente. Este proceso provee la fuerza de fricción (1 Tn/pie) que actúa previniendo el movimiento o separación del terreno. Utilizado generalmente en roca severamente agrietada o fracturada sujeta a condiciones de baja tensión.

Figura 10: DIAGRAMA PERNO SPLIT SET



Fuente: (ZUÑIGA FERNÁNDEZ, 2014)

El perno split set es un tipo de sostenimiento metálico considerado TEMPORAL que trabajan por fricción (resistencia al deslizamiento) a lo largo de toda la longitud del taladro,

consiste de un tubo ranurado a lo largo de su longitud, uno de los extremos es ahusado y el otro lleva un anillo soldado para mantener la platina, al ser introducido el perno a presión dentro de un taladro de menor diámetro, se genera una presión radial a lo largo de toda su longitud contra las paredes del taladro, cerrando parcialmente la ranura durante este proceso, la fricción en el contacto con la superficie del taladro y la superficie externa del tubo ranurado constituye el anclaje, el cual se opondrá al movimiento o separación de la roca circundante al perno, logrando así indirectamente una tensión de carga. (LIMAS SAMANIEGO & MOLINA VERA, 2021)

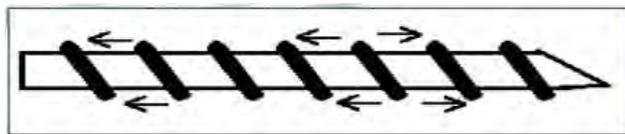
La resistencia estimada del Split Set es de: 1 Tn/pie

- La resistencia puede variar por: Tipo de Roca
- El “Split Set” tiene desempeño favorable en rocas Tipo II y III (RMR >40)

2.2.10.3. BARRA CORRUGADA LECHADA DE RESINA O CEMENTO

Los pernos de acero corrugado, instalados en una lechada de resina o cemento, son capaces de resistir el movimiento del terreno debido a los puntos de contacto del enclavamiento mecánico del perno. La efectividad de la unión entre la resina o lechada y la roca depende de las irregularidades encontradas dentro de la perforación y de la estructura de la roca (- + 10 Tn/pie). Se recomienda su uso en todo tipo de estructuras, ya que ofrece un sostenimiento de alta resistencia y a largo plazo.

Figura 11: BARRA CORRUGADA



Fuente: (ZUÑIGA FERNÁNDEZ, 2014)

2.2.10.4. BARRA HELICOIDAL

Estas barras están hechas de laminado en caliente y tienen resaltes en forma de rosca helicoidal de paso amplio. El diseño de la rosca permite que se pueda colocar una tuerca que pueda deslizarse a lo largo de los resaltes de la barra. Estas barras se utilizan en conjunto con una placa y una tuerca para reforzar y preservar la resistencia natural de los estratos rocosos, suelos o taludes. La inyección de concreto, mortero o resina en la perforación del estrato en que se introduce la barra sirve de anclaje, actuando la rosca como resalte para evitar el desplazamiento de la barra, se produce en longitudes de 5, 6 y 7 pies y diámetro de 22mm. (VASQUEZ, 1993)

La resistencia estimada de la Barra Helicoidal es de: 1.5 a 2.0 Tn/pie

- La resistencia puede variar por Tipo de Roca
- La Barra Helicoidal tiene desempeño favorable en rocas Tipo II y III (RMR >40)

Figura 12: BARRA CORRUGADA



Fuente: (ZUÑIGA FERNÁNDEZ, 2014)

2.2.10.5. PERNOS AUTOPERFORANTES

Son pernos de inyección equipados con hilo grueso, y se pueden usar como barra de perforación desechable, tubería de refuerzo y tubería de inyección, gracias al hilo continuo de la

barra, es posible hacer alargamiento con mangos de acople, utilizar diferentes brocas y tener la capacidad de sujetar con tuercas y una placa. (LIMAS SAMANIEGO & MOLINA VERA, 2021)

Figura 13: PERNO AUTOPERFORANTE



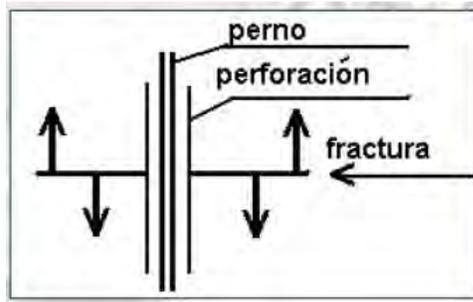
Fuente: (ZUÑIGA FERNÁNDEZ, 2014)

2.2.11. FUNCIONES DE LOS PERNOS PARA ROCA

2.2.11.1. RESISTENCIA EN TRACCIÓN

Estas fracturas y estratos se abren con el tiempo debido a la presión vertical o horizontal, por el efecto de la gravedad en los bloques y con el efecto de las variaciones en la temperatura y humedad en la roca masiva. (VASQUEZ, 1993) La función principal de todos los pernos con el macizo rocoso es la resistencia principal de todo sus movimientos o desplazamientos de la roca. El movimiento general o desplazamiento en terreno duro, suaves este resultado es debido a las fallas, desplazamiento y fracturas.

Figura 14: RESISTENCIA EN TRACCIÓN

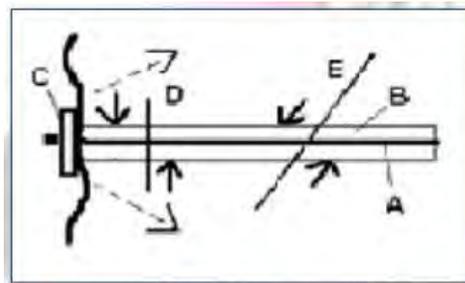


Fuente: (ZUÑIGA FERNÁNDEZ, 2014)

2.2.11.2. RESISTENCIA AL CORTE (CIZALLAR)

La resistencia de un perno en cizalla depende del tipo del perno (A), la lechada utilizada (B) o la ausencia de una lechada. Una aplicación de tensión por el perno(C) adiciona una resistencia en la fricción a través de las fracturas o laminas, (D y E) La resistencia al corte de un perno a 90 grados (D) se calcula normalmente entre el 50 y 80 por ciento de su resistencia en tracción. (GONZALES AYALA, 2018)

Figura 15: RESISTENCIA EN TRACCIÓN

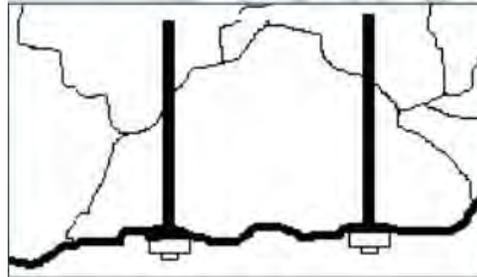


Fuente: (ZUÑIGA FERNÁNDEZ, 2014)

2.2.11.3. CONSOLIDACIÓN DE TERRENOS FRACTURADOS

El papel principal de los pernos de roca en terrenos fracturados es el control de la estabilidad de los bloques y cuñas rocosas potencialmente inestables esto es lo que se llama también el “EFECTO CUÑA” (GONZALES AYALA, 2018)

Figura 16: EFECTO CUÑA

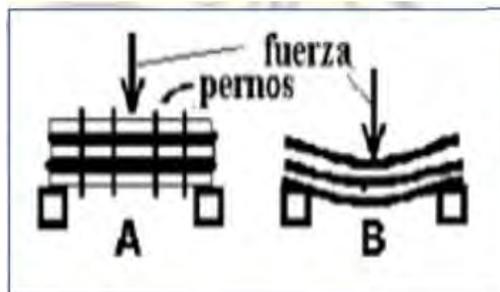


Fuente: (ZUÑIGA FERNÁNDEZ, 2014)

2.2.11.4. CONSOLIDACIÓN DE TERRENOS LAMINADOS

El uso de los pernos para roca de forma “laminada” refuerza los estratos, como el ejemplo (A) Los terrenos laminados sostenido con pernos para roca bajo tensión resisten más el disloque o desplazamiento. (GONZALES AYALA, 2018)

Figura 17: PERNO EN ROCA LAMINADA

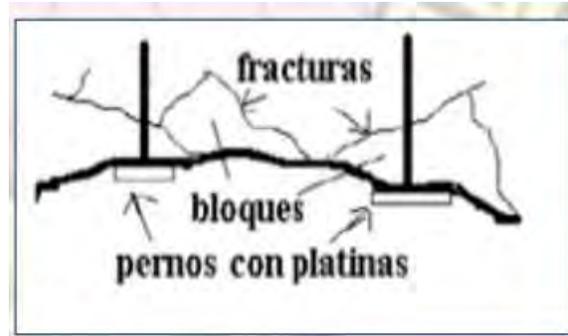


Fuente: (ZUÑIGA FERNÁNDEZ, 2014)

2.2.11.5. SOSTENIMIENTO DE LOS BLOQUES

La acción de los pernos sirve para prevenir la formación de la roca suelta. La colocación de los pernos y la selección de las platinas son de mucha importancia en el sostenimiento de los bloques en terrenos con presencia de fracturas. (GONZALES AYALA, 2018)

Figura 18: SOSTENIMIENTO EN BLOQUES



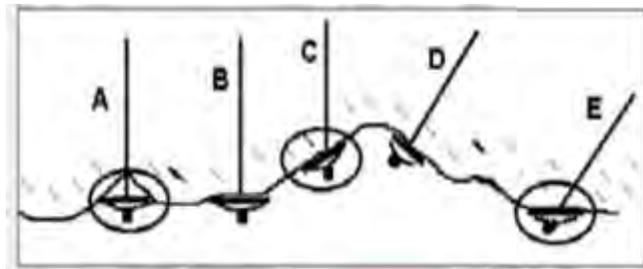
Fuente: (ZUÑIGA FERNÁNDEZ, 2014)

2.2.12. ACCESORIOS Y ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO ADICIONAL

2.2.12.1. PLATINAS DE APOYO

La colocación de la platina de un perno para roca mejorará la fortificación del terreno.

Figura 1: PLATINAS



Fuente: (ZUÑIGA FERNÁNDEZ, 2014)

Los ángulos de un perno con la superficie de la roca deben tener 90 grados o un máximo de inclinación de 10 grados (ejemplos B, D) y la planchuela debe colocarse pegado a la roca (ejemplos no aplicables A, C y E)

2.2.12.2. CINTAS METÁLICAS (STRAPS)

Las placas de acero conformadas en frío se usan comúnmente con pernos de roca cuando se requiere soporte adicional. Los pernos aprietan estas placas contra la roca y las doblan de acuerdo con la forma de las irregularidades de la roca y las formas redondas de los túneles. Las correas proporcionan una gran superficie de confinamiento para rocas sueltas.

En el patrón estándar el diámetro alargado de los orificios es de 40mm. A pedido pueden suministrarse separaciones y diámetros especiales. (GONZALES AYALA, 2018)

2.2.12.3. MALLA DE ALAMBRE

Los elementos de sostenimiento tipo refuerzo o pasivo incluyen las mallas electrosoldadas, las cuales son fabricadas en acero laminado en frío y pueden ser lisas o corrugadas. Estas mallas consisten en alambres o barras que se cruzan entre sí de forma perpendicular y están soldadas en todas sus intersecciones, lo que permite una distribución adecuada de los esfuerzos en el elemento estructural.

Existen diversos tipos de malla electrosoldada, estas pueden ser fabricadas en alambre negro o galvanizado, liso o corrugado; dependiendo de las exigencias de los diseños de sostenimiento de geomecánica, se pueden fabricar en planchas o en rollos. Para una elección correcta del tipo de malla se debe contar con una evaluación geomecánica y con los resultados de las características de la masa rocosa. De estos resultados se desprenden las especificaciones técnicas que debe tener la malla en cuanto a diámetro del alambre, tipo de cocada, recubrimiento, longitud y presentación. (LIMAS SAMANIEGO & MOLINA VERA, 2021)

2.2.12.4. USOS DE LA MALLA DE ALAMBRE

La malla de alambre soldada correctamente elegida evita la caída de rocas al soportar las piezas caídas del macizo rocoso y actuar como refuerzo para el hormigón proyectado. Las mallas

pueden ser instaladas en socavones, pasadizos, trasvase de ríos, erosión de paredes rocosas, taludes, etc. (GONZALES AYALA, 2018)

2.2.12.5. PERNO SPLITSET - SPLITBOLT

El perno de anclaje por fricción Splitbolt es un estabilizador de rocas, el cual es aplicado para el sostenimiento de “labores temporales” en mina. Pertenece a la categoría de pernos por fricción, por lo que su aplicabilidad no contempla la dotación de elementos para fijar el anclaje en la roca. Siendo el propio anclaje capaz de anclarse en la roca por efecto de deformación mecánica dentro de la roca. Su principal aplicación en mina corresponde al sostenimiento de labores de producción: tajos, en los cuales el sostenimiento tiene que ser instalado en forma rápida y que sea capaz de soportar carga una vez sea instalado.

2.2.12.6. PERNO CEMENTADO

Son barras laminadas en caliente con resaltes en forma de rosca helicoidal de amplio paso (BAHE A615-G75). Actúa en conjunto con una placa y una tuerca para reforzar y preservar la resistencia natural que presentan los estratos rocosos, suelos o taludes.

2.3.HIPÓTESIS

2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

- “El estudio geomecánico del crucero 8753N de la zona Mercedes nivel 650 condiciona el sostenimiento más adecuado en la mina San Juan de Chorunga”.

2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La identificación de factores geomecánicos contribuyó para la mejora del sostenimiento en el crucero 8753N de la zona Mercedes nivel 650 de la mina San Juan de Chorunga.

- La identificación de parámetros geomecánicos permite evaluar el mejor tipo de sostenimiento para el crucero 8753N de la zona Mercedes nivel 650 de la mina San Juan de Chorunga.
- Los costos de la aplicación del sostenimiento son los mínimos según el estudio geomecánico que se realizó.

2.4.VARIABLES E INDICADORES

2.4.1. VARIABLE DEPENDIENTE

X: Sostenimiento más adecuado

2.4.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Y: Estudio Geomecánico

2.5.OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 2: Tabla de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
INDEPENDIENTE		
Estudio Geomecánico	RMR - GSI	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis Geomecánico de la Roca (RMR, RQD, GSI)
DEPENDIENTES		
Sostenimiento	Tipo de Sostenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo y Cantidad de Malla(N°)
		<ul style="list-style-type: none"> • Tipo y Cantidad de cimbras(N°)
		<ul style="list-style-type: none"> • Tipo y cantidad de Pernos(N°)
		<ul style="list-style-type: none"> • Costos(\$/m)

Nota: Elaboración Propia

CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es del tipo aplicada y cuantitativa, ya que la investigación a realizar utiliza datos cuantitativos para analizar las labores de sostenimiento del crucero 8753N. Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) “La investigación es del tipo aplicada cuando sirve de base para otras investigaciones y tiene como fin poner en evidencia las bases de la investigación”

Asimismo: “La investigación tiene el enfoque cuantitativo cuando utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis mediante estadística, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar sus teorías”

3.2.NIVEL DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con los alcances de la investigación, la presente investigación es:

Correlacional, ya que tiene como finalidad conocer la relación existente entre dos o más conceptos o variables en una muestra o contexto en particular. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

3.3.DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo con los diseños de la investigación, la presente investigación es:

No experimental, de corte transversal, ya que la recolección de datos se hizo en un solo periodo de tiempo

3.4.POBLACIÓN

La población de la investigación considerada es de las labores de sostenimiento en la zona Mercedes de la mina San Juan de Chorunga.

3.5.MUESTRA

La muestra elegida es la labor del crucero 8753N zona Mercedes nivel 650 de la Mina San Juan de Chorunga.

3.6.TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE CAPTURA DE INFORMACIÓN

3.6.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las principales técnicas que utilizaremos son:

3.6.1.1. Técnicas documentales

- Recolección de datos existentes en la empresa
- Recolección de informes

3.6.1.2. Técnica observacional

- Observación mediante videos de lo recolectado en campo

3.6.1.3. Fuentes bibliográficas

- Libros, estudios realizados en la organización.
- Planos históricos de la operación.

3.6.2. INSTRUMENTOS

Ficha documental.

Fotografías

Videos

planos

3.7.TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

La información recolectada será evaluada y analizada con el objetivo de identificar los parámetros en la operación para lo cual se hará uso de:

Microsoft Excel.

Macros en Excel.

Microsoft Project.

AutoCAD.

Rockscience

Microsoft Office

CAPÍTULO IV

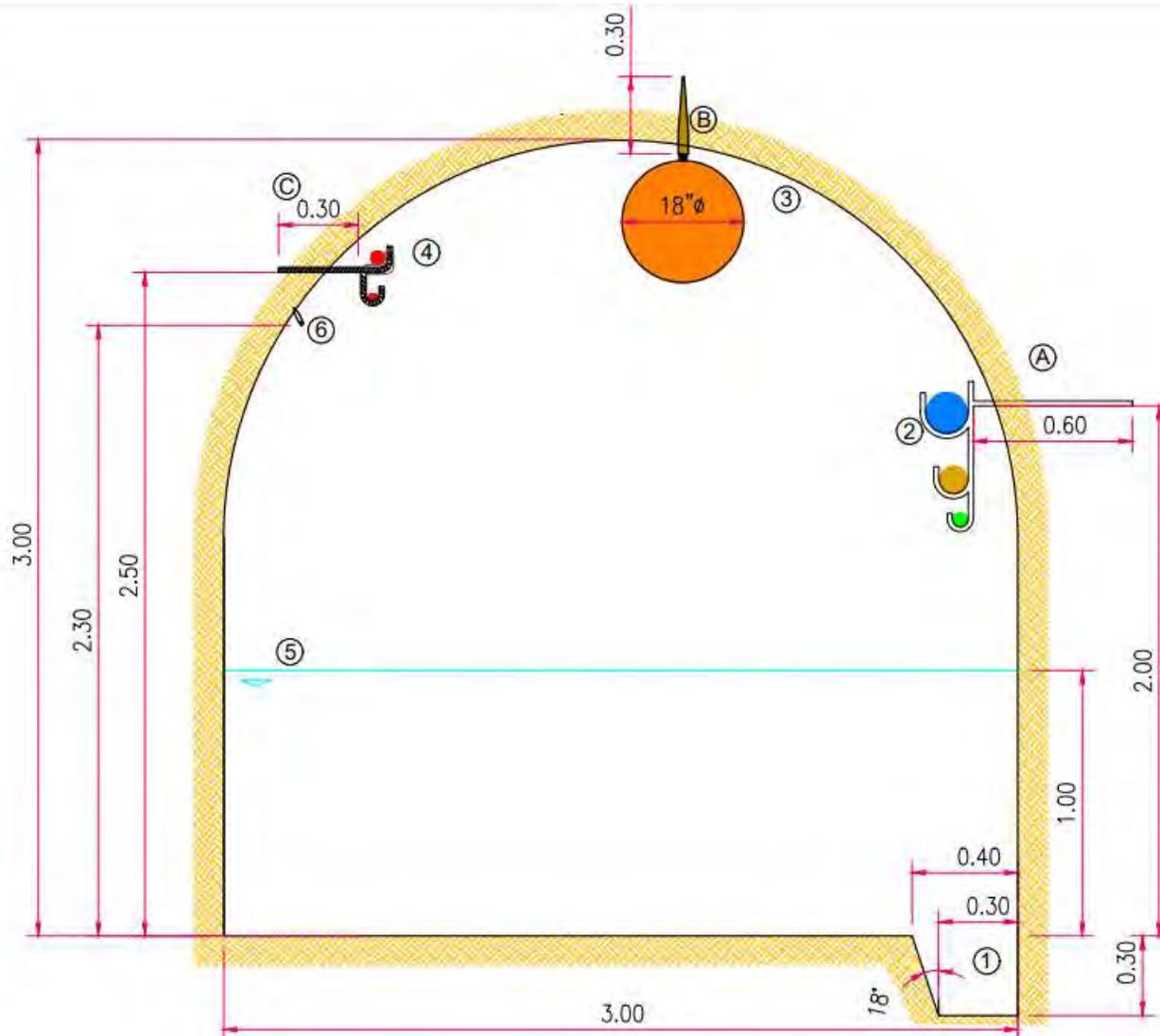
SOSTENIMIENTO ACTUAL EN LAS GALERÍAS O CRUCEROS

El presente capítulo tiene como objetivo proporcionar una visión detallada y sistemática del procedimiento de investigación empleado en el desarrollo de este estudio geomecánico, el cual se centra el diseño de sistemas de sostenimiento en el crucero 8753N, ubicado en la zona Mercedes, nivel 650, de la Mina San Juan de Chorunga en Arequipa.

La realización de un estudio geomecánico riguroso es de vital importancia en la industria minera, ya que contribuye de manera significativa a la seguridad de los trabajadores, la eficiencia de la operación minera y la mitigación de riesgos geotécnicos. Para llevar a cabo este proceso, se han seguido una serie de pasos y métodos estandarizados, los cuales serán expuestos en detalle en las siguientes secciones.

En este capítulo, se presentará la estructura y el enfoque general de la investigación, así como los procedimientos utilizados para recopilar datos geomecánicos, analizarlos y llegar a conclusiones significativas. Además, se explicará cómo se abordaron aspectos éticos y se destacarán las limitaciones del estudio. Todo esto permitirá a los lectores comprender a fondo la metodología detrás de este trabajo de investigación y la base sobre la cual se fundamentan los resultados y las recomendaciones presentadas en capítulos posteriores.

Figura 19: Sección del crucero



CARACTERISTICAS

- ① Cuneta 0.40 m x 0.30 m.
- ② Tub. de aire comprimido 6" Ø, tub. drenaje 4" Ø, tub. agua 2" Ø.
- ③ Manga de ventilación 18" Ø.
- ④ Línea de media y baja tensión – 2300 V / 440 V.
- ⑤ Gradiente.
- ⑥ Cable Telefonico con tarugo cada 2.5m
- Ⓐ Alcayata de fe liso para tubería, 3/4"Ø cada 3.00 m.
- Ⓑ Tarugos de madera para manga de ventilación, 0.20 x 0.05 x 0.05 m cada 4.00 m.
- Ⓒ Alcayata de fe liso para cables de media y baja tensión, 3/4" Ø cada 2.5 m.

NOTA:

La ejecución de la Obra debe ser de acuerdo los parametros establecidos en este Proyecto, su incumplimiento sera responsabilidad del ejecutor de la Obra.

Fuente: U. E. A. SAN JUAN

En la anterior figura se puede observar la dimensión de la sección del crucero, también el detalle en relación con el dimensionamiento incluyendo las características de la sección donde mencionadas medidas son las estandarizadas en la operación de la unidad minera según las recomendaciones del área de planeamiento.

4.1.CRITERIO DE DISEÑO

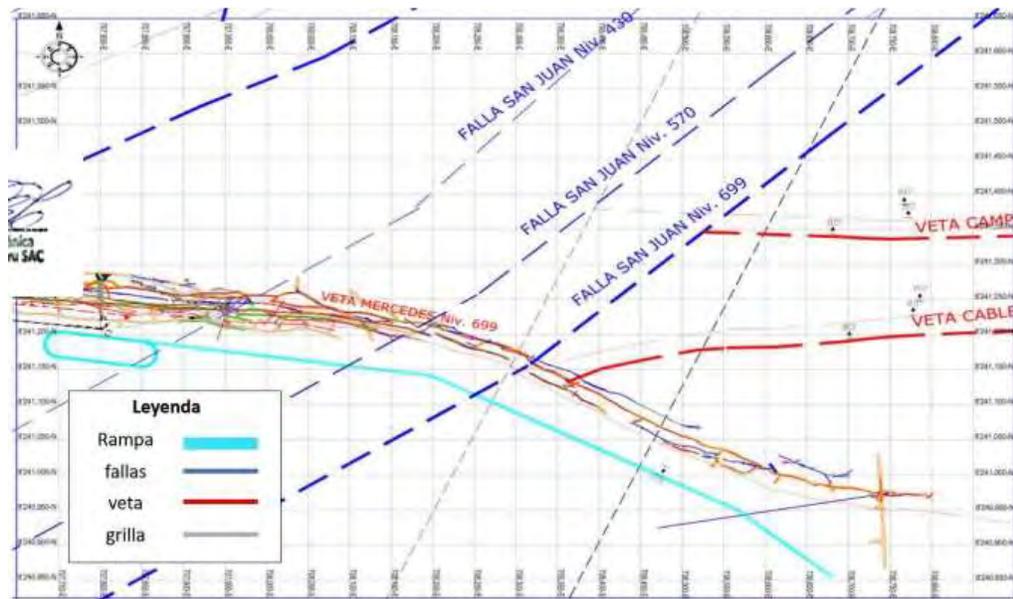
En la investigación realizada en este trabajo, se seleccionó el crucero 8753N de la zona mercedes Nivel 650 como la ubicación de estudio principal. Durante este estudio, se recolectaron datos relevantes que incluyeron la sectorización y la realización de ensayos de la zona en cuestión.

Para el diseño geotécnico y determinación del tipo de sostenimiento apropiado para la construcción del crucero se utilizarán las metodologías:

- Los métodos empíricos.
- Los métodos numéricos.

Específicamente para el diseño del crucero en mención se necesitó evaluar la roca circundante a las labores aledañas, para esto se consideró hacer un estudio geomecánico a una labor que intercepta al crucero, esta labor es la rampa principal, de este modo se realizó el estudio geomecánico de la rampa principal donde la zonificación se realizó utilizando las fallas regionales mapeadas en las labores de desarrollo y preparación de la zona esperanza y mercedes. La falla regional que atraviesa a la rampa es la falla San Juan, la cual cruza a la labor en cinco puntos.

Figura 20: Vista en planta del proyecto de la rampa

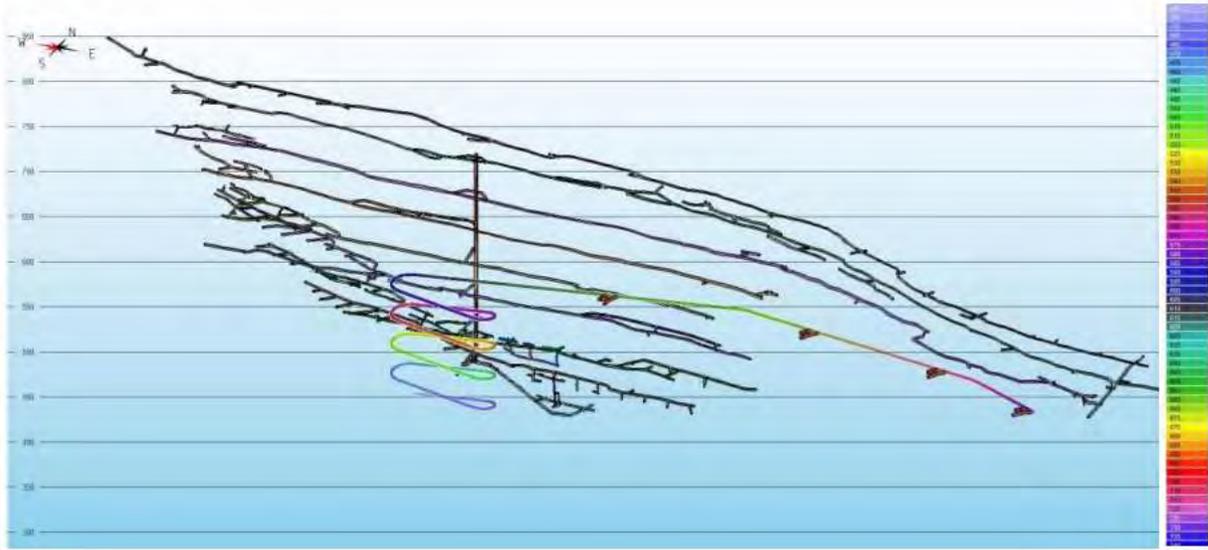


Fuente: U. E. A. SAN JUAN

En la figura anterior se puede observar la rampa del proyecto la cual presenta una inclinación del 13% y se extiende a lo largo de una distancia equivalente de 2,300 metros. Además, el diseño incluye la construcción de cuatro áreas de carga y descarga, junto con seis puntos de cruce que coinciden con los niveles 690, 650, 610, 570, 520 y 480.

En este sentido el estudio geomecánico de la rampa abarco también la del cruceo 8753N ubicado en la zona mercedes en el nivel 650. Donde el diseño y sostenimiento de esta labor se especificará detalladamente en los siguientes puntos de la investigación.

Figura 21: Vista isométrica rampa proyecto



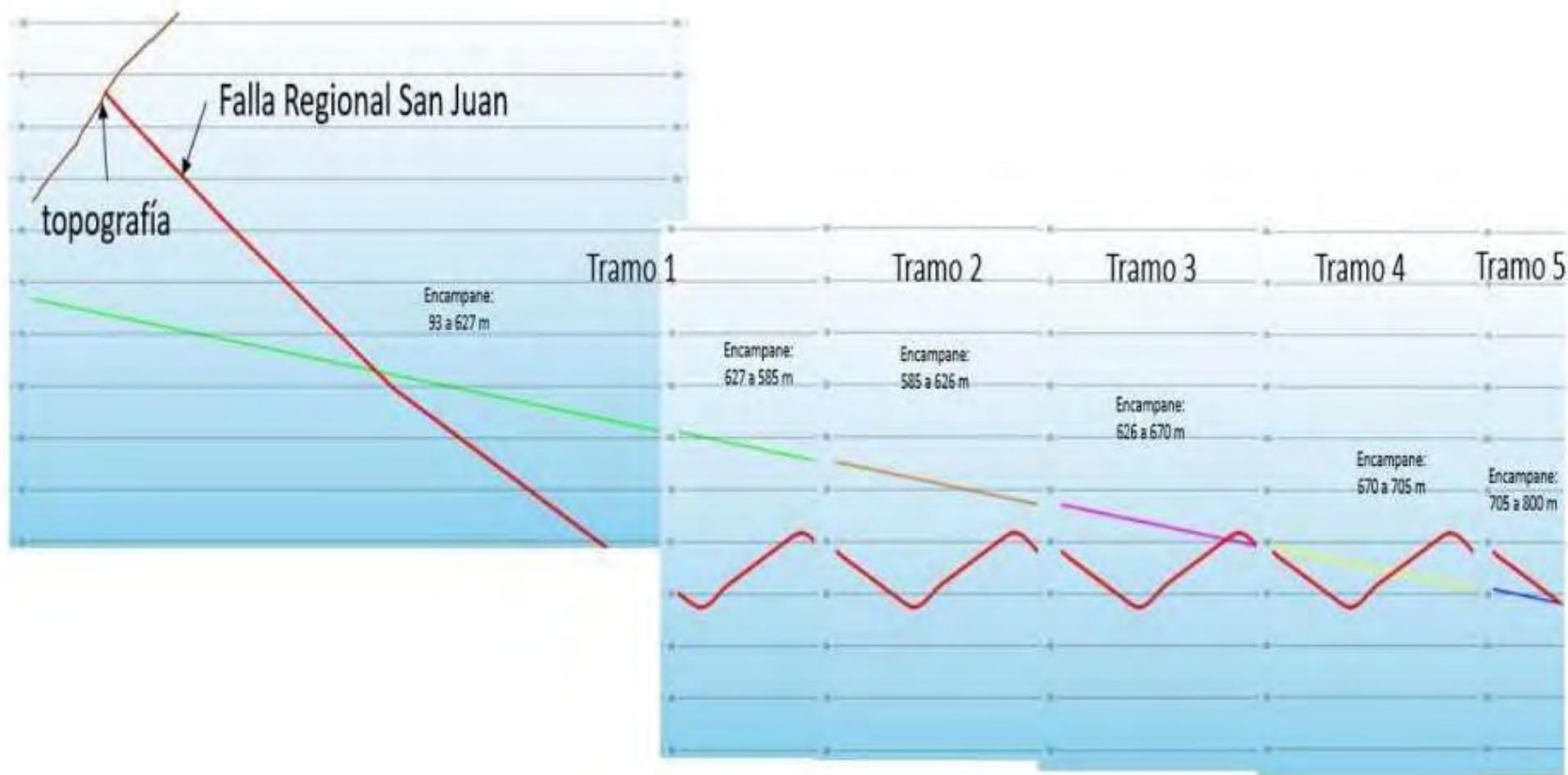
Fuente: U. E. A. SAN JUAN

En la figura anterior se puede observar una vista general de la unidad minera, donde se puede observar los niveles principales y la coloración es según la división de la profundización de la rampa, la cual sirve como punto de partida para la evaluación de crucero.

Para evaluar cada una de las intersecciones se ha dividido la rampa de profundización en 5 tramos. Los encampanes varían desde 93 m hasta los 800 m, siendo factible realizar un análisis en un modelamiento en 3d de elementos finitos para evaluar la estabilidad de la rampa en profundización.

La zonificación para la rampa considera que el tipo de roca estará en el rango de III, IV y V como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 22: Evaluación estructural



Fuente: U. E. A. SAN JUAN

Tabla 3: Zonificación por progresiva del proyecto de la rampa

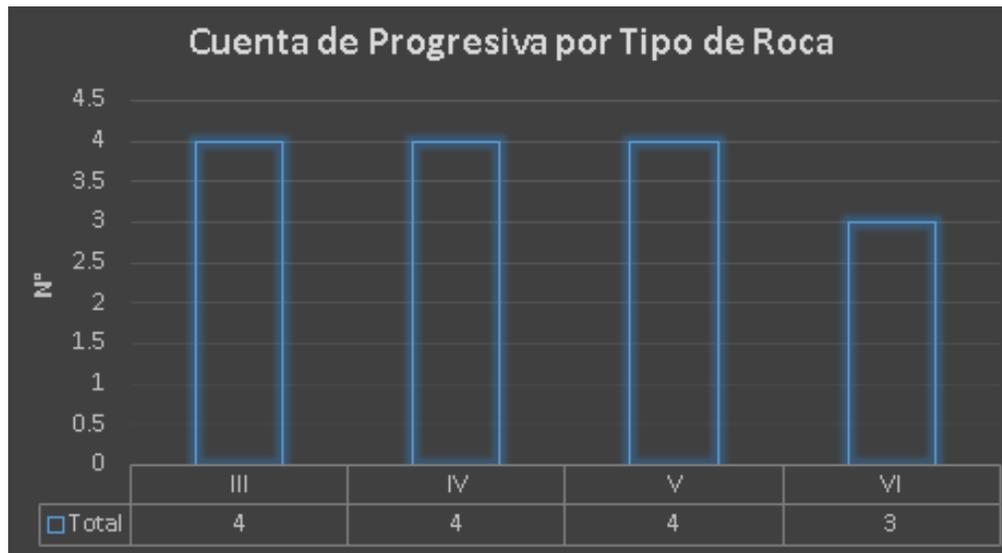
Progresiva	0+0-0+493.3	0+493.30+523.3	0+523.30+563.3	0+563.30+593.3	0+593.3-0+1747.93	0+1747.930+1777.93	0+1777.930+1865.06	0+1865.060+1895.06	0+1865.060+1991.48	0+1991.480+2021.48	0+2021.480+2061.48	0+2061.480+2091.48	0+2091.480+2223.48	0+2223.480+2253.48	0+2253.480+2273.1	
Tipo de Roca	III	IV	V	IV	III	IV	V	IV	III	IV	V	IV	III	IV	V	
RMR'	(41-60)	(21-40)	(<20)	(21-40)	(41-60)	(21-40)	(<20)	(21-40)	(41-60)	(21-40)	(<20)	(21-40)	(41-60)	(21-40)	(<20)	
condición de Agua	Seco	Humedo	Goteo	Humedo	Seco	Humedo	Goteo	Humedo	Seco	Humedo	Goteo	Humedo	Seco	Humedo	Goteo	
Indice Q'	(0.71-5.91)	(0.07-0.71)	(<0.07)	(0.07-0.71)	(0.71-5.91)	(0.07-0.71)	(<0.07)	(0.07-0.71)	(0.71-5.91)	(0.07-0.71)	(<0.07)	(0.07-0.71)	(0.71-5.91)	(0.07-0.71)	(<0.07)	
METRAJE	493.3	30	40	30	1154.63	30	84.13	30	126.42	30	40	30	132	30	19.62	
METRAJE ACUMULADO	493.3	523.3	563.3	593.3	1747.93	1777.93	1862.06	1892.06	2018.48	2048.48	2088.48	2118.48	2250.48	2280.48	2300.1	
SWELLEX 1.2X1.2	SOSTENIMIENTO	Perno y malla	Perno y malla y shotcrete	cimbra	Perno y malla y shotcrete	Perno y malla	Perno y malla y shotcrete	cimbra	Perno y malla y shotcrete	Perno y malla	Perno y malla y shotcrete	cimbra	Perno y malla y shotcrete	Perno y malla	Perno y malla y shotcrete	cimbra
		1.2x1.2	1.2x1.2	1x1	1.2x1.2	1.2x1.2	1.2x1.2	1x1	1.2x1.2	1.2x1.2	1.2x1.2	1x1	1.2x1.2	1.2x1.2	1.2x1.2	1x1
(opción alternativa)	COSTO UNITARIO COSTO ACUMULADO	S/127.7	S/467.0	S/1,261.8	S/467.0	S/127.7	S/467.0	S/1,261.8	S/467.0	S/127.7	S/467.0	S/1,261.8	S/467.0	S/127.7	S/467.0	S/1,261.8
		S/127.7	S/594.7	S/1,856.5	S/2,323.5	S/2,451.2	S/2,918.2	S/4,180.0	S/4,647.0	S/4,774.7	S/5,241.7	S/6,503.5	S/6,970.5	S/7,098.2	S/7,565.2	S/8,827.0
HELICOIDAL 1X1	SOSTENIMIENTO	Perno y malla	Perno y malla y shotcrete	cimbra	Perno y malla y shotcrete	Perno y malla	Perno y malla y shotcrete	cimbra	Perno y malla y shotcrete	Perno y malla	Perno y malla y shotcrete	cimbra	Perno y malla y shotcrete	Perno y malla	Perno y malla y shotcrete	cimbra
		1.2x1.2	1.2x1.2	1x1	1.2x1.2	1.2x1.2	1.2x1.2	1x1	1.2x1.2	1.2x1.2	1.2x1.2	1x1	1.2x1.2	1.2x1.2	1.2x1.2	1x1
(opción actual)	COSTO UNITARIO COSTO ACUMULADO	S/253.9	S/467.0	S/1,261.8	S/467.0	S/253.9	S/467.0	S/1,261.8	S/467.0	S/253.9	S/467.0	S/1,261.8	S/467.0	S/253.9	S/467.0	S/1,261.8
		S/253.9	S/720.9	S/1,982.7	S/2,449.7	S/2,703.6	S/3,170.6	S/4,432.5	S/4,899.5	S/5,153.4	S/5,620.4	S/6,882.2	S/7,349.2	S/7,603.1	S/8,070.1	S/9,332.0

Fuente: U. E. A. SAN JUAN

En la tabla anterior podemos observar el detalle por cada progresión en función a la profundidad del avance de la rampa, donde se pudo obtener más detalle sobre la roca como características geomecánicas de la roca, sostenimiento y sus costos como el costo actual y la alternativa propuesta.

Donde se pudo evidenciar los siguientes análisis en las siguientes gráficas.

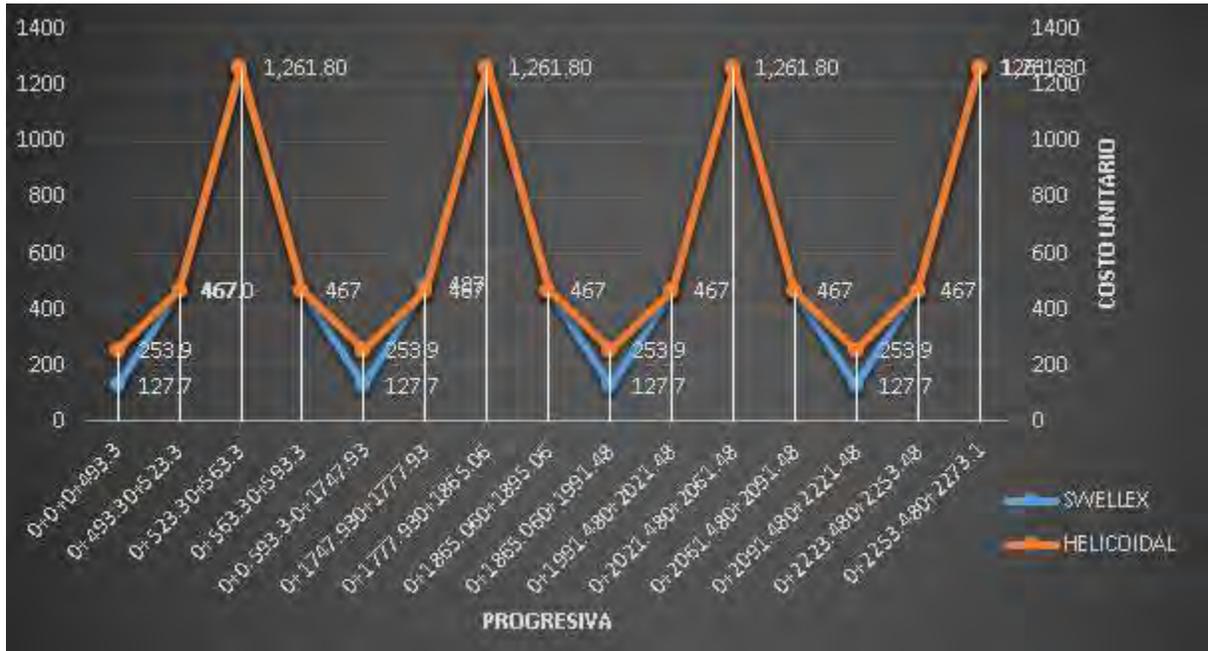
Gráfica 1: El tipo de roca según la progresión de la rampa



Fuente: Propia

En la gráfica anterior se puede observar la clasificación del tipo de roca en función a la progresión de la profundización, donde se tiene 4(III, IV, V, VI) tipos de roca, 4 progresiones en 3 tipos de roca y 3 progresiones en la roca VI.

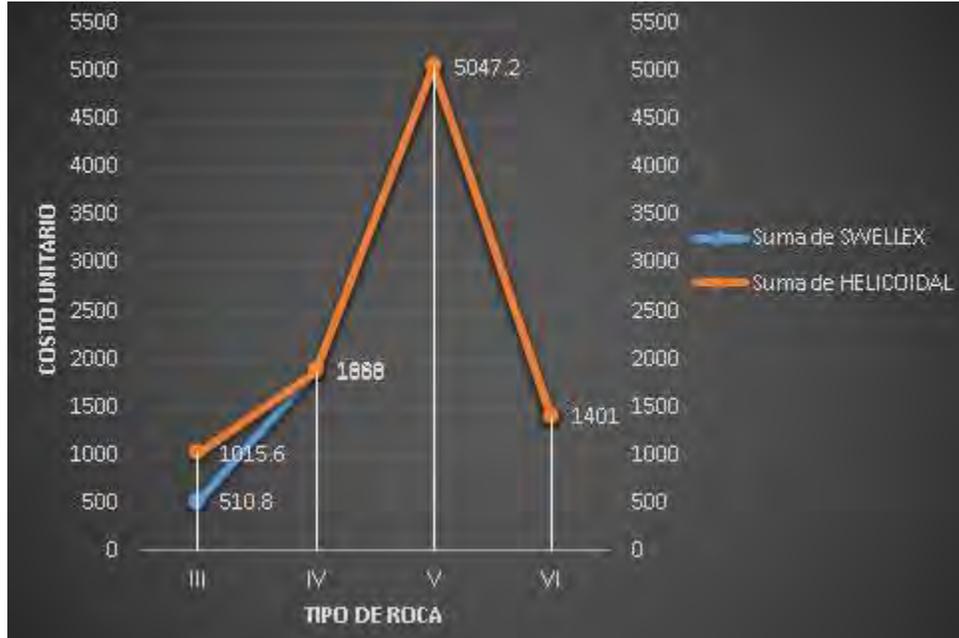
Gráfica 2: Costos unitarios en función de la progresiva



Fuente: Propia

En la anterior gráfica se puede observar la comparativa de los costos unitarios del sostenimiento en función de la progresiva dividido por el tipo de sostenimiento, notándose una reducción de los costos con el sostenimiento actual, el de Swellex.

Gráfica 3: Costos unitarios en función del tipo de roca



Fuente: Propia

En la anterior gráfica se puede observar la comparativa de los costos unitarios del sostenimiento en función del tipo de roca y el extracto por el tipo de sostenimiento, notándose una reducción de los costos con el sostenimiento actual, el de Swellex, específicamente en la roca tipo III.

De los tipos de roca podemos determinar que gran parte del tramo se encuentra en calidad de macizo rocoso tipo III con una incidencia de 83%; de tipo IV se proyecta tener un 9% y de tipo V un 8%.

Gráfica 4: Incidencia del sostenimiento del proyecto de la rampa



Fuente: U. E. A. SAN JUAN

En la gráfica anterior se puede observar la distribución del metraje en función al tipo de roca y como esto se representa en el porcentaje de incidencia, donde se puede notar que el 83% es del tipo de roca III.

4.1.1. MÉTODO EMPÍRICO DE DETERMINACIÓN DE SOSTENIMIENTO.

Existen diversas metodologías empíricas que se utilizan para la clasificación de la calidad del macizo rocoso y para determinar los requisitos de sostenimiento en trabajos de ingeniería. Estas técnicas empíricas brindan una referencia valiosa para la selección de los elementos de sostenimiento, aunque es esencial recordar que deben considerarse como una guía y siempre adaptarse a las condiciones específicas de cada excavación subterránea.

Las metodologías empíricas establecen una relación entre las dimensiones de una excavación, la calidad del macizo rocoso y los elementos de sostenimiento necesarios. Por lo tanto, es fundamental ejercer un juicio experto al evaluar la situación de la excavación, ya que esto garantiza una toma de decisiones informada y precisa.

Cuando se llevan a cabo trabajos de minería tanto temporales como permanentes, es de suma importancia garantizar la estabilidad de la excavación a lo largo de su vida útil. Al seleccionar los elementos de sostenimiento permanentes, se debe prestar especial atención a su durabilidad a lo largo del tiempo y a su mantenimiento, considerando los impactos ambientales asociados al entorno, como la humedad, las fluctuaciones de temperatura, la presencia de aguas ácidas, entre otros factores.

4.1.1.1. ESTIMACIÓN EMPÍRICA DE LONGITUD DE PERNOS DE ANCLAJE

La longitud de los pernos de anclaje fue calculada siguiendo las indicaciones empíricas proporcionadas por Barton y Stillborg.

Barton propone que se puede estimar la longitud de los pernos de anclaje utilizando la siguiente fórmula empírica:

$$L = 2 + \frac{0.15xB}{ESR}$$

L = Longitud de los pernos

B = Ancho de la excavación

ESR = Relación de Sostenimiento de la Excavación

Stillborg, propone la siguiente ecuación para estimar la longitud de pernos de anclaje:

$$L = 1.4 + 0.184xB$$

L = Longitud de los pernos

B = Ancho de la excavación

Tabla 4: Cálculo empírico de longitud de pernos de anclaje

Estimación empírica			
labor	By pass	Cámara de Carguio	Tunel Principal
L Barton	1.8	2.0	2.1
L still borg	2.2	2.3	2.4

Fuente: U. E. A. SAN JUAN

En la tabla anterior se puede observar los resultados de las fórmulas empíricas mencionadas anteriormente, considerando la relación de sostenimiento de la excavación la cual será considerando labores permanentes teniendo un valor referencial de 1.6 y las medidas de las labores correspondientes.

El análisis estructural se realizó considerando las fallas regionales mapeadas en los avances de desarrollo en la zona esperanza y mercedes.

4.1.1.2. ESTIMACIÓN DEL SOSTENIMIENTO POR LA METODOLOGÍA DEL PESO MUERTO

Debido a la limitada disponibilidad de información, se procedió a estimar la máxima estructura generada en las secciones críticas de dimensiones 4x4m y 3.5x3.5m.

Para llevar a cabo esta estimación, se aplicó el método de cuña máxima, el cual se basa en una metodología desarrollada por Rimas Pakalnis en 2008.

Este enfoque analítico incorpora el cálculo del factor de seguridad específicamente para excavaciones mineras.

El propósito principal de este análisis es evaluar la posibilidad de que se forme una estructura adversa utilizando un enfoque analítico. Según este método, la altura de la estructura se establece en 0.5 veces el ancho de la excavación.

Tabla 5: Cálculo del fs por la metodología del peso muerto

LONGITUD	ESPACIAMIENTO	SECCION				
		3.5X3.5 SWELLEX>45	3.5X3.5 HELICOIDAL>45	4X4 SWELLEX>45	4X4 HELICOIDAL>45	4X4 MIX SWELLEX & HELICOIDAL
6 ft	0.8X0.8	2.71	3.56	2.48	3.41	2.73
	1X1	2.45	3.53	1.51	2.05	2.11
	1.2X1.2	1.33	1.78	1.44	2.10	1.96
	1.5X1.5	1.16	1.76	0.77	1.06	0.83
7 ft	0.8X0.8	3.56	5.05	3.14	4.57	3.93
	1X1	2.94	4.40	1.95	2.79	2.60
	1.2X1.2	1.68	2.48	1.71	2.56	2.27
	1.5X1.5	1.44	2.11	0.92	1.38	1.01
8 ft	0.8X0.8	4.08	6.15	3.76	5.66	4.62
	1X1	3.36	5.14	2.30	3.46	3.00
	1.2X1.2	1.94	2.92	1.98	3.07	2.58
	1.5X1.5	1.55	2.46	1.13	1.65	1.50
10 ft	0.8X0.8	4.50	7.44	4.35	7.05	5.74
	1X1	3.60	5.95	2.69	4.39	3.80
	1.2X1.2	2.14	3.50	2.24	3.70	3.17
	1.5X1.5	1.71	2.80	1.27	2.07	1.64

Fuente: U. E. A. SAN JUAN

En la tabla anterior se puede observar una matriz donde se puede observar los resultados del cálculo del factor de seguridad según la metodología de peso muerto teniendo los valores según la longitud de los pernos en función a las dimensiones de las secciones por el tipo de perno a usar.

Tabla 6: Leyenda del cálculo del fs por la metodología del peso muerto

Leyenda			
temporal		1.25	1.5
permanente		1.5	2
NR		<1.25	
SD	SD	>2.0	

Fuente: U. E. A. SAN JUAN

En la tabla anterior se puede observar la leyenda del cálculo del factor de seguridad por la metodología del peso muerto.

Tabla 7: Determinación cualitativa del sostenimiento

LONGITUD	ESPACIAMIENTO	SECCIÓN				
		3.5X3.5	3.5X3.5	4X4	4X4	4X4
		SWELLEX>45	HELICOIDAL>45	SWELLEX>45	HELICOIDAL>45	MIX SWELLEX & HELICOIDAL
6 ft.	0.8X0.8	SD	SD	SD	SD	SD
	1X1	SD	SD	permanente	SD	SD
	1.2X1.2	Temporal	permanente	Temporal	SD	permanente
	1.5X1.5	-	permanente	-	-	-
7 ft.	0.8X0.8	SD	SD	SD	SD	SD
	1X1	SD	SD	permanente	SD	SD
	1.2X1.2	permanente	SD	permanente	SD	SD
	1.5X1.5	Temporal	SD	-	Temporal	-
8 ft.	0.8X0.8	SD	SD	SD	SD	SD
	1X1	SD	SD	SD	SD	SD
	1.2X1.2	permanente	SD	permanente	SD	SD
	1.5X1.5	permanente	SD	-	permanente	permanente
10 ft.	0.8X0.8	SD	SD	SD	SD	SD
	1X1	SD	SD	SD	SD	SD
	1.2X1.2	SD	SD	SD	SD	SD
	1.5X1.5	permanente	SD	Temporal	SD	permanente

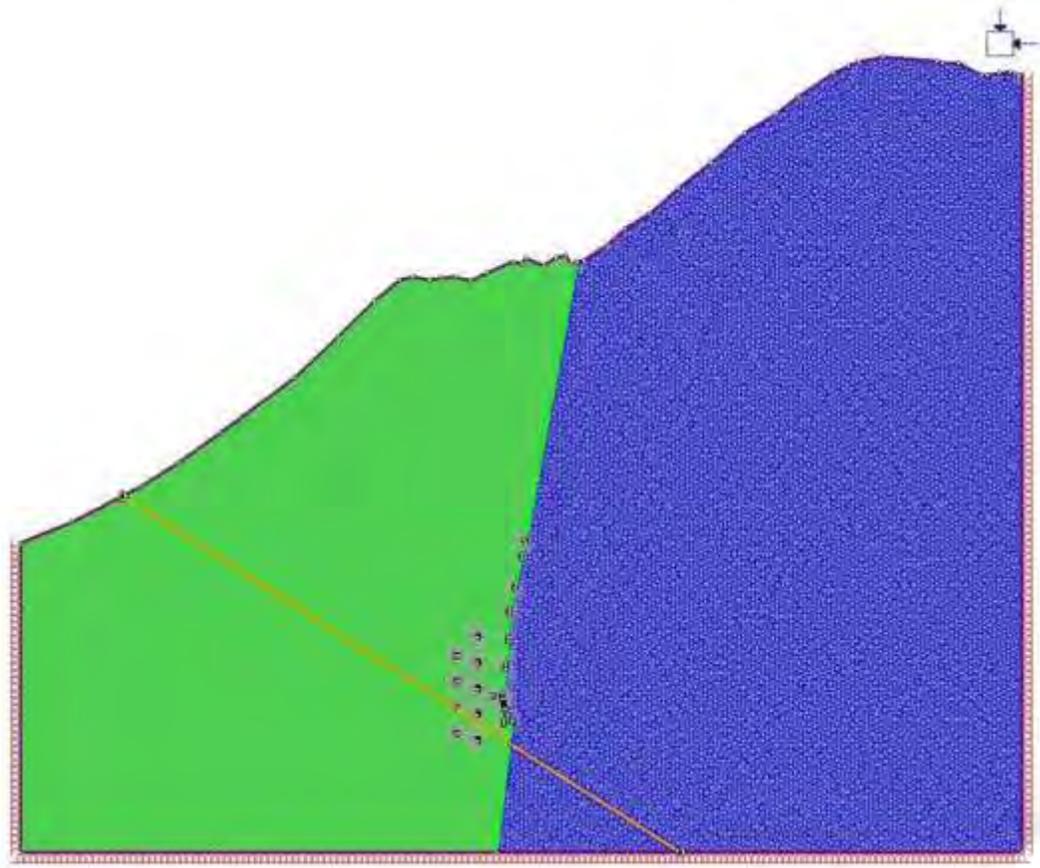
Fuente: U. E. A. SAN JUAN

En la tabla anterior se puede observar el remplazo de la leyenda en los valores del factor de seguridad según la longitud de los pernos en función a las dimensiones de las secciones por el tipo de perno a usar.

4.1.1.3. ESTIMACIÓN DE ESFUERZOS RAMPA OREX

La evaluación de la rampa por métodos numéricos se realizó utilizando el software Phase 2 V6.0004, donde se ha considerado un análisis gravitatorio de la zona de profundización de la rampa. Siendo los limitantes el tipo de roca en la caja techo, caja piso, las estructuras regionales y el mineral.

Figura 23: Modelamiento numérico por elementos finitos



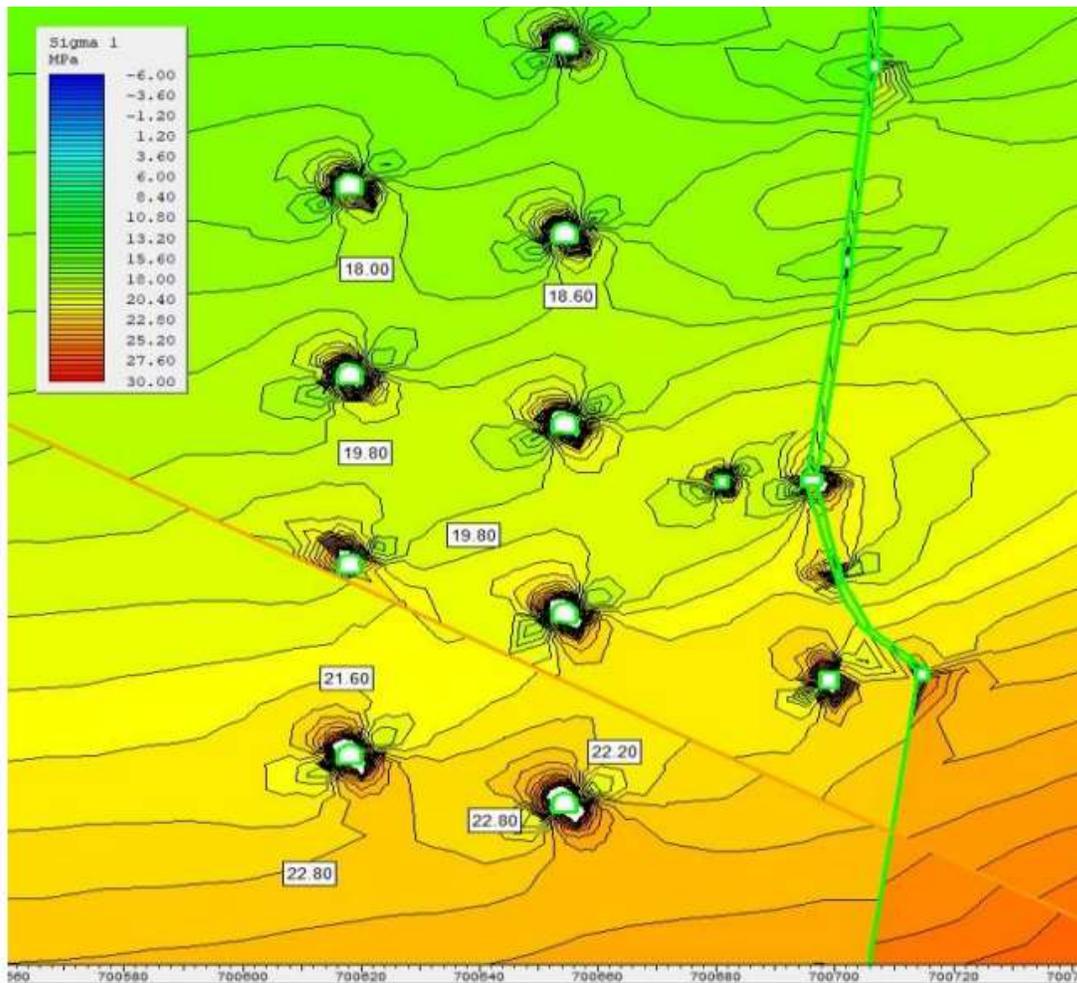
Fuente: U. E. A. SAN JUAN

De la figura anterior tenemos la interpretación del modelado la que nos proporciona información sobre la distribución de los esfuerzos principales, los esfuerzos mínimos, el factor de resistencia y el desplazamiento total para la secuencia de excavación específica. No obstante,

es importante destacar que este tipo de modelado tiene sus limitaciones debido a su naturaleza en dos dimensiones (2D).

Las condiciones del modelado se basan en las propiedades obtenidas a partir de ensayos realizados por SRK Consulting durante el estudio geomecánico llevado a cabo en 2017. Los resultados de estos ensayos desempeñaron un papel fundamental en la definición del criterio de falla, utilizando el modelo de Mohr-Coulomb, para los tipos de rocas predominantes en el diseño.

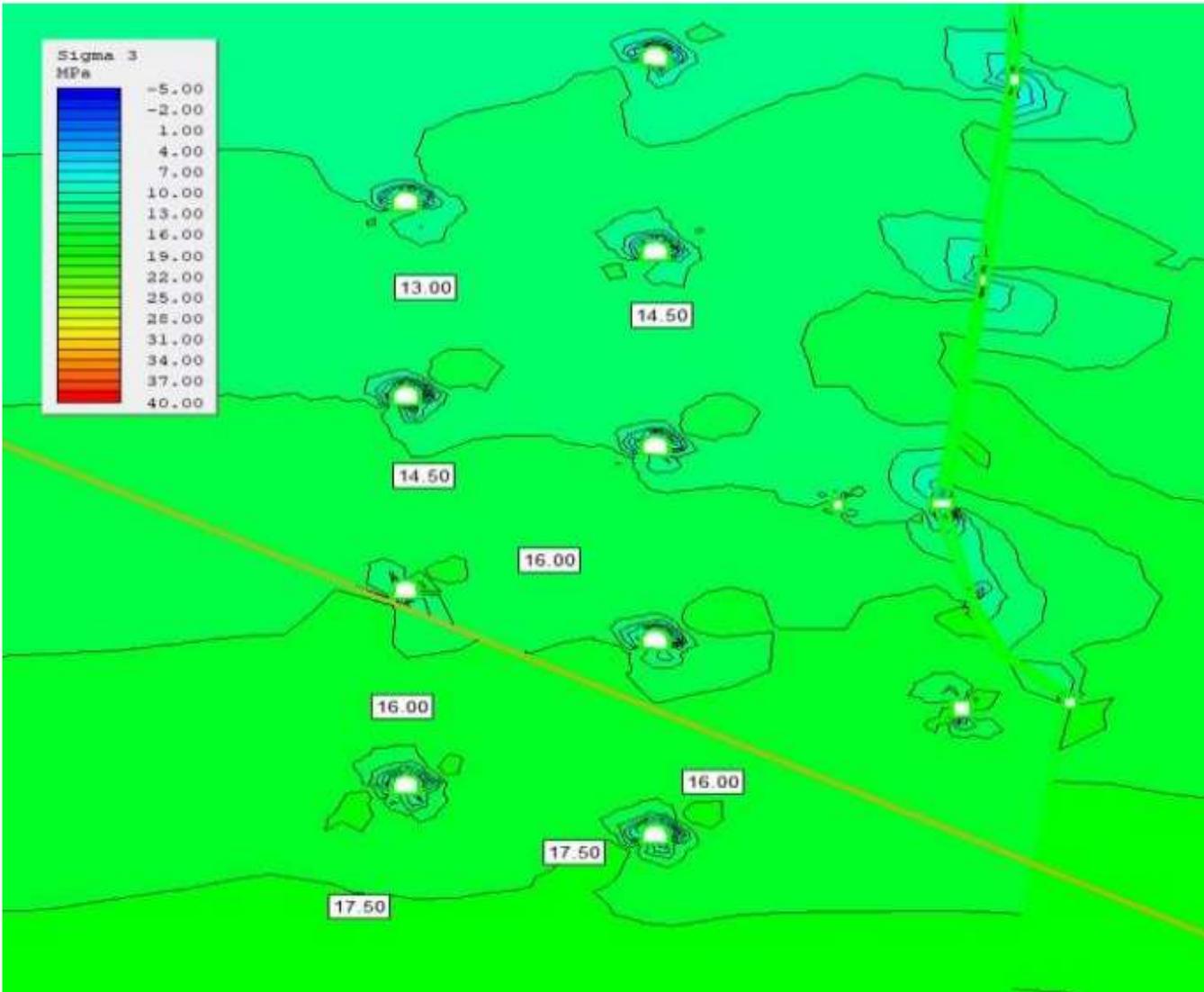
Figura 24: Sigma $\delta 1$.-rampa orex



Fuente: U. E. A. SAN JUAN

En la figura anterior se puede observar la magnitud de la tensión principal sigma 1 en la rampa Orex varía a medida que se profundiza, con valores que oscilan entre un mínimo de 18 MPa y un máximo de 23 MPa y la sigma σ_3 de la rampa varía desde 13 hasta 17.5 MPa.

Figura 25: Sigma σ_3 -rampa orex

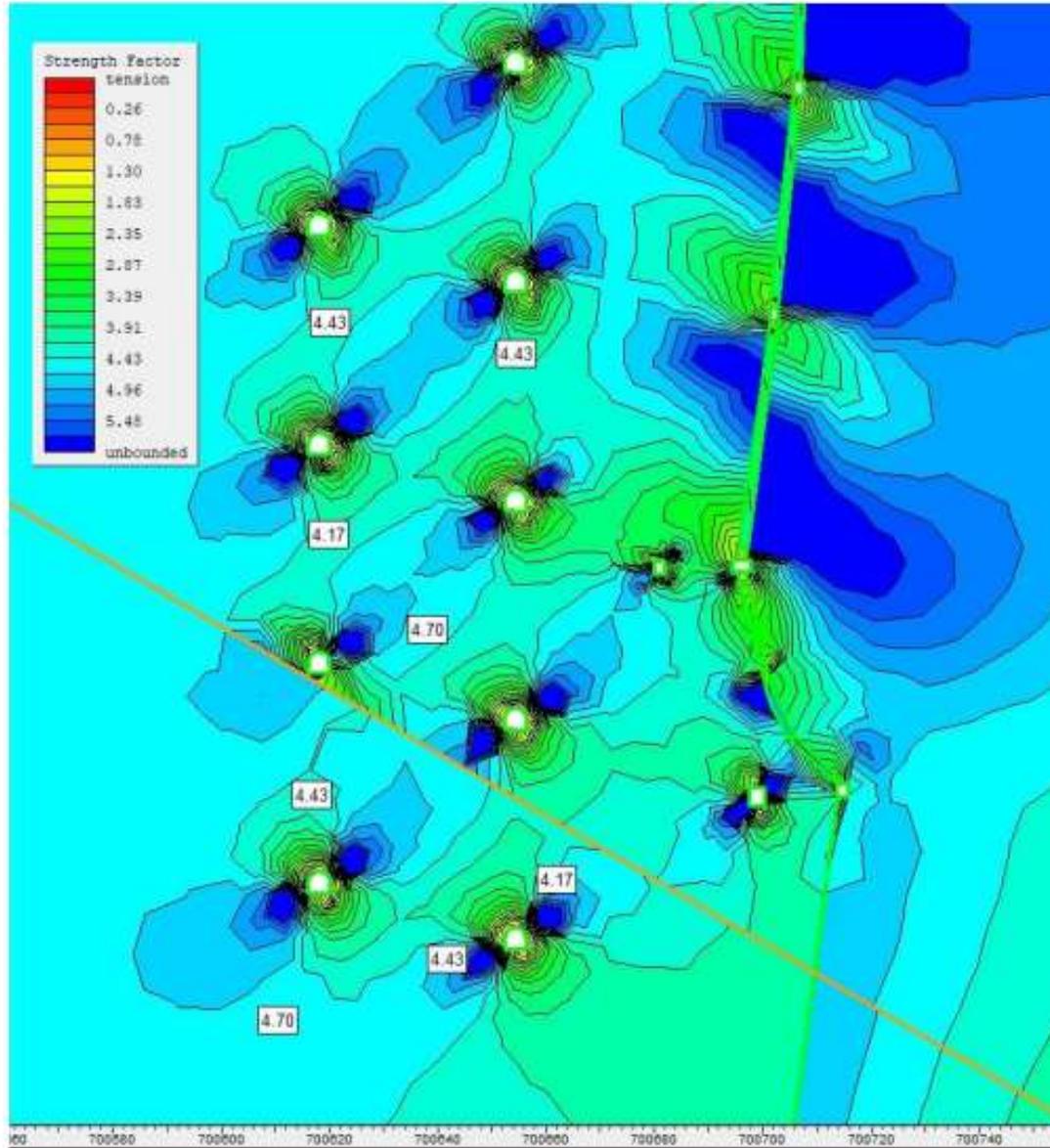


Fuente: U. E. A. SAN JUAN

En la figura anterior se puede observar el Strength factor en la zona de profundización de la rampa genera inestabilidad en el hastial inferior orientado en el hemisferio norte y en la corona

orientada en el hemisferio sur.; por tanto, estas zonas serán las más afectadas por lajamiento y deformación.

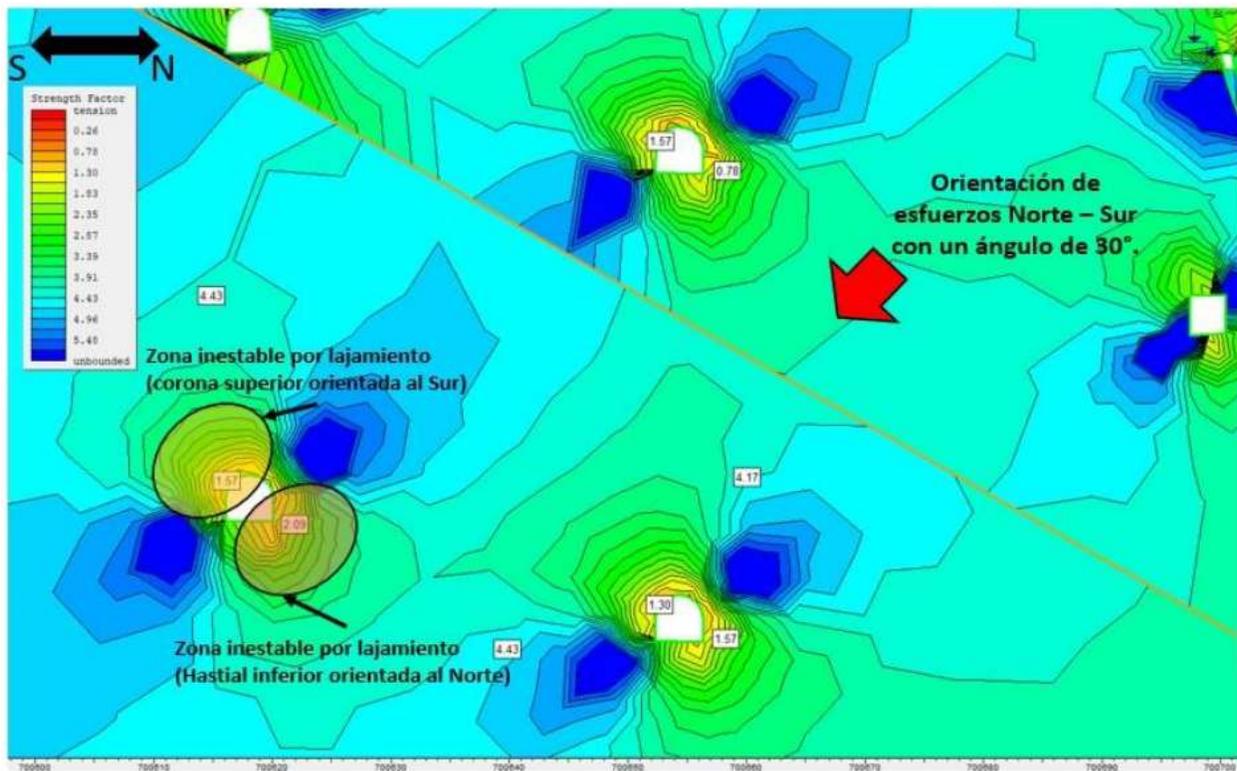
Figura 26: Strength factor. -rampa orex



Fuente: U. E. A. SAN JUAN

La condición de inestabilidad en las zonas afectadas puede llegar hasta 1m con un Strength factor menor a 1.5.

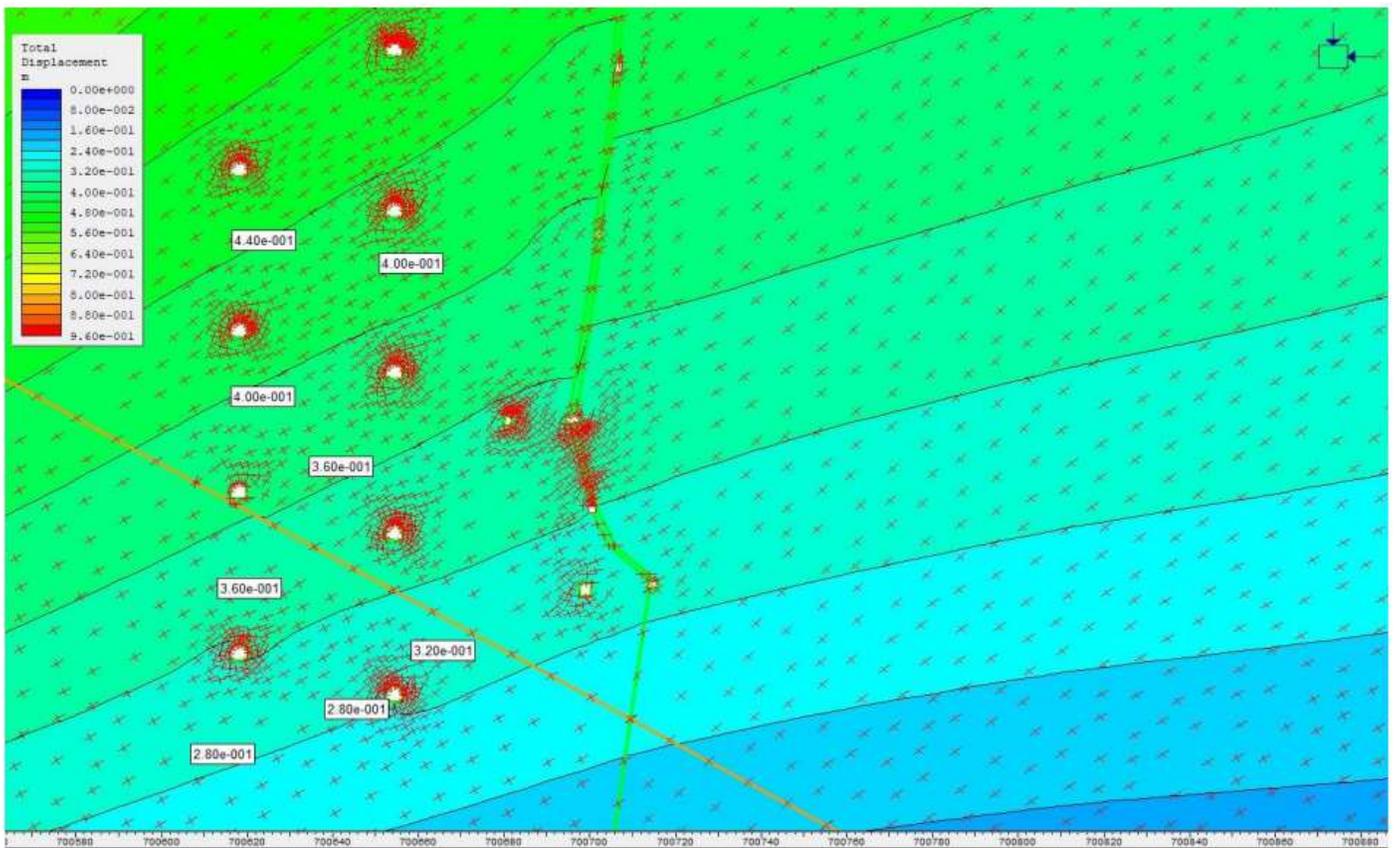
Figura 27: Strength factor. -rampa orex



Fuente: U. E. A. SAN JUAN

La deformación de la labor puede llegar hasta 32 cm en la zona de profundización y en las zonas altas puede llegar hasta 50 cm.

Figura 28: Total, displacement. -rampa orex



Fuente: U. E. A. SAN JUAN

4.2.SISTEMA DE SOSTENIMIENTO RECOMENDADO

Con base en los resultados derivados de los cálculos empíricos y del análisis de la estabilidad tensional y deformacional, se ha formulado una recomendación para el sistema de sostenimiento a emplear en los túneles proyectados. Dicho sistema estará compuesto por una serie de elementos de sostenimiento, que podrán ser instalados en combinación con otros, en función de la calidad geomecánica del macizo rocoso y el tipo de roca predominante en la zona de excavación. Esta estrategia de diseño se adapta a la variabilidad geológica y geomecánica que se pueda encontrar a lo largo de los túneles, permitiendo una mayor flexibilidad y eficiencia en la implementación del sostenimiento necesario para garantizar la estabilidad de las estructuras subterráneas.

- Pernos helicoidales (22 mm)
- Pernos Swellex
- Malla metálica electrosoldada
- Concreto Lanzado (Shotcrete)
- Cimbras, metálicas
- Paraguas (pre-sostenimiento)

En labores permanentes utilizar pernos de barra de acero o pernos swellex, la mínima resistencia compresiva uniaxial del shotcrete debe ser de 300 Kg/cm²(30 MPa) a los 28 días. El sostenimiento recomendado debe ser revisado de acuerdo con el equipamiento y condiciones de la operación.

Tabla 8: Resumen de sostenimiento para labores mineras De 3x3m.

TIPO ROCA	RMR	SOSTENIMIENTO RECOMENDADO
II	> 61	Solo sostenimiento puntual de pernos helicoidal ($\Phi=22\text{mm}$) de L=7 pies.
III	41-60	Requiere de sostenimiento sistemático de pernos swellex de 7 pies espaciados de 1.2m y malla metálica electrosoldada de cocada 4x4 pulgadas.
IV	31 – 40	Pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciados cada 1.2 m con malla metálica electrosoldada, más la aplicación de shotcrete de e=2"-3" (5,0 - 7.5cm). Uso alternativo de cimbras tipo H6 o equivalente con planchas metálicas, espaciadas cada 1.0 a 1.2 m (previa capa de shotcrete reforzado de e=2" a 3").
	21 – 30	Pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciados cada 1.0 m con malla metálica y shotcrete e=4" a 5" (10 - 12,5cm). Uso alternativo de cimbras tipo H6 o equivalente con planchas metálicas, espaciadas cada 1.0 a 1.2 m (previa capa de shotcrete reforzado de e=2" a 3").
V	< 20	Cimbras con planchas metálicas o cuadros de madera con acribado espaciadas cada 1 m, previa capa de shotcrete reforzado de 2" de espesor como preventivo. Avanzar el frente con marchavantes y/o spilling bar de fierro corrugado de 1" diámetro. En casos donde el terreno sea muy desfavorable como fallas, se deberá instalar barras autoperforantes con inyección de cemento en el perímetro de la labor espaciado entre 0.2 a 0.4 m como pre-refuerzo antes de la excavación del frente.

Fuente: U. E. A. SAN JUAN

En la tabla anterior se puede observar el detalle del resumen del sostenimiento recomendado para labores mineras de 3x3 m en función del tipo de roca y el valor del RMR.

En labores permanentes utilizar pernos de barra, la mínima resistencia compresiva uniaxial del shotcrete debe ser de 300 Kg/cm²(30 MPa) a los 28 días. El sostenimiento recomendado debe ser revisado de acuerdo con el equipamiento y condiciones de la operación.

Tabla 9: Resumen de sostenimiento para labores mineras De 4x4m.

TIPO ROCA	RMR	SOSTENIMIENTO RECOMENDADO
II	> 61	Solo sostenimiento puntual de pernos helicoidal ($\Phi=22\text{mm}$) de L=7 pies.
III	41 – 60	Requiere de sostenimiento sistemático de pernos helicoidal de 7 pies espaciados de 1.2m y malla metálica electrosoldada de cocada 4x4 pulgadas.
IV	31 – 40	Pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciados cada 1.0 m con malla metálica electrosoldada, más la aplicación de shotcrete de e=2"-3" (5,0 - 7.5 cm)
	21 – 30	Pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciados cada 1.0 m con malla metálica y shotcrete e=4" a 5" (10 - 12,5 cm). Uso alternativo de cimbras tipo H6 o equivalente con planchas metálicas, espaciadas cada 1.0 a 1.2 m (previa capa de shotcrete reforzado de e=2" a 3").
V	< 20	Cimbras con planchas metálicas o cuadros de madera con acribado, espaciadas cada 0.8 m, previa capa de shotcrete reforzado de 3" de espesor como preventivo. Avanzar el frente con marchavante y/o spilling bar de fierro corrugado de 1" diámetro. En casos donde el terreno sea muy desfavorable como fallas, se deberá instalar barras autoperforantes con inyección de cemento en el perímetro de la labor espaciado entre 0.2 a 0.4 m como pre-refuerzo antes de la excavación del frente.

Fuente: U. E. A. SAN JUAN

En la tabla anterior se puede observar el detalle del resumen del sostenimiento recomendado para labores mineras de 4x4 m en función del tipo de roca y el valor del RMR.

Con el estudio gomecánico de la rampa se tiene los criterios generales de la roca en relación con su sostenimiento según el tipo de roca que se tenga en el avance de cada crucero.

Ahora bien, en el crucero estudiado en la presente investigación se presentan condiciones asociadas a labores subterráneas. Para determinar el diseño del crucero se requiere hacer mapeo

geomecánico según se da el avance, este mapeo se dará siguiendo un estándar operativo del mapeo geomecánico.

4.3. ESTÁNDAR OPERATIVO DE MAPEO GEOMECÁNICO

El propósito central de este proyecto es establecer un control eficiente en el levantamiento y la zonificación geomecánica para obtener una comprensión exhaustiva del comportamiento del macizo rocoso. Esta iniciativa se extiende con el objetivo de ser aplicada a todo el personal encargado de realizar el mapeo geomecánico, asegurando su conformidad con las siguientes referencias legales: la Ley 29783 de Seguridad y Salud en el Trabajo, el Reglamento asociado a esta ley según el D.S. 005-2012-TR, y el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería establecido por el D.S. 024 – 2016 EM, incluyendo sus modificaciones como el D.S. 023-2017-EM. La implementación de estos lineamientos busca no solo fortalecer la seguridad y salud laboral, sino también proporcionar un marco normativo que aborde de manera integral el mapeo geomecánico.

4.3.1. ESPECIFICACIONES DEL ESTANDAR

Como parte de las secuencias operativas en la unidad minera, es fundamental cumplir con las especificaciones detalladas en el estándar de mapeo geomecánico. Este enfoque asegura la evaluación precisa del sostenimiento necesario a medida que se avanza en las labores subterráneas. En el contexto específico del crucero 8753N en la zona Mercedes, nivel 650, se aplican las siguientes pautas:

- Cumplir con el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional (DS-024-2016-EM y su modificación D.S.023-2017-EM), específicamente en el Título Cuarto, Capítulo Uno, Subcapítulo Uno: "Ingeniería de la Masa Rocosa en Minería Subterránea" y Subcapítulo Dos: "Sostenimiento".

- El mapeo geomecánico se lleva a cabo de acuerdo con el progreso de las excavaciones subterráneas.
- Se requiere la presencia de un equipo compuesto por dos personas: un ingeniero (especializado en Minería o Geología) con conocimientos en Geomecánica o Geotecnia, y un técnico o asistente geomecánico. Además, se brinda capacitación al personal de la mina, incluyendo supervisores y trabajadores, en la técnica de mapeo geomecánico GSI, de acuerdo con la clasificación geomecánica establecida en una tabla específica.
- Se ha establecido una tabla geomecánica estandarizada de clasificación GSI, la cual se relaciona cuantitativamente con el RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski. Esta tabla se basa en la condición estructural y la resistencia de la roca, y se utiliza para determinar la calidad del macizo rocoso. Los resultados del mapeo geomecánico se representan en planos geomecánicos, donde se especifica el tipo de sostenimiento requerido en las paredes de la excavación.
- Para la recolección de datos durante el mapeo geomecánico, se emplea un formato específico. Además, se utilizan herramientas como brújulas, planos topográficos a escala, flexómetros, pintura, martillos Schmidt o picotas de geólogo según sea necesario.
- Las clasificaciones geomecánicas o el tipo de macizo rocoso se registran en los planos geomecánicos, junto con las indicaciones sobre el tipo de sostenimiento que debe implementarse en las paredes de la labor. Estos datos orientan el avance de la excavación.

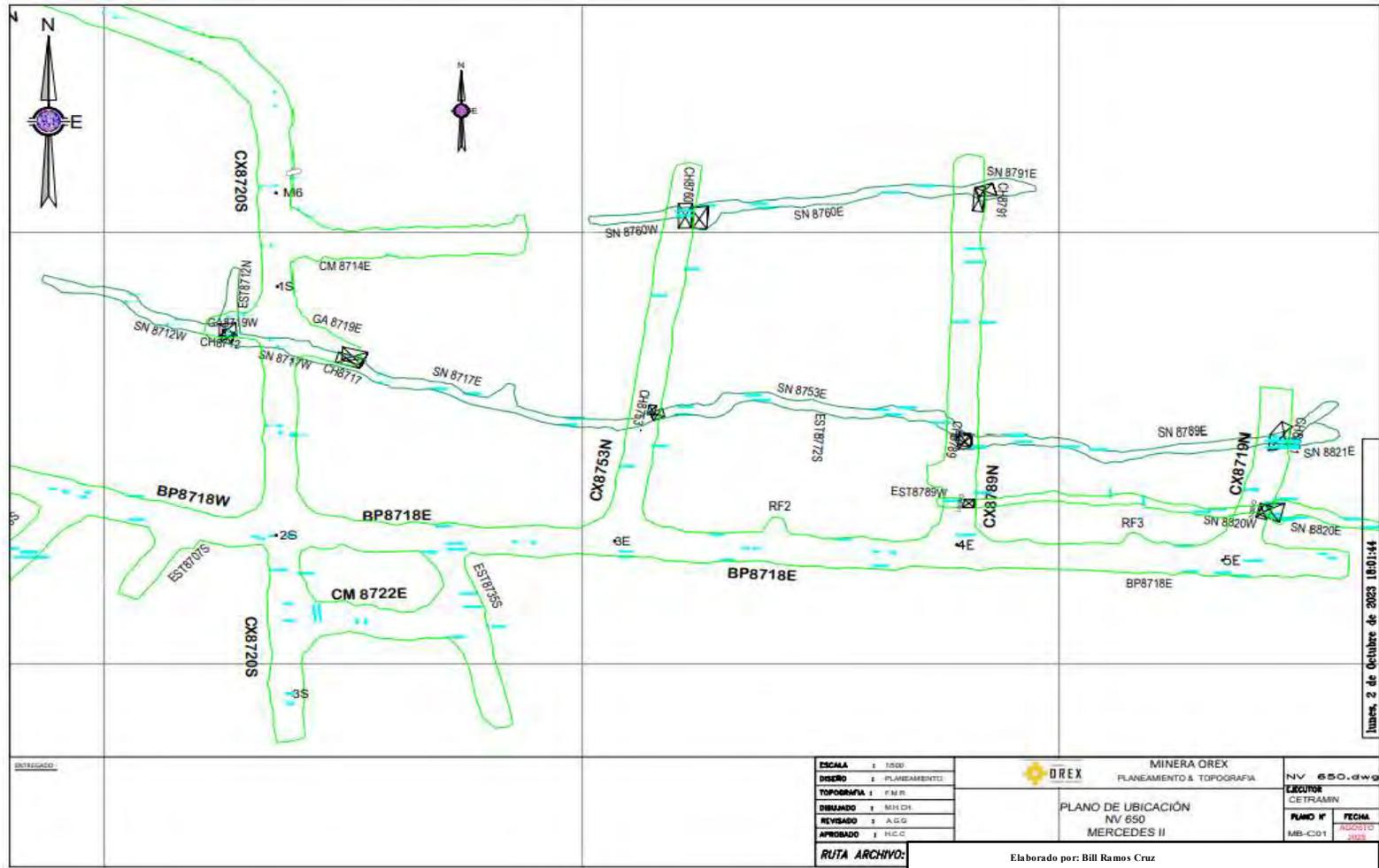
- El mapeo geomecánico sigue una secuencia definida, como se describe en el Procedimiento de Mapeo Geomecánico, que incluye métodos de clasificación GSI y RMR.
- Además de los especialistas en geomecánica, el personal de la mina, incluyendo jefes de zona, supervisores y obreros, utiliza cartillas geomecánicas GSI-RMR siguiendo el procedimiento respectivo de mapeo GSI.

4.4.MAPEO GEOMECÁNICO DEL CRUCERO 8753N

Considerando el estudio geomecánico realizado de la rampa principal y la estandarización de mapeos geomecánicos se procede a realizar la construcción del crucero 8753N de la zona mercedes en el nivel 650, para ello nos ubicaremos en la siguiente gráfica correspondiente al nivel 650 en la zona mercedes:

Figura 29: Plano ubicación 650 zona mercedes

Z



Fuente: U. E. A. SAN JUAN

En la figura anterior podemos observar el nivel 650 y los cruceros CX8719N, CX8789N, CX8753N Y CX8720, de estos, nos centraremos en el CX8753N para la investigación presente.

En la siguiente figura se puede observar el frente ubicado en la labor BP8718E donde se ilustra lo que vendría a ser posteriormente el crucero CX8753N:

Figura 30: Frente del crucero cx8753n



Fuente: Propia

4.4.1. CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI

La clasificación geomecánica se apoya en el índice RMR, conocido como "Rock Mass Rating", que evalúa la calidad del macizo rocoso considerando factores como la resistencia compresiva de la roca, el índice de calidad de la roca (RQD), el espaciamiento entre las juntas, la condición de las juntas en el macizo rocoso, la presencia de agua y la corrección por la orientación de características geológicas. Estos factores se cuantifican con parámetros definidos, sumando valores para obtener un índice de calidad del RMR en un rango de 0 a 100. En el crucero 8753N de la zona Mercedes, Nivel 650, se llevó a cabo un estudio geomecánico, resultando en los siguientes datos: Tipo de Roca III, Calidad de Roca Regular, RMR (MPa) 55, RQD (%) 25 – 50. Estos resultados son fundamentales para la toma de decisiones en el diseño del sostenimiento, proporcionando información valiosa sobre la estabilidad del macizo rocoso y contribuyendo al objetivo general de optimizar el sostenimiento en la mina San Juan de Chorunga, con especial atención a los costos asociados a la aplicación de medidas de sostenimiento.

En las siguientes imágenes se puede observar parte de las herramientas usadas y la condición a presentarse en la labor:

Figura 31: Herramientas usadas



Fuente: Propia

Figura 32: Condiciones del crucero cx8753n



Fuente: Propia

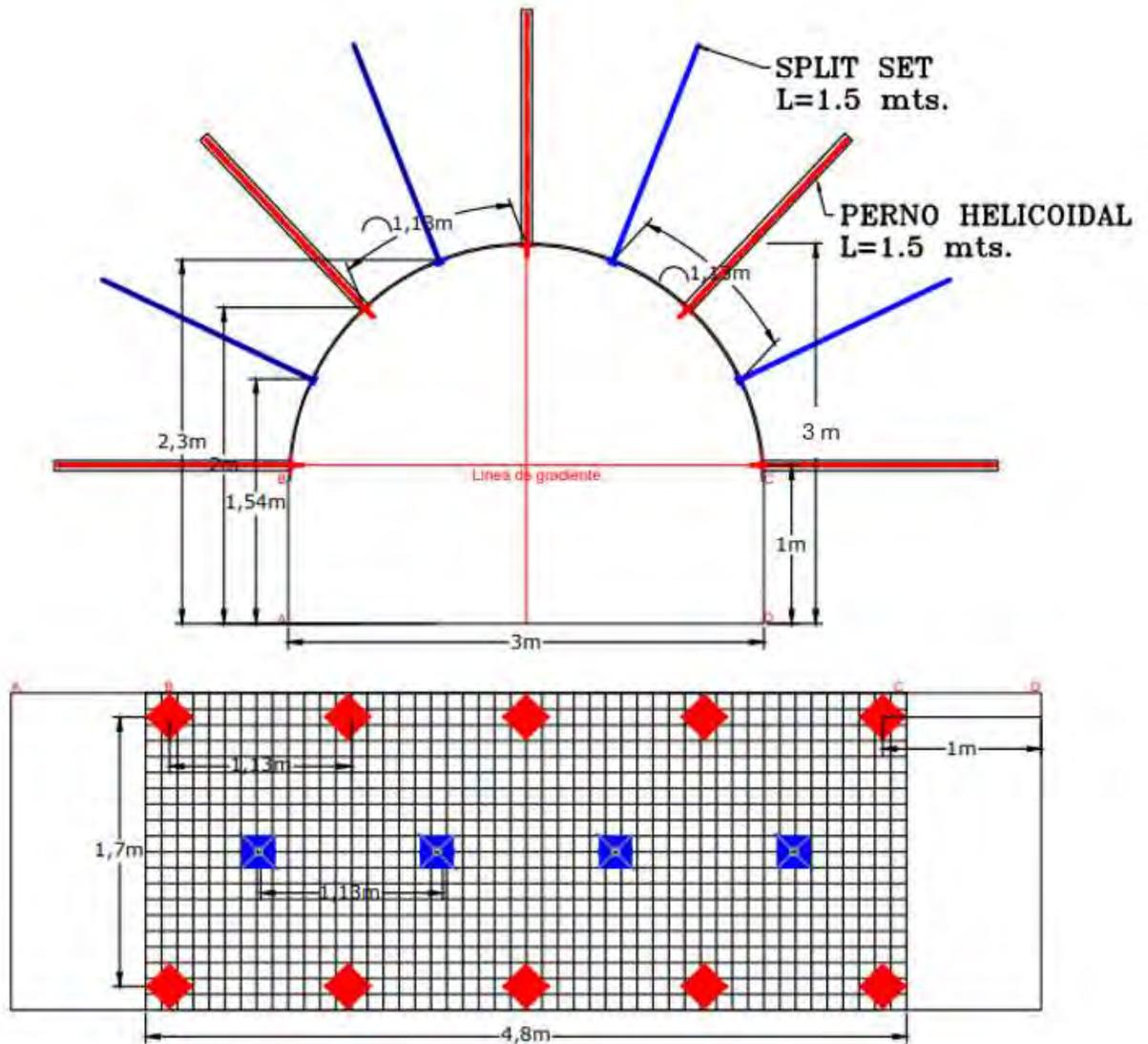
4.5.SELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO

Considerando los resultados del estudio geomecánico de la rampa y los resultados del mapeo geomecánico del crucero CX8753N, también la dimensión de la sección del crucero que es de 3m x 3m, se recomienda un sostenimiento para un tipo de roca III con un RMR en el rango de 41 a 60.

Se requiere el sostenimiento sistemático de pernos helicoidales, split set de 1.5m y malla electrosoldada de cocada 4x4 pulgadas.

En la siguiente imagen se puede observar el diseño del sostenimiento:

Figura 33: Diseño de sostenimiento



Fuente: Propia

Figura 34: Parámetros geomecánicos de la masa rocosa

PARAMETROS GEOMECAÑICOS DE LA MASA ROCOSA					
RES. COMP. UNI.	TIPO ROCA	RMR	GSI		
50-100	III	41-60	F/B-R		
TIPO DE SOSTENIMIENTO					
SEC. LABOR	CIMBRAS	CUADROS	PERNOS	MALLA	
3,0 x 3,0 m	NO	NO	5' E=1.7 m x1.13 m Distribución Rombica	SI (4x4)	
TIPO	DISEÑO DE SOSTENIMIENTO		LEYENDA		
	LABOR PERMANENTE	LABOR TEMPORAL	COLOR	TIPO	CALIDAD RMR
I	No requiere de sostenimiento.	No requiere de sostenimiento.	Blue	I	ROCA MUY BUENA > 80
II	Pernos/split set de 5' en donde requiere sostenimiento.	Sin soporte o puntal de seguridad ocasional.	Green	II	ROCA BUENA 61-80
III	Perno helicoidal 5' sistemático 1.7m x 1.2m con malla electrosoldada.	Puntales de seguridad sistemático. Las alternativas serán evaluadas por el área de Geomecánica.	Yellow	III	ROCA REGULAR 41-60
IV	Cuadro de madera espaciado a 1.2m de luz. Colocar machivante o guardacabeza OBLIGATORIO.	Puntales de seguridad a 1.5m de espaciamento con puntales de línea más guardacabeza. Cuadro de madera espaciado a 1.2m de luz. Colocar machivante o guardacabeza OBLIGATORIO. Las alternativas serán evaluadas por el área de Geomecánica.	Orange	IV	ROCA MALA 21-40
V	Cimbras H4 espaciadas a 1.2m de luz con machivante/guardacabeza o cuadro de madera espaciado a 1.5m de luz. Las alternativas serán evaluadas por el área de Geomecánica.	Cuadro de madera espaciados a 1.0 m de luz. Colocar machivante o guardacabeza OBLIGATORIO.	Red	V	ROCA MUY MALA < 20

Fuente: Propia

En la figura anterior podemos observar el detalle de los parámetros geomecánicos de la masa rocosa y el del tipo de sostenimiento.

**4.5.1. ESTÁNDAR OPERATIVO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL
SOSTENIMIENTO CON PERNOS HELICOIDALES, SPLIT SET Y MALLA
ELECTROSOLDADA**

El objetivo principal de este estudio es establecer directrices que faciliten la instalación eficiente de pernos helicoidales y split set con malla electrosoldada, con la finalidad de preservar la estabilidad de las aberturas subterráneas y asegurar la seguridad tanto de las personas involucradas en el proceso como de las instalaciones en sí. Este enfoque se orienta específicamente hacia la supervisión, maestros y ayudantes perforistas que desempeñan un papel crucial en la implementación del sostenimiento mediante estos tipos de pernos y malla. La aplicación de estas directrices se ajusta de manera estricta a las disposiciones legales establecidas

en la Ley 29783 de Seguridad y Salud en el Trabajo, así como en el Reglamento derivado de esta ley según el D.S. 005-2012-TR. Además, se alinea con el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, según lo estipulado en el D.S. 024 – 2016 EM, junto con sus modificaciones, como el D.S. 023-2017-EM.

4.5.2.1 ESPECIFICACIONES DEL ESTÁNDAR

- **HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE SEGURIDAD**
 - IPERC (identificación de peligros y evaluación de riesgos y control).
 - Orden de trabajo.
 - PETS (procedimiento escrito de trabajo seguro).

- **DE LA LABOR Y EL PERSONAL**
 - La labor debe estar ventilada y desatada.
 - Para labores permanentes (desarrollo), la supervisión de mina debe aplicar el sostenimiento recomendado de acuerdo con la tabla GSI actualizada.
 - La zona debe ser inspeccionada por el Geomecánico, jefe de sección, o supervisor de zona. Para casos críticos el personal Geomecánico evaluará la zona
 - Se requiere de 04 personas como mínimo para la instalación de los pernos.
 - Se debe tener en cuenta la dirección y buzamiento de las discontinuidades.
 - Se debe contar con un adaptador para la colocación de Split Set.

- Se debe contar con un adaptador para la colocación del perno helicoidal y tensionadores de malla.
 - No acumular taladros para la colocación de pernos helicoidales, taladro perforado perno helicoidal instalado.
 - la perforación será perpendicular al contorno de la excavación.
- DEL PERNO SPLIT SET
 - Los pernos para utilizar serán de 5 pies.
 - Diámetro del Split set debe utilizarse en labores temporales y en labores permanentes como pernos preventivos.
 - El Split set debe de instalarse de manera perpendicular a la roca. En caso de pernos sistemáticos, se debe seguir el estándar de distribución de pernos y split set según la sección de la labor.
- DEL PERNO HELICOIDAL
 - Acero estandarizado ASTM A615, grado 60 como mínimo, con resistencia a la atracción (Rt) de 6,330 kg/cm².
 - Los pernos helicoidales, deben instalarse de manera sistemática de acuerdo con el estándar de distribución de pernos según el tipo de roca y la sección de la labor.
 - Los pernos helicoidales serán utilizados solo en labores de larga duración o permanentes.
 - La longitud de los pernos para secciones de 3m x 2.4 m serán de 5' y el diámetro del perno será de 19 mm.

- El tramo que debe sobresalir el perno helicoidal fuera de la roca para realizar el ajuste debe ser máximo $\frac{1}{2}$ pie o 15cm. Y mínimo 10cm.
- La placa se deberá colocar una vez instalado el perno. No permite acumulación de taladros para sostenimiento
- DE LA MALLA ELECTROSOLDADA
 - Malla electrosoldada de 4 pulgadas de cocada, N° 8 (4.2 mm) y rollo de 2.0 mt.x25.0mt.
- DE LA PERFORACIÓN
 - El diámetro de las brocas para instalar pernos helicoidales será de 32mm (mínimo), 36 mm (máximo).
 - El diámetro de las brocas para instalar Split set será de 38 mm.
 - Para perno helicoidal de 5', la longitud del taladro será igual 1.40 m.
 - Para Split set de 5 pies, la longitud del taladro será igual a 1.6m.
 - Presión de aire mínimo de trabajo 70-80 PSI.
 - Presión de agua no menor de 3 kg/cm² y un caudal mínimo de 0.5 lt. / seg.
- DE LA PREPARACIÓN DE LOS PERNOS HELICOIDALES
 - Los pernos de barra helicoidal serán instalados con cartuchos de resina y cemento.
 - La dosificación es el siguiente por cada perno helicoidal se usará:
 - 02 resinas y 03 cementos (02 cartuchos de resina al fondo del taladro y completar con 03 cartuchos de cemento).

- La hidratación de los cartuchos de cemento es de 4 a 5 minutos o hasta que deje de “burbujear”.
- El batido de la resina es de 15 a 20 segundos, luego esperar 30 segundos para el fraguado completo antes de separar la máquina perforadora con el perno instalado.
- DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS PERNOS Y LA MALLA
 - En secciones de labores de 3m x 2.4 m en inclinado, los pernos se distribuirán en filas de 5x4, es decir la primera fila tendrá 5 pernos helicoidales distribuidos en toda la sección, la segunda fila tendrá 4 pernos Split Set y así en forma sucesiva e intercalada hasta completar toda el área a sostener, cumpliendo la malla de sostenimiento 1.7 mx1.3 m.
 - Se desenrollará la malla electrosoldada con la punta dirigida hacia el piso, cortar la malla requerida con la cizalla eliminando las puntas sobresalientes
 - Presentar la malla electrosoldada en el contorno de la sección de la labor a sostener con los tensionadores de malla.
 - La colocación de los pernos será en forma sistemática y radial, siendo los más perpendicular posible a la roca.
 - El traslape de mallas es de 30cm (tres cocos) y se debe colocar pernos helicoidales en estos.
 - La malla debe cubrir totalmente la corona y desde la gradiente de los hastiales.

4.5.2. ESTÁNDAR OPERATIVO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SOSTENIMIENTO CON CIMBRAS METÁLICAS

El objetivo es definir reglas que rijan la instalación eficaz de cimbras metálicas, garantizando la estabilidad y preservación de las aberturas subterráneas, y, por consiguiente, la seguridad de individuos e instalaciones. Este enfoque está dirigido a la supervisión, maestros y ayudantes perforistas que ejecutan labores de sostenimiento con cimbras metálicas, en conformidad con las siguientes normativas legales: la Ley 29783 de Seguridad y Salud en el Trabajo, el Reglamento derivado de esta ley según el D.S. 005-2012-TR, y el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería establecido por el D.S. 024 – 2016 EM, junto con su modificación, el D.S. 023-2017-EM. Estas pautas buscan instaurar estándares que fomenten la seguridad y salud ocupacional en el contexto de la instalación de cimbras metálicas, abordando las disposiciones legales pertinentes para asegurar un entorno laboral seguro y conforme a la normativa vigente.

4.5.2.2 ESPECIFICACIONES DEL ESTÁNDAR

- HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE SEGURIDAD
 - IPERC (identificación de peligros y evaluación de riesgos y control).
 - Orden de trabajo.
 - PETS (procedimiento escrito de trabajo seguro).
- DE LA LABOR Y EL PERSONAL
 - La labor debe estar ventilada y desatada.
 - La zona debe ser inspeccionada por el geomecánico, jefe de sección, o supervisor de zona para iniciar la instalación de cimbras metálicas. Para casos críticos se deberá informar al personal de geomecánica.

- DE LA CIMBRA METÁLICA

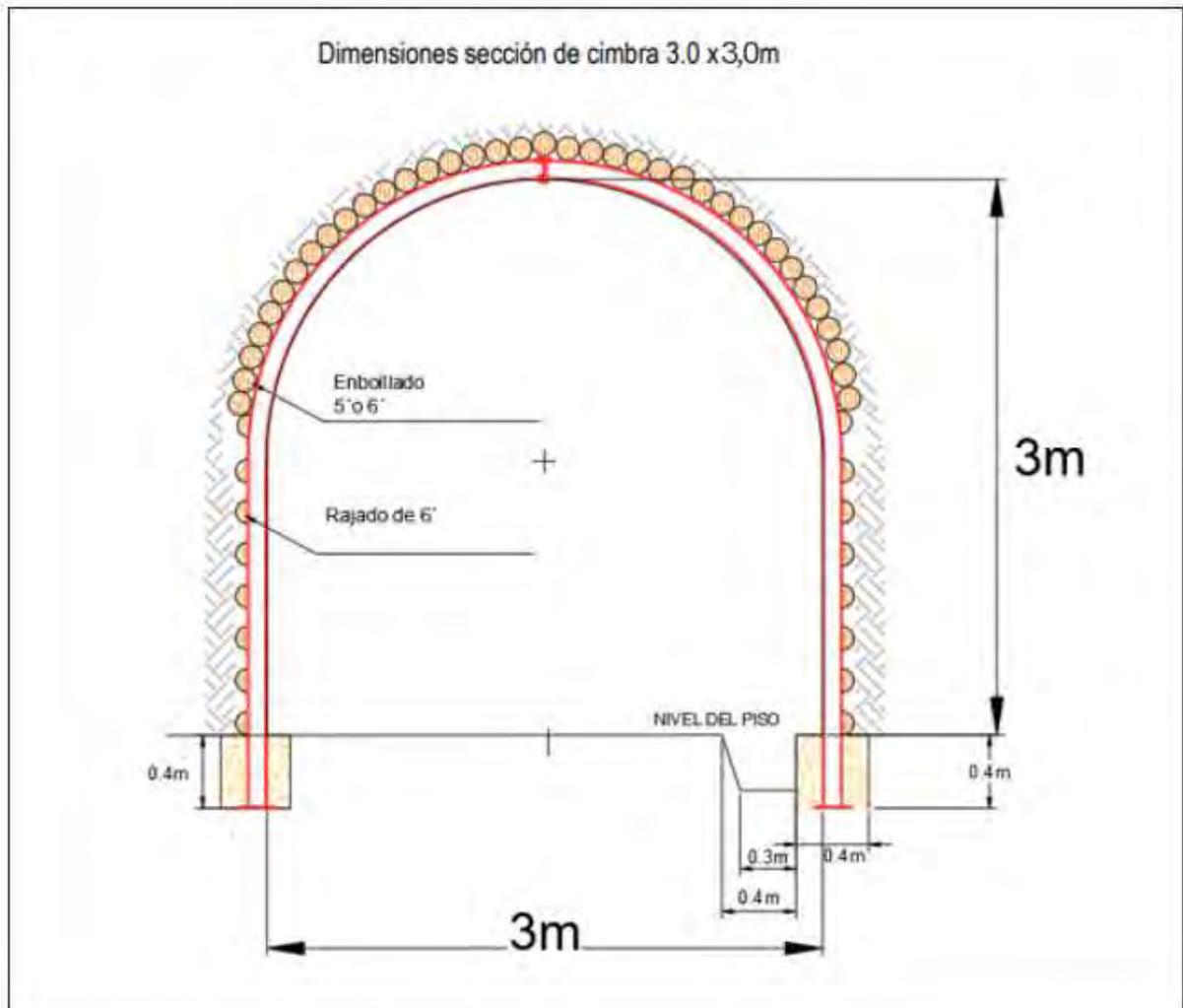
- Fabricado en dos (2) piezas para secciones de 2.1x2.40m, dos (2) piezas para secciones de 3.0x3.0m y cuatro (4) piezas para sección de 4.0x4.0m.
- Cimbra dimensiones = 2.1 x 2.55m / 3.0x3.40m / 4.0 x 4.40m (luz x altura)
- Perfil de cimbras = H (perfiles H de alas anchas)
- Norma técnica ASTM A-36
- Limite elástico (MPa) 370
- Resistencia (MPa) 640
- Alargamiento 18%

- DE LA INSTALACIÓN

- Las cimbras se instalarán en calidad de roca mala – muy mala, tipo IV o V.
- Utilizar cimbras H4x13 lbs para secciones de 2.1x2.4m.
- Utilizar cimbras H4x13 lbs para secciones de 3.0x3.4m.
- Utilizar cimbras H6x20 lbs para secciones mayores a 4.0x4.0m.
- Colocar marchavante de avance o guardacabeza (si el caso requiere).
- El espaciamiento de las cimbras será de acuerdo con la evaluación geomecánica.
- Preparar patillas de 0.3 mts. Para la base de la cimbra de 2.1x2.55m.
- Preparar patillas de 0.3 mts. Para la base de la cimbra de 3.0x3.40m.
- Preparar patillas de 0.4 mts. Para la base de la cimbra de 4.0x4.4m.

- El enrejado de las cimbras será con rajados de 6" de diámetro y en la corona con redondos de 5" ó 6" de diámetro.
- De presentar sobre excavación en hastiales, empaquetar con pequeños bloques de roca sobre las cimbras de tal manera que haya contacto con la superficie rocosa.
- Cuando la labor presenta realce en la corona colocar encribado con puntales hasta topear la corona.

Figura 35: Sostenimiento con cimbra metálica



Fuente: Propia

En la figura anterior se puede observar el diseño del sostenimiento con cimbras metálicas para una sección de 3x3.

4.6.CUANTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO

La determinación de la cantidad de pernos que deben instalarse se basa en la consideración del espaciado entre pernos en el mismo plano y en un plano paralelo correspondiente. El estándar para seguir será el siguiente:

Este estándar se aplica de manera específica a los tres tipos de roca identificados en el estudio geomecánico realizado en el crucero 8753N de la zona mercedes Nivel 650. De esta manera, se garantizará que se logre un factor de seguridad mayor a dos en toda la longitud de la excavación. Para ello se tiene la siguiente tabla donde se muestra la cantidad de mallas y pernos por metros de avance según las filas correspondientes y las observaciones consecuencia de la voladura realizada.

Esto nos permitirá tener un conteo de los elementos usados y en conjunto a los costos unitarios podremos tener los costos de sostenimiento.

A continuación, en las siguientes graficas observaremos los elementos usados para el sostenimiento del crucero:

Figura 36: Malla electrosoldada



Fuente: Propia

Figura 37: Split set



Fuente: Propia

Figura 38: Pernos helicoidal



Fuente: Propia

En la siguiente figura se puede observar el conteo total de elementos necesarios para el sostenimiento del crucero CX8753N de la zona mercedes en el nivel 650:

Tabla 10: Elementos de sostenimiento

 REPORTE DE SOSTENIMIENTO - CX 8753 N 										
L+A191:U216ABOR	FILA	INF	SUP	PROGR.	TURNO	MALLA NEGRA	PERNO HELIC.	SPLIT 5	SPLIT 2	DETALLE
CX 8753 N	1	0	1.7	0 - 1.7	N		5			
CX 8753 N	2			-		70		4		
CX 8753 N	3	1.7	3.4	1.7 - 3.4	D		5			
CX 8753 N	4			-		67		7		
CX 8753 N	5	3.4	5.1	3.4 - 5.1	N		5			
CX 8753 N	6			-		63		4		
CX 8753 N	7	5.1	6.8	5.1 - 6.8	D		5			
CX 8753 N	8			-		64		4		
CX 8753 N	9	6.8	8.5	6.8 - 8.5	N		5			
CX 8753 N	10			-		61		4		
CX 8753 N	11	8.5	10.2	8.5 - 10.2	D		5			
CX 8753 N	12			-		65		4		
CX 8753 N	13	10.2	11.9	10.2 - 11.9	N		5			
CX 8753 N	14					62		4		
CX 8753 N	15	11.9	13.6	11.9 - 13.6	D		5			
CX 8753 N	16					58		4	2	Cambia terreno a muy fracturado
CX 8753 N	17	13.6	15.3	13.6 - 15.3	N		5			Cambia terreno a muy fracturado,presencia de Veta
CX 8753 N	18					81		4	1	23+33+25
CX 8753 N	19	15.3	17	15.3 - 17	D		5	2		Cambia terreno a muy fracturado,presencia de Veta
CX 8753 N	20					76		5		Cambia terreno a muy fracturado,presencia de Veta
CX 8753 N	21	17	18.7	17 - 18.7	N		5			Cambia terreno a muy fracturado,presencia de Veta
CX 8753 N	22					74		4		Cambia terreno Fracturado
CX 8753 N	23	18.7	20.4	18.7 - 20.4	D		5			Cambia terreno Fracturado
CX 8753 N	24					69		4		Cambia terreno Fracturado
CX 8753 N	25	20.4	22.1	20.4 - 22.1	N		5			Cambia terreno Fracturado
				-		68	65	54	3	

Fuente: U. E. A. SAN JUAN

En la figura anterior se puede observar 68 elementos de la malla, 65 pernos helicoidales y 54 split set.

4.7.IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL CRUCERO

Para la implementación de sostenimiento designado y la construcción del crucero CX8753N de la zona mercedes en el nivel 650, se realiza la voladura correspondiente en el frente designado.

En la siguiente figura se puede observar los taladros perforados y la colocación de los explosivos, con el objetivo de extraer el material y avanzar con la construcción.

Figura 39: Taladros cargados en el frente del crucero CX8753N



Fuente: Propia

Posterior a la voladura se realiza la ventilación de la zona y se espera el tiempo adecuado según los estándares de seguridad para el acceso de personal al frente, donde se evalúa los resultados de la voladura como se puede observar en la siguiente figura:

Figura 40: Resultados de la voladura



Fuente: Propia

Como parte de la evaluación de los resultados se toma medidas de la sección y se realiza el desquinche de escombros del techo de la labor, como se puede observar en la siguiente figura:

Figura 41: Evaluación de la frente pos voladura



Fuente: Propia

Posterior a ello se realiza la extracción del material fracturado, esta extracción se realiza mediante equipos mineros como el scoop que se encarga de limpiar el frente como se puede observar en la siguiente figura:

Figura 42: Equipo de acarreo de material



Fuente: Propia

Para cada avance del crucero se repite el ciclo de minado siguiendo los estándares operativos y cumpliendo con la priorización de la seguridad en el trabajo. Posteriormente se realiza la colocación de los pernos y las mallas según las especificaciones del estudio geomecánico realizado. En la siguiente figura se puede observar parte de la instalación de los pernos de anclaje de la roca:

Figura 43: Ajustado de pernos



Fuente: Propia

En la siguiente figura se puede observar los resultados de la implementación del sostenimiento y la construcción del crucero CX8753N de la zona mercedes del nivel 650, el cual se construyó siguiendo los estándares operativos descritos anteriormente y con los criterios de diseño según el mapeo geomecánico y relacionado al estudio geomecánico de la rampa principal.

Figura 44: **Crucero CX8753N**



Fuente: Propia

4.8.COSTOS DE SOSTENIMIENTO

Con el propósito de calcular el costo global del sistema de sostenimiento óptimo que fue evaluado se presenta la siguiente tabla donde se puede observar la descripción detallada de los

costos de sostenimiento que tiene un total de S/.27886.34 el cual es el valor del costo de sostenimiento.

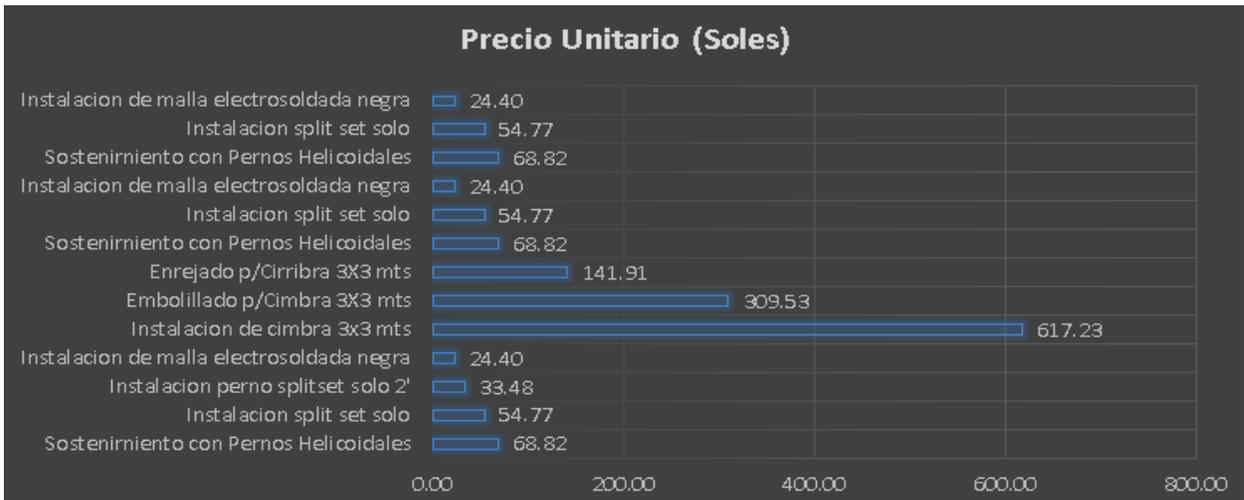
Tabla 11: Costo de sostenimiento

CECO	Cod	CONTRAT	FASE	ZONA	NV	LAB	CODI	TRABAJO REALIZADO	UNID.	P.U.	CANT	DES.	PAG	COSTO
90132	M13	CETRAMIN	PREPRACI3N	MERCEDES	650	CX	8753N	Sostenimiento con Pernos Helicoidales 5'	S/. / Pza	68.82	76.00		76.00	5,230.19
90132	M13	CETRAMIN	PREPRACI3N	MERCEDES	650	CX	8753N	Instalacion split set solo 5'	S/. / Pza	54.77	70.00	2.0	68.00	3,724.58
90132	M13	CETRAMIN	PREPRACI3N	MERCEDES	650	CX	8753N	Instalacion perno splitset solo 2'	S/. / Pza	33.48	3.00		3.00	100.45
90132	M13	CETRAMIN	PREPRACI3N	MERCEDES	650	CX	8753N	Instalacion de malla electrosoldada negra 4x4	m2	24.40	202.20		202.20	4,934.38
90132	M13	CETRAMIN	PREPRACI3N	MERCEDES	650	CX	8753N	Instalacion de cimbra 3x3 mts	S/. / Pza	617.23	4.00		4.00	2,468.93
90132	M13	CETRAMIN	PREPRACI3N	MERCEDES	650	CX	8753N	Embolillado p/Cimbra 3X3 mts	S/. / Pza	309.53	3.00		3.00	928.59
90132	M13	CETRAMIN	PREPRACI3N	MERCEDES	650	CX	8753N	Enrejado p/Cimbra 3X3 mts	S/. / Pza	141.91	6.00		6.00	851.49
90132	M13	CETRAMIN	PREPRACI3N	MERCEDES	650	CX	8753N	Sostenimiento con Pernos Helicoidales 5'	und	68.82	94.00		94.00	6,468.92
90132	M13	CETRAMIN	PREPRACI3N	MERCEDES	650	CX	8753N	Instalacion split set solo 5'	und.	54.77	1.00		1.00	54.77
90132	M13	CETRAMIN	PREPRACI3N	MERCEDES	650	CX	8753N	Instalacion de malla electrosoldada negra 4x4	m2	24.40	128.02		128.02	3,124.03
S/ 27,886.34														

Fuente: Propia

En la tabla anterior se tiene un detallado del costo de sostenimiento, donde tenemos los trabajos a realizar, los precios unitarios y la cantidad de trabajos a ejecutar, donde el total es de 27886.34 soles. Posterior al análisis económico del sostenimiento del crucero en mención se procedió a realizar una evaluación más detallada la cual se presenta posteriormente.

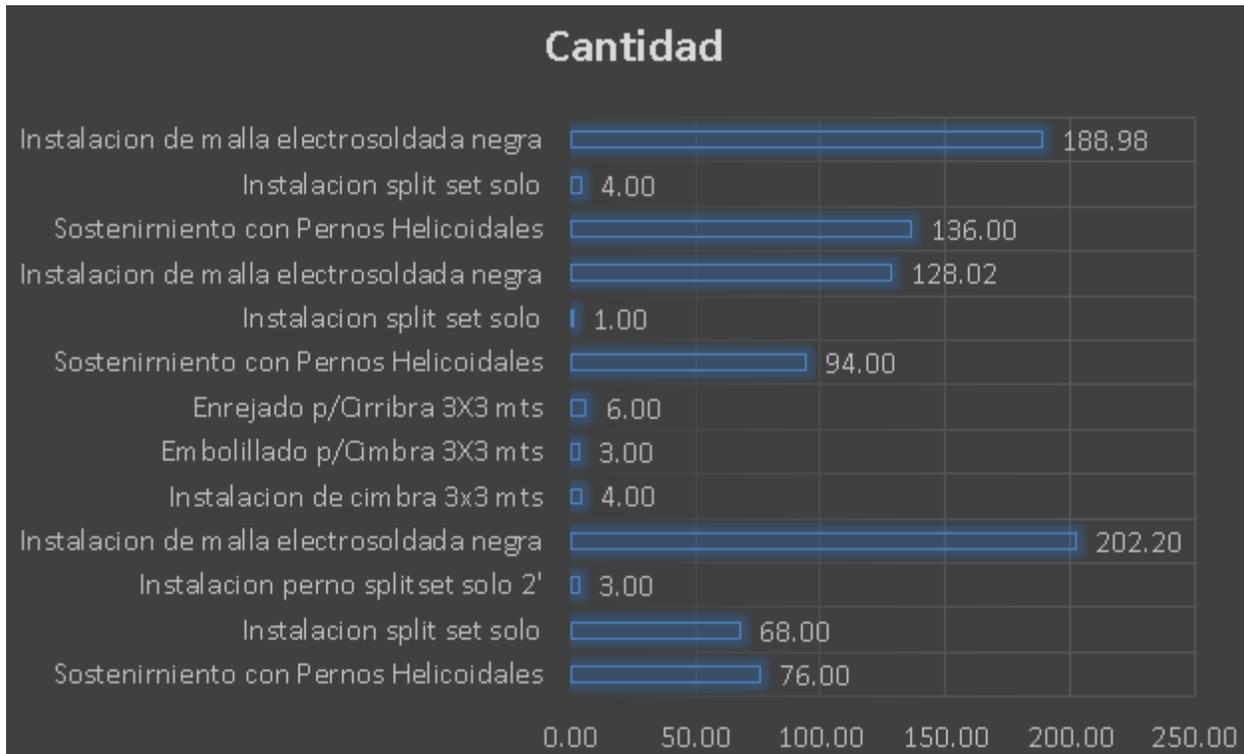
Gráfica 5: Trabajos a realizar y precios unitarios



Fuente: Propia

En la gráfica anterior se puede observar que el mayor costo unitario es el de la instalación de cimbras 3x3 mts con un costo de 617.23y el menor costo unitario esta es la de la instalación de malla electrosoldada negra.

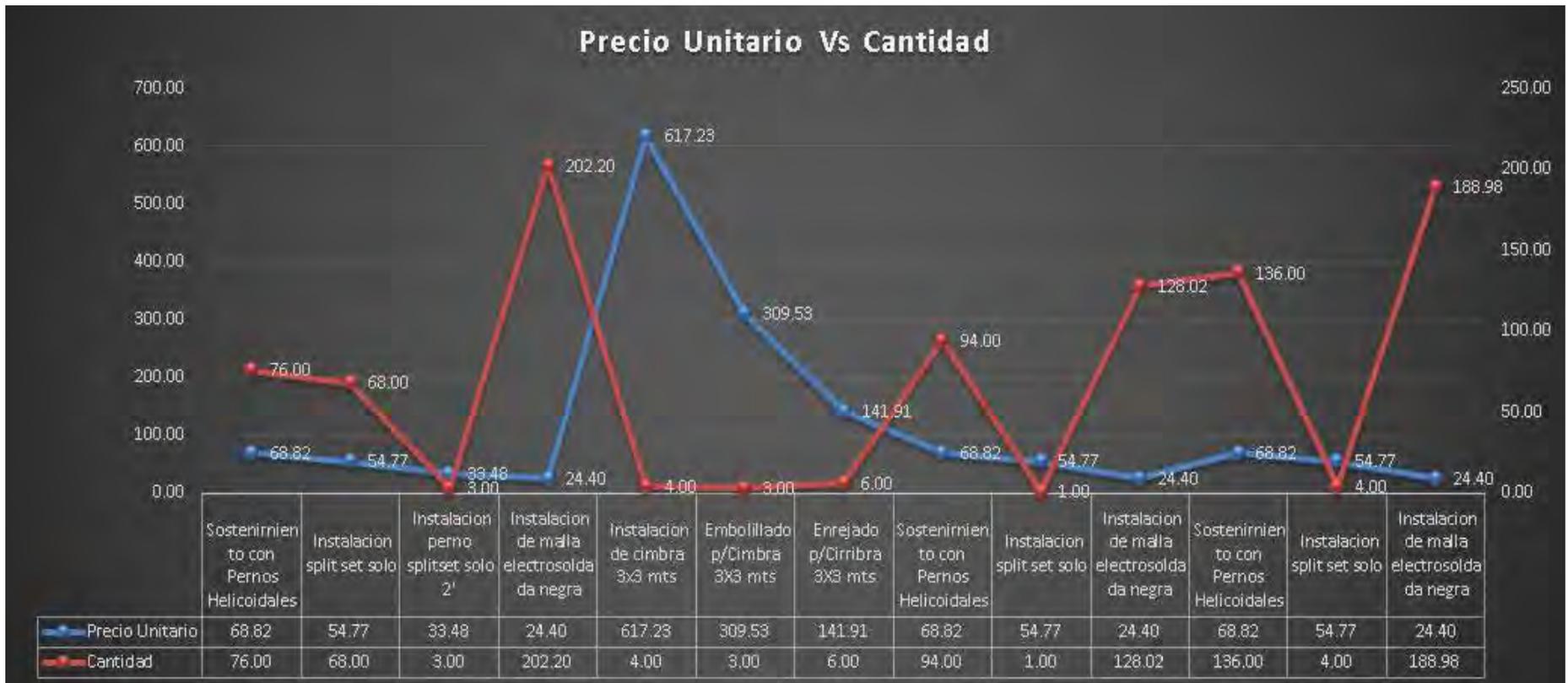
Gráfica 6: Trabajos a realizar y su cantidad



Fuente: Propia

En la gráfica anterior se puede observar la cantidad de trabajos a realizar, nótese que los trabajos que más se realizaron son los de la instalación de malla electrosoldada negra.

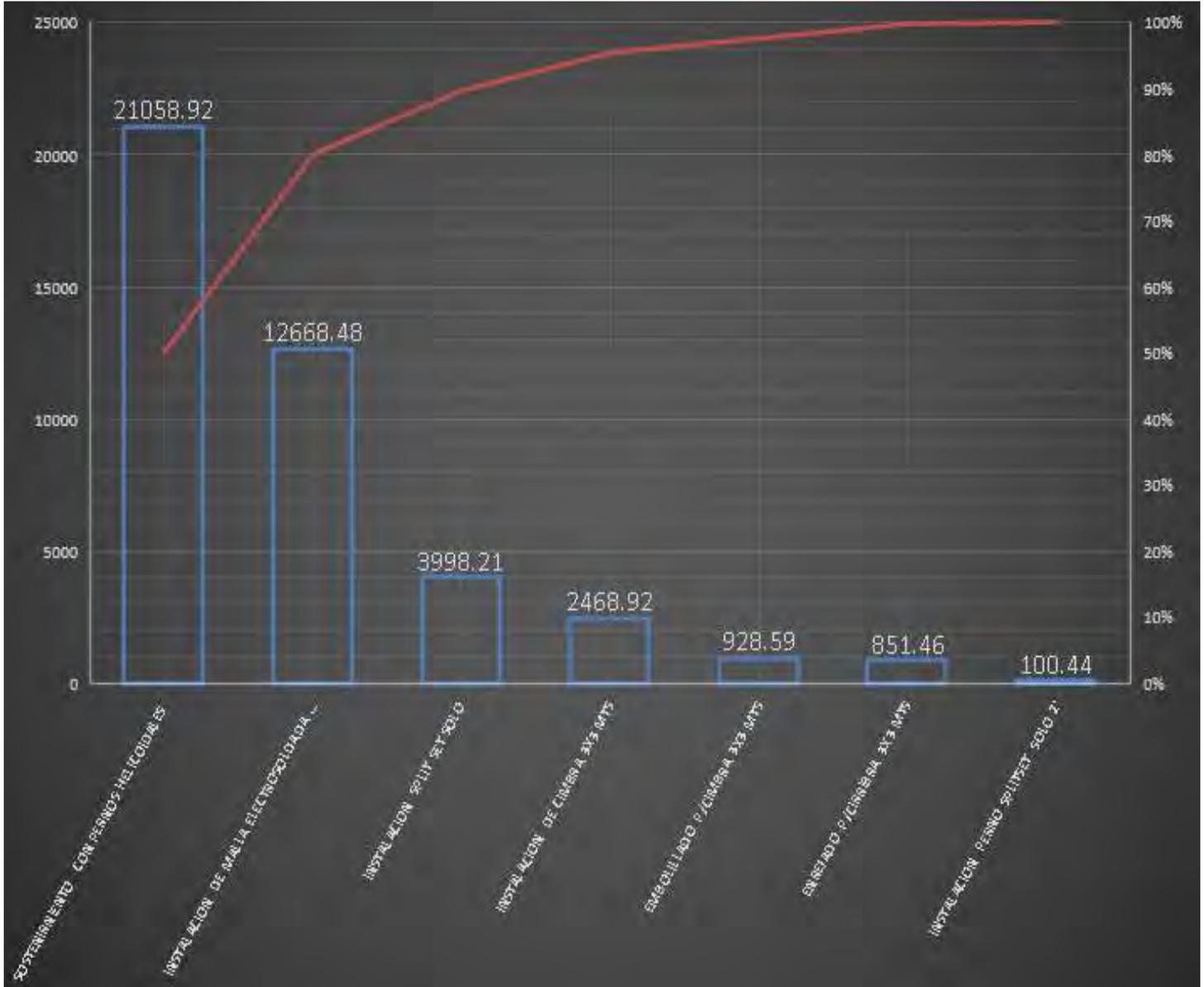
Gráfica 7: Cantidad vs precio unitario de trabajos realizados



Fuente: Propia

En la gráfica anterior se puede observar la comparativa de los precios unitarios y la cantidad de trabajos a realizar para el sostenimiento del cruceo destacando los valores de la instalación de cimbras de 3x3 mts como el mayor precio unitario.

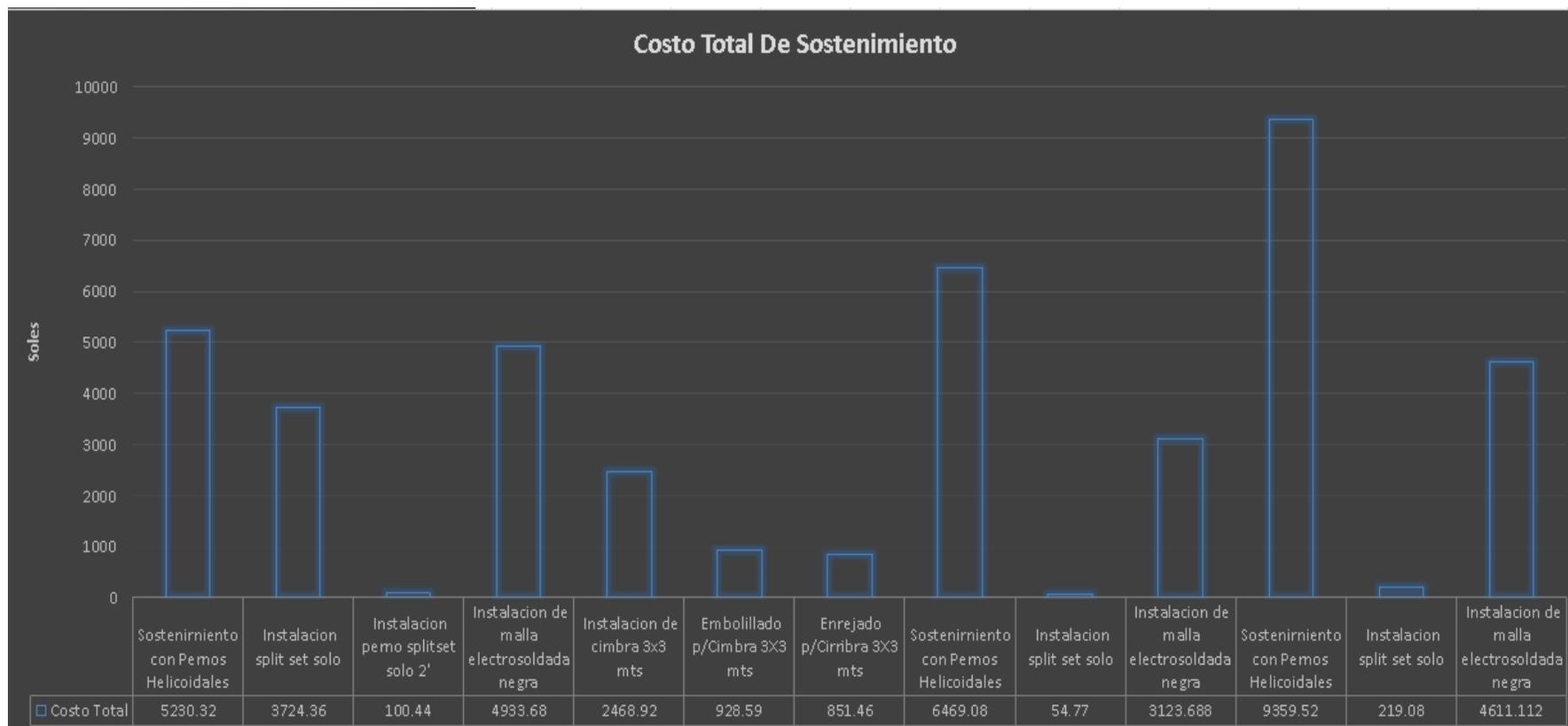
Gráfica 8: Pareto de los costos totales



Fuente: Propia

En la anterior gráfica se puede observar una gráfica de Pareto que nos muestra que el trabajo de sostenimiento con pernos helicoidales y la instalación de malla electrosoldada representan el 80% del costo total de construcción del crucero, teniendo a estas actividades como las principales que influyen en los costos de sostenimiento.

Gráfica 9: Costo total de sostenimiento



Fuente: Propia

En la siguiente gráfica se puede observar los trabajos a realizar en relación con los costos de sostenimiento del crucero, teniendo así el detalle por el costo total de sostenimiento.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la discusión de resultados de este proyecto geomecánico, se destacan elementos esenciales derivados del análisis en el crucero 8753N de la zona Mercedes, Nivel 650 de la Mina San Juan de Chorunga. Los resultados, obtenidos mediante evaluación geomecánica, ofrecen una comprensión clara de los desafíos y oportunidades asociados con el sostenimiento en esta área específica de la mina.

La identificación de factores geomecánicos emerge como un componente crucial para la mejora del sostenimiento en el crucero 8753N. Así como el autor (BECERRA RAMIREZ & CASTILLO RIAPIRA, 20179), coincide que la evaluación de la resistencia de la roca, la presencia de fracturas y otras características geomecánicas profundiza en la comprensión de las condiciones geológicas y geotécnicas del área, conduciendo a decisiones de sostenimiento más informadas y efectivas, directamente beneficiosas para la seguridad de las operaciones mineras.

La recomendación específica de un tipo de sostenimiento para una roca clasificada como tipo III, con un índice RMR en el rango de 41 a 60, subraya la importancia de considerar la clasificación geomecánica en la toma de decisiones. Esta clasificación sirve como guía valiosa para seleccionar el sostenimiento más adecuado, adaptado a las condiciones geomecánicas particulares del crucero 8753N. Este enfoque personalizado resulta esencial para abordar las complejidades geotécnicas y garantizar la efectividad del sostenimiento.

La discusión resalta también la relevancia de los parámetros geomecánicos identificados en el estudio, así como (QUISPE BASURCO & PORTAL CALDERÓN, (2021)) concluyen que la resistencia a la compresión uniaxial, resistencia al corte, módulo de deformación y orientación

de fracturas. Estos factores críticos desempeñan un papel fundamental en la determinación de estrategias de sostenimiento. La consideración detallada de estos parámetros establece una base sólida para la evaluación y selección del tipo de sostenimiento más adecuado, destacando la necesidad de un enfoque holístico en la planificación del sostenimiento en operaciones mineras.

CONCLUSIONES

El presente análisis geomecánico ha destacado su relevancia crucial en la selección del método de sostenimiento más idóneo para el crucero 8753N en la zona Mercedes, Nivel 650 de la Mina San Juan de Chorunga. Los descubrimientos geomecánicos proveen información indispensable para la toma de decisiones en cuanto al tipo de sostenimiento a implementar en esta área. Este enfoque personalizado resulta esencial para abordar las complejidades geotécnicas y garantizar la efectividad del sostenimiento. Se determinó que la implementación de pernos helicoidales y malla metálica electrosoldada es ideal para las condiciones específicas del lugar.

La identificación de factores geomecánicos ha contribuido significativamente a mejorar el sostenimiento en el crucero 8753N de la zona Mercedes, Nivel 650 de la Mina San Juan de Chorunga. Se evaluaron características como la resistencia de la roca y la presencia de fracturas, resultando en un índice de calidad del macizo rocoso (RMR) entre 41 y 60. Esto permitió una comprensión más profunda de las condiciones del área y llevó a la elección precisa de pernos helicoidales, Swellex y shotcrete para garantizar la estabilidad y seguridad del crucero.

La recomendación específica de un tipo de sostenimiento para una roca clasificada como tipo III, con un índice RMR en el rango de 41 a 60, subraya la importancia de considerar la clasificación geomecánica en la toma de decisiones. Con base en estos datos, se propuso el uso de una combinación de pernos helicoidales, Swellex y malla metálica electrosoldada, además de shotcrete. Estos elementos se seleccionaron por su capacidad de adaptarse óptimamente a las condiciones geomecánicas del crucero 8753N.

En términos de costos, el estudio geomecánico permite mejorar la asignación de recursos y la planificación de las operaciones de sostenimiento. El costo total del sostenimiento recomendado asciende a 27,886.34 soles, desglosado en una tabla detallada que describe los

trabajos a realizar, precios unitarios y cantidades necesarias. Este enfoque no solo mejora la seguridad y estabilidad de las estructuras subterráneas, sino que también contribuye a una gestión más eficiente de los costos asociados con el sostenimiento en el cruceo 8753N.

RECOMENDACIONES

Se recomienda la implementación de un sistema de sostenimiento que incluya los siguientes elementos: pernos helicoidales, malla metálica electrosoldada y concreto lanzado. Estos elementos deben utilizarse estratégicamente en función de las características geomecánicas de cada sector de la mina. Los pernos helicoidales son ideales para zonas con riesgo de fracturación y desprendimientos, mientras que el split set es efectivo en rocas menos competentes. La malla metálica y el concreto lanzado proporcionarán un soporte adicional en áreas críticas.

El diseño y espaciamiento de los elementos de sostenimiento deben basarse en las recomendaciones específicas del estudio geomecánico y la geología local. Es fundamental considerar los valores de resistencia y las características de fracturación de la roca en cada sector. Además, se debe establecer un monitoreo continuo para evaluar la efectividad de los elementos de sostenimiento y realizar ajustes en el diseño según sea necesario.

Se debe implementar un plan de mantenimiento preventivo que incluya inspecciones regulares de los elementos de sostenimiento. Esto garantizará que los pernos, split set, malla metálica y concreto lanzado estén en buenas condiciones y cumplan su función de manera óptima. El personal debe estar capacitado en la instalación adecuada de estos elementos y en la identificación de posibles problemas geomecánicos, ya que su conocimiento y experiencia son esenciales para mantener la seguridad en la mina.

Además, se recomienda establecer un sistema de monitoreo geomecánico continuo que incluya la medición de la deformación de la roca, la presión en las zonas de sostenimiento y la detección temprana de cualquier signo de inestabilidad. Los datos recopilados deben utilizarse

para tomar decisiones informadas sobre la seguridad de la mina. Finalmente, se debe realizar una evaluación periódica de los costos asociados a la implementación y mantenimiento de los elementos de sostenimiento, comparando estos costos con los beneficios en términos de seguridad y continuidad operativa.

Estas recomendaciones están diseñadas para garantizar la seguridad de la operación minera en la Mina San Juan de Chorunga y deben ser implementadas de manera integral y constante para prevenir incidentes geomecánicos y mantener la estabilidad de la excavación.

BIBLIOGRAFÍA

BECERRA RAMIREZ, A. F., & CASTILLO RIAPIRA, E. Y. (20179). *Estudio geomecánico para las minas Esperanza y Zarzal pertenecientes a la concesión minera fiu – 151, municipio de Gameza, Boyacá*. TESIS, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

BIENIAWSKI. (1989). *ENGINEERING ROCK MASS CLASSIFICATIONS*.

GONZALES AYALA, C. A. (2018). *REDUCCIÓN DE COSTOS EN SOSTENIMIENTO PARA LABORES TEMPORALES EN ROCA TIPO IIIB CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE SOSTENIMIENTO CON SPLIT SET Y MALLA ELECTROSOLDADA - LABOR U (-80) V4 145 AZ - EN LA UNIDAD MINERA HUANZALA*. TESIS, UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO, FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y METALURGIA.

HERGENRETH PEREZ, P. D. ((2017)). *Consideraciones Geomecánicas en el Diseño de secciones tipo para un Túnel Minero*. UNIVERSIDAD DE OVIEDO , OVIEDO - ESPAÑA.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). Ciudad de Mexico, México: Mc Graw Hull Education.

HOEK, H., KAISER, P., & BAWDEN, W. (1995). *SUPPORT OF UNDERGROUND*.

LIMAS SAMANIEGO, C. E., & MOLINA VERA, R. (2021). *"MEJORA DE LA PERFORACIÓN CON BARRAS CÓNICAS, MEDIANTE LA MINIMIZACIÓN DE ERRORES DE DESVIACIÓN DE TALADROS EN LA UNIDAD MINERA SAN JUAN DE*

CHORUNGA". TESIS DE PREGRADO, UNIVERSIDAD CONTINENTAL, ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS, HUANCAYO.

ÑAUPAS PAITAN, H., VALDIVIA DUEÑAS, M. R., PALACIOS VILELA, J. P., & ROMERO DELGADO, H. E. (2018). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA . CUALITATIVA Y REDACCIÓN DE LA TESIS*. EDICIONES DE LA U.

QUISPE BASURCO, A. V., & PORTAL CALDERÓN, M. ((2021)). *ESTUDIO DEL SOSTENIMIENTO ACTIVO Y PASIVO EN LABORES DE AVANCE TEMPORALES Y PERMANENTES EN UNA MINA DE ORO SUBTERRÁNEA EN LA LIBERTAD*. UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE.

VASQUEZ, H. A. (1993). *ESTUDIO GEOLOGICO- GEOTECNICO DEL TUNEL PRINCIPAL DE LA MINA GRACIELA - SANTA CECILIA - PERU BAR [TESIS PARA TITULO PROFESIONAL, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA*. REPOSITORIO INSTITUCIONAL.

ZUÑIGA FERNÁNDEZ, R. V. (2014). *"MODELO GEOLÓGICO- ESTRUCTURAL Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA VETA SAN JUAN DE CHORUNGA CONDESUYOS- AREQUIPA"*. TESIS DE PREGRADO, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN, ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, GEOFÍSICA Y MINAS, AREQUIPA.

ANEXOS

ANEXO 1

1. ÁMBITO DE ESTUDIO Y GEOLOGÍA

1.1.UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La concesión minera “San Juan de Chorunga”, está ubicado en el flanco occidental de los andes, el gran batolito costanero del sur del Perú, en el extremo sur de la “Franja aurífera”, Nazca – Ocoña, área de desarrollo de las operaciones de la Compañía Minera CENTURY MINING PERÚ S.A.C, Se encuentra ubicado en el paraje San Juan, distrito de Río Grande, provincia de Condesuyo en la región de Arequipa. Coordenadas UTM Coordenadas Geográficas Norte: 8 241 180.000 Latitud: 16° 54' 07'' S Este: 709 114.000 Longitud: 73° 02' 06'' W Altitud: 731.850 m.s.n.m. Hoja: 32 - P Zona: 18 Datum: PSAD 56 Las coordenadas UTM se tomaron como referencia el punto centro del campamento.

1.2.ACCESIBILIDAD

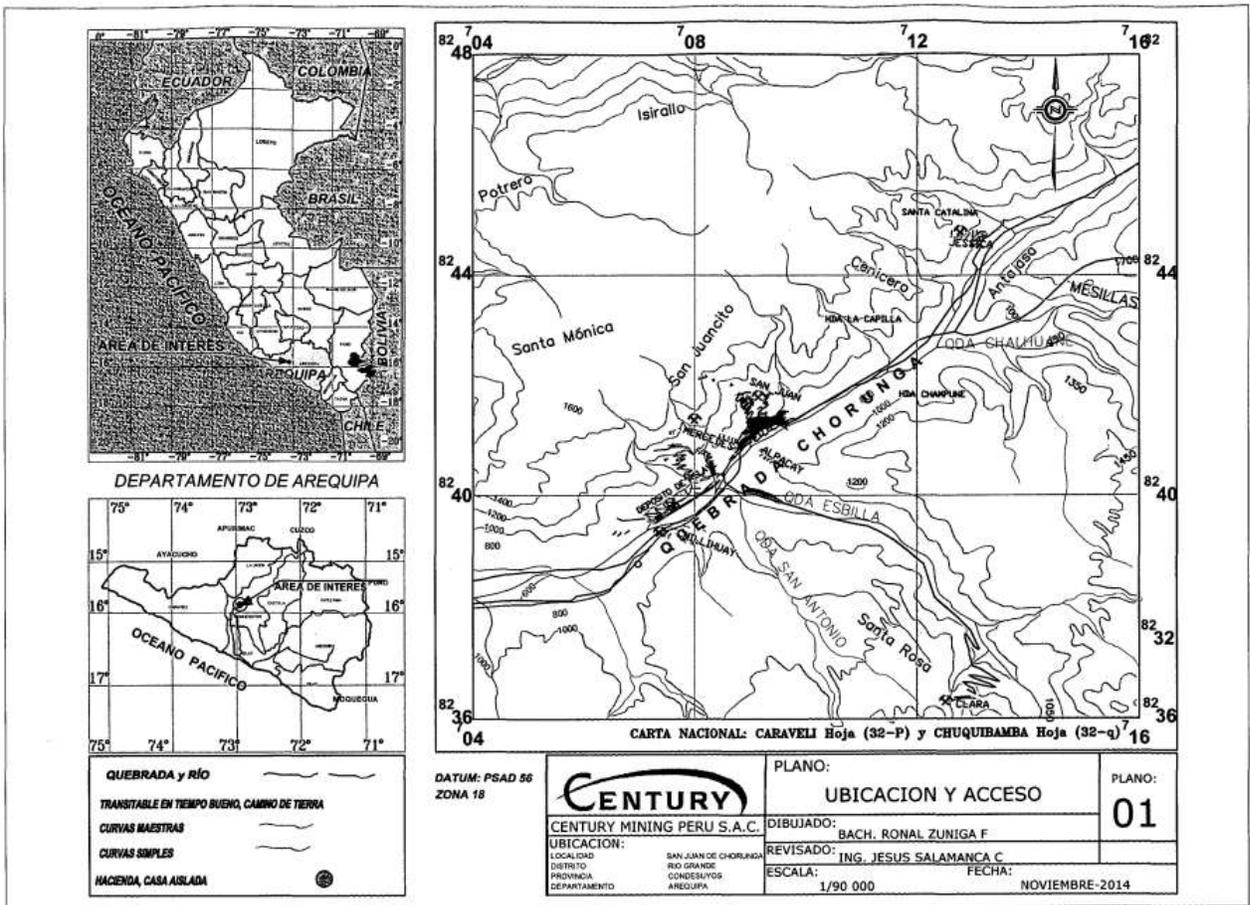
El acceso a la concesión minera “San Juan de Chorunga”, es realizado por vía aérea y terrestre, el recorrido es detallado en las tablas siguientes: El acceso desde la ciudad de Lima es por la panamericana Sur, hasta la localidad de Ocoña en el Km., 785 de donde se ingresa hacia el Este, por la quebrada del mismo nombre, siguiendo la carretera afirmada hasta llegar al poblado de Alto Molino, de dónde se ingresa por la quebrada Chorunga hasta el campamento San Juan Pampa.

Tabla 12: Accesibilidad

RUTA	TRAMO	VIA	DISTANCIA(Km)	TIEMPO(Horas)
1	Lima - Arequipa	Aérea	856	1h 10 min
2	Arequipa - Ocoña	Asfaltada	245	3h 00 min
3	Ocoña – Concesión de Beneficio “San Juan de Chorunga”	Afirmada	75	2h 10 min
	Total		1176	6h 20 min

Fuente: Propia

Figura 45: Ubicación y acceso



Fuente: Propia

1.3. CLIMA Y VEGETACIÓN

En general el clima de la zona es cálido y seco similar al que se presenta a lo largo de la costa del sur del Perú, bastante árido del tipo desértico con una humedad relativa muy por debajo de lo 85%. En los meses de verano (enero–abril) ocurren precipitaciones pluviales esporádicas en

el área, y cuando las hay, son mayormente de carácter torrencial, en los meses de mayo a octubre la estación es normalmente seca; una característica es la ocurrencia de fuertes vientos generalmente por las tardes, con dirección Oeste-Este.

La temperatura promedio es de 15°C, en invierno es de 10°C y en verano llega a los 32°C.

La variación de la temperatura es:

Máxima en Verano: 32°C

Mínima en Verano: 15°C

Máxima en Invierno: 18°C

Mínima en Invierno: 6°C

La precipitación durante el año varía de la siguiente manera:

Precipitación mensual máxima extremo: 4 mm

Precipitación promedio mensual: 2 mm

Precipitación mensual mínima: 0.3 mm

Precipitación anual: 24 mm

La humedad relativa promedio mensual es: 75%

La evaporación varía en rangos de:

Evaporación mensual máxima: 141.4 mm

Evaporación mensual mínima: 107.9 mm

Evaporación promedio mensual: 123.2 mm

La flora está constituida mayormente por productos de pan llevar (papa, habas, maíz, etc.), además se encuentra variedad de árboles frutales en el valle del Rio Chorunga, asimismo la población lugareña se dedica a la producción e importación de vino. La fauna silvestre

compuesta por aves, reptiles y anfibios que se encuentran en la zona son las siguientes: guanaco, zorro gris de la costa, garza grande, aguilucho, gallinazo, halcón, lechuza, lagartija. La fauna doméstica está compuesta por ganado vacuno y ovino.

1.4. TOPOGRAFÍA Y DRENAJE

La mina está ubicada en la unidad geomorfológica conocida como "Meseta Costera". Esta unidad se caracteriza por un terreno suavemente ondulado formando una meseta con algunas pequeñas elevaciones que van desde los 1.200 a los 2.400 metros sobre el nivel del mar. Estas elevaciones discurren paralelas a la mina, desde la costa, y han sido cortadas por profundas quebradas al este por la quebrada seca del Chorunga y al oeste por el río Ocoña. En la zona minera, la topografía es moderadamente accidentada debido a que está diseccionada por una quebrada poco profunda y escarpada que fluye hacia el sureste hasta unirse a la quebrada Chorunga. Dentro de estas zonas destacan el valle del río Ocoña y la quebrada Chorunga; Las laderas de este barranco secundario tienen superficies de erosión bien definidas y forman pequeños y pronunciados acantilados. Las elevaciones son considerables, y en su conjunto, presentan un aspecto escarpado con grandes pendientes llamado la "Meseta Costera".

El drenaje de la zona se caracteriza por ser mayormente del tipo dendrítico a sub-paralelo en las rocas intrusivas y sedimentarias respectivamente. Ofrece los mismos elementos del valle y quebradas con la diferencia de que en el valle no es triangular sino alargado e interrumpido por cañones que las aguas han abierto en el corazón de la roca que sustentan a las montañas; a nivel regional el agua de ríos y quebradas confluyen al río Ocoña. La cuenca de captación fluvial se encuentra en el flanco este que provienen del deshielo del nevado Coropuna en dirección sur-oeste y al oeste la confluencia del río Marañón con otros ríos en dirección sur-este que se unen en Chacabamba, a lo largo de sus recorridos vierten sus aguas ambas cuencas y se unen en Iquique

donde nace el río Ocoña. Localmente el río Grande discurre con dirección NE-SW, su caudal es permanente durante todo el año, aumentando éste considerablemente en los meses de verano debido a las intensas lluvias que ocurren en las partes altas.

1.5.GEOMORFOLOGÍA

Regionalmente se diferencian tres unidades geomorfológicas principales, las mismas que fueron consecuencia de los ciclos erosivos producto del levantamiento Andino; así tenemos.

VALLES

Como resultado de las diferentes etapas de erosión valle-cañón, se forman numerosos barrancos y valles profundos que fluyen hacia la costa. Los ríos descienden de la Cordillera Occidental y cuando forman los valles principales como Ocoña y Caravelí, lo hacen con una pendiente más suave y lechos anchos, y desembocan en el Océano Pacífico. En las laderas de estos valles, la actividad erosiva se reduce debido a su suave pendiente y al hecho de que están compuestos por rocas intrusivas.

Figura 46: Geomorfología



Fuente: Propia

ESCARPA COSTERA

Esta unidad corresponde al relieve formado por la cadena costanera, hacia la costa terminan bruscamente en el Océano Pacífico y las playas litorales son casi ausentes salvo las desembocaduras de los grandes valles dichas escarpas se encuentran constituidas por rocas

antiguas como metamórficas, graníticas y sedimentarias con edades desde el precámbrico hasta el mesozoico.

MESETA COSTANERA

Esta zona forma parte de la llanura costera y tiene un relieve bajo y ondulado con una suave pendiente hacia el suroeste. Se eleva bruscamente hacia el noreste, formando los flancos de la Cordillera de los Andes. Litológicamente, la llanura de Caravelí está formada por la acumulación de depósitos continentales y marinos del Terciario Cuaternario. Debido a los diferentes ciclos erosivos, existen cerros aislados de baja altura. Esta unidad geomorfológica limita al Este con la Cordillera Occidental y al Oeste con la Cordillera Costera. Forma parte de la depresión tectónica longitudinal que se extiende a lo largo de toda la franja costera entre Ica y Tacna, casi paralela a la línea de costa.

Figura 47: Meseta costanera



Fuente: Propia

1.6.GEOLOGÍA GENERAL

El yacimiento aurífero de San Juan de Chorunga, es un yacimiento típico del metalotecto del batolito de la Costa. Es decir, de vetas de cuarzo con sulfuros de pirita diseminada, emplazadas en cajas de intrusivo granodiorítico (unidad tiabaya) y cuarzo monzonítico (unidad

linga). Las vetas de cuarzo son de potencia variables que van de unos cms, hasta 2 mts aproximadamente.

1.7.GEOLOGIA REGIONAL

La geología regional está comprendida por rocas metamórficas, sedimentarias y volcano sedimentarias que en edad van desde el precambriano al cuaternario reciente

COMPLEJO BASAL (PE-gn)

La formación rocosa en el área de estudio consiste principalmente en rocas metamórficas como gneis, granito de potasio, diques de composición básica a intermedia y pequeños cuerpos tabulares de pegmatita garnetífera. Afloramientos de esta secuencia litológica se encuentran en los flancos del río Ocoña. Mineralógicamente, estos gneises tienen una composición granítica, en su mayoría con un tono gris oscuro y bandas claras y oscuras que tienen un espesor aproximado de 0,5 cm a 2 cm. Los estudios microscópicos revelan que están compuestos por un 15% a un 20% de ortoclasa y un 10% de plagioclasa. Las bandas oscuras a negras consisten en biotita y otros minerales ferromagnesianos, así como moscovita, clorita, sericita, esfena y circón. En la margen derecha del río Ocoña, al sur de Cerro Ancha, las rocas metamórficas se encuentran como techos colgantes sobre intrusiones del Batolito Costero.

Edad y Correlación

La edad del complejo basal de la costa de esta área se infiere en base al metamorfismo regional que presenta permitiendo correlacionarlo con el afloramiento expuesto en el sur del Perú, en el que se ha realizado dataciones radiométricas, con el método de Rb/S, dando edades de 600 a 2000 m.a. indicando que se trata de rocas pertenecientes al Precámbrico. Afloramientos similares se encuentran en los cuadrángulos de Atico, Ocoña, Camaná y la Yesera.

GRUPO YURA (JsKi-yu)

Denomina al conjunto de rocas sedimentarias como Formación Yura, regionalmente solo ocurren afloramientos de las formaciones Cachios y Labra que se encuentran bastantes falladas, plegadas, y se le ha mapeado como una sola unidad. La parte superior, llamada Formación Hualhuaní, aflora principalmente en el cuadrángulo de Pausa, con un grosor de 250m. La Formación Gramadal se presenta bastante delgada y lenticular, en paquetes de 5 a 8 m de espesor y está incluida en las unidades inferiores, litológicamente predominan areniscas y lutitas en la parte superior, haciéndose más pelítica en su parte inferior.

FORMACIÓN CACHIOS LABRA (Js-laca)

Litológicamente predominan areniscas y lutitas en la parte superior, haciéndose más pelítica en su parte inferior. En la parte sur del cerro Iquipí se encuentran pequeños afloramientos de areniscas cuarcíticas de coloración gris oscuro a negro con intercalaciones de capas delgadas de pizarras negras. Estos afloramientos se encuentran intruídos y metamorfozados por apófisis hipabisales del Complejo Bella Unión. En la carretera Cuno Cuno - Iquipí se encuentran afloramientos de las formaciones Cachios Labra, los mismos que están constituidos por aproximadamente 280 m. de grosor de areniscas de color gris, de grano medio, interestratificadas con cuarcitas de color blanquecino en capas de 10 a 50 cm. de grosor y algunos niveles delgados de lutitas de color gris oscuras a negras. Estas unidades se encuentran intruídas por apófisis de rocas hipabisales del Complejo Bella Unión, así como por diques de microdiorita, yaciendo discordantemente sobre el complejo basal.

Edad y Correlación

El tiempo de sedimentación de las formaciones Cachios Labra de la región Arequipa, ha sido datado entre el Titoniano - Oxfordiano, (Jurásico superior).

ROCAS INTRUSIVAS VOLCÁNICAS

Las rocas intrusivas volcánicas se han diferenciado teniendo en cuenta su cronología y nivel de emplazamiento.

COMPLEJO BELLA UNIÓN (Kms-bu)

Está constituido por una serie de cuerpos pequeños de composición andesítica a dacítica con afloramientos discontinuos siguiendo el patrón estructural andino, emplazados en el flanco oeste del batolito costanero. En ambos márgenes del río Ocoña afloran otra serie de estos intrusivos en pequeñas dimensiones que intruyen y metamorfizan a rocas del complejo basal. Petrográficamente su composición varía de andesita afanítica a una dacita porfirítica, predominando la primera. En las dacitas el cuarzo se encuentra en menor proporción que las plagioclasas. En el margen derecho del río Ocoña estos cuerpos hipabisales han originado zonas mineralizadas en sus contactos con rocas metamórficas e intrusivas. En el margen izquierdo estas rocas son factores de mineralización.

ROCAS INTRUSIVAS PLUTÓNICAS

BATOLITO DE LA COSTA

El Batolito de la Costa ha sido emplazado en forma alargada, paralela y cerca del litoral, con rumbo de grandes zonas de fallamiento y fracturamiento emplazadas en los márgenes entre placa continental y marina del continente sudamericano. El Batolito de la Costa consta de cinco segmentos que son: Piura, Trujillo, Lima, Arequipa y Toquepala. El segmento Arequipa a su vez está subdividido en cinco superunidades: Patap, Pampahuasi, Incahuasi y Tiabaya. A nivel regional solo afloran las tres últimas superunidades. Litológicamente el Batolito de la Costa, está constituido por dioritas, granodioritas, monzonitas y tonalitas, cuerpos que también fueron

intruidos por rocas hipabisales más jóvenes de naturaleza subvolcánica en forma de dique y pequeñas apófisis.

SÚPER UNIDAD LINGA (ks-gd/mz-li)

Las rocas constituyentes de esta super-unidad han sido determinadas como granodioritas y monzonitas que se exponen en la margen izquierda del río Chorunga. Se presentan con un tono gris a gris claro, de grano medio a grueso, con abundantes concentraciones de elementos ferromagnesianos, destacando la biotita y la hornblenda, que por epidotización toman un tono verdoso sobresanliendo los cristales anhedrales de plagioclasa y feldespatos alcalinos en cantidades dominantes.

1.8.GEOLOGIA LOCAL

GNEIS (PE-gn)

La exposición más larga se encuentra a lo largo del río Ocoña. Mineralógicamente, estos gneises son de composición granítica, en su mayoría de color gris oscuro con bandas claras y oscuras que tienen aproximadamente 0,5 a 0,2 cm de espesor. Los estudios petrográficos muestran que están compuestos por ortoclasa (15%-20%) y plagioclasa (aproximadamente 10%). Estas rocas se encuentran como techos colgantes sobre intrusivos en la margen derecha del río Ocoña, al sur de Cerro Ancha. Esta secuencia litológica tiene un espesor de 150 m y se le asigna una edad correspondiente al Precámbrico, formando parte del Complejo Basal.

ROCAS INTRUSIVAS

GRANODIORITA (Ks-gd/to-in)

Ampliamente distribuida en la zona de estudio. Tiene un color gris claro a blanquecino en superficie fresca y un color grisáceo en superficie intemperizada, en algunas zonas las granodioritas se encuentran englobando xenolitos de diorita

INTRUSIONES MENORES

DIQUE DE ANDESITA (Tms-an)

Diques de composición andesítica que se encuentran intruyendo a las rocas granodioritas con direcciones predominantes E-W, con buzamientos variables, mayormente verticales; presentan longitudes y anchos diferentes que se encuentran asociados a las estructuras mineralizadas, presumiendo que estos diques hayan sido portadores de las soluciones mineralizadas con contenido aurífero. La composición de las andesitas está dada por plagioclasa sódica 80%, biotita 5%, hornblenda 5%, piroxenos 2%, pirita, arcillas 8%, ausencia de cuarzo. Por su textura se puede diferenciar dos tipos de dique: Uno denominado pórfido andesítico de color gris oscuro con fenocristales de plagioclasa en matriz afanítica, y otra andesita de textura afanítica de color gris oscuro a negro. Estos diques se presentan diferentes grados de alteración hidrotermal (propilitización, piritización, silicificación). La edad de emplazamiento se asume al Terciario Inferior a medio.

DEPÓSITOS RECIENTES (Q-al)

Bajo estudio por gravas, arenas, cantos está denominación se considera a un grupo heterogéneo de material inconsolidado constituido por gravas, arenas, cantos rodados, arcillas, limos, cenizas, conglomerados de gravas en matriz y detritos de rocas cuyo grosor varía de unos centímetros a más de una decena de metros y ocurren ampliamente en zonas de estudio. Los depósitos aluviales conforman el suelo de mayor parte de las llanuras y depresiones, con las laderas y fondo de las quebradas, no muestran estratificación definida, pero sí una deficiente selección granulométrica, los granos varían del tamaño de la arena a grandes bloques; generalmente son de naturaleza ígnea

1.9.GEOLOGIA ESTRUCTURAL

GENERALIDADES

Los rasgos estructurales más saltantes de la región son dos fallas denominadas IQUIPI y Choclón; la primera se emplaza al pie de la ladera SE de la quebrada Chorunga, siguiendo un rumbo general de S68°W y buzamiento 89 al norte falla de cizalla y la segunda pasa al sur de la quebrada Chorunga limitando el extremo sur de intrusivo, que tiene rumbo S83°W y buzamiento 60° al sur es falla normal Los diques andesíticos con rumbo E-W intrusionan a la granodiorita, presentando fracturas de rumbo perpendicular N-S.

ZONA ALTAMENTE FRACTURADA

Estructuralmente esta unidad se produce por enfriamiento del macizo granodiorítico que fue sometido a esfuerzos tensionales teniendo como resultado fracturas E-W con buzamiento al norte o sur, en ello se emplazó el dique andesítico que posiblemente se formaron en la última tectónica sucedido a fines del cretáceo y comienzos del terciario, también podemos mencionar que las fracturas mineralizadas o vetas tienen la misma tendencia de rumbo E-W veta Mercedes con buzamiento al sur y veta San Juan con buzamiento al norte se originaron por productos de tensión.

ZONA FALLADA

Esta zona se ha diferenciado teniendo en cuenta que los mayores efectos de compresión por la tectónica andina. El sistema de fallas que caracterizan a esta zona, está constituido por fallas normales, de cizalla con rumbo E-W o NNE-SSW; las más importantes que se presentan en la zona son: falla Choclón y falla IQUIPI (NEE-SWW), falla San Juan, falla Santa Mónica, falla Rosario, falla Colorado (NW-SE). Localmente, el rasgo estructural más importante es la falla Choclón, sus sistemas de fracturas tienen rumbo NW-SE con variaciones N80°W y N75°W con

buzamiento vertical que está seguido por una zona de cizallamiento. Este sistema de fracturas se puede observar claramente en los cortes de quebradas y carreteras, se distribuyen en un espacio corto y están acompañados por otros sistemas de fracturas que ocurren en sentido casi perpendicular. La gran falla Choclón vendría a constituir el conducto y localizador del emplazamiento de las vetas del sistema NW-SE de la zona de estudio.

ZONA DE EMPLAZAMIENTO DEL BATOLITO DE LA COSTA

El emplazamiento del Batolito Costero está controlado por estructuras, con fallas y fracturas, que siguen el patrón estructural andino. Estas fallas preexistentes, que han jugado un papel importante en el emplazamiento del Batolito, se pueden agrupar en dos sistemas. El primer sistema tiene un rumbo E-W o NEE-SWW, posiblemente muchas de estas fallas son posteriores a las rocas intrusivas. Las fallas que conforman el sistema son las fallas Choclón e Iquipi, particularmente la falla Iquipi corresponde a una falla de cizalla dextral que desarrolla un sistema de "cola de caballo" o cola que permite el desarrollo del sistema NW-SE. El segundo sistema tiene rumbo NW-SE, no solo por el número de fallas sino también por su longitud, que oscila entre unas pocas decenas de kilómetros. Estas fallas también ponen en contacto las unidades de batolito con las rocas del basamento. Las fallas correspondientes son las fallas de Santa Mónica, Rosario, San Juan y Colorado.

ZONA DE LA DEPRESION DE CARAVELI

Esta zona se encuentra entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera Occidental, formando una gran depresión longitudinal de carácter regional paralela a la ribera marina y están rellanadas por material clástico constituyendo las pampas costaneras conformando amplias llanuras que fueron afectadas por una serie de periodos de erosión. El origen de esta depresión es consecuencia de los efectos tectónicos causados por fallas escalonadas más o menos paralelas. El

efecto más resaltante de estas fallas se manifiesta por el flexionamiento que muestran las capas terciarias, tal como sucede con la falla Choclón.

1.10. GEOLOGIA ECONÓMICA

En la franja aurífera nazca – Ocoña del batolito de la Costa ocurren numerosos yacimientos vetiformes de un ensamble de:

- Cuarzo-calcopirita, (minas de cobrepampa, purisima, machainiyoc y otras).
- Cuarzo-pirita-calcopirita con valores de oro (Minas Capitana, Chapara, Ishihuinca, San Juan, Chalhuane, Alpacay, Arrirahua y otras).

El depósito mesotérmico está asociado a la intrusión de rocas granodioríticas del Cretácico medio superior y está formado por rellenos de fracturas. Las vetas se encuentran dentro de un cinturón aurífero del noroeste conocido como Nazca-Ocoña, que se extiende por varias decenas de kilómetros. Las vetas son de origen epigenético, rellenando fracturas preexistentes, y tienen una mineralización homogénea compuesta por oro libre (Au), cuarzo (Qz) y productos de hierro como limonita y hematita. Los minerales de sulfuro contienen oro, parte del cual se encuentra en estado libre y otra parte combinada con pirita de hierro. El oro no se puede amalgamar utilizando equipos de amalgamación directa. Los minerales más finos se pulverizan fácilmente en polvo blanco debido a la acción oxidante de la atmósfera, mientras que los minerales oxidados que cubren toda la superficie de las vetas y penetran en la parte superior de la colina son muy duros y resistentes. Las variables de cuarzo, que forman la parte principal de las vetas, tienen diferentes colores dependiendo del grado de oxidación del hierro. El cuarzo estéril puede ser hialino o vítreo en masas compactas, o tener una apariencia de grano fino blanco lechoso. Por otro lado, el cuarzo aurífero es blanco como el alabastro o teñido de rojo o amarillo, con partes grises, vetas muy porosas y bien definidas. Las estructuras tienen un rumbo de N 20° y un buzamiento de 65°

NE a vertical en un sistema, y N 20° con un buzamiento de 65° SW a vertical en el otro. La mineralización se produce en forma de rosario, con espesores que van desde los 5 cm hasta los 2,5 a 4 m en la parte central de las vetas o donde se unen los bucles sigmoides. Las leyes van desde 10 g/t hasta 150 g/t, y en muchos casos, alcanzan las 4 o 5 oz/t (en los Famous Ojos). El yacimiento cuenta con dos vetas principales (Veta San Juan y Veta Mercedes) con longitudes entre 1.500 y 3.000 metros, y tiene un gran potencial por debajo del nivel del valle. Estas vetas son famosas por ser las más profundas del país (1.000 m). Con los trabajos actuales se han identificado 35 estructuras con las mismas características.

ANÁLISIS GEOLÓGICO ESTRUCTURAL DE LAS VETAS SAN JUAN Y MERCEDES

Las vetas San Juan y Mercedes son las de mayor aporte económico para la unidad minera, actualmente su producción de ambas vetas alcanza 1500 onzas/mes con un aporte de 75% a la producción mensual, es necesario indicar que el yacimiento se inicia con veta Mercedes y posteriormente veta San Juan ambas vetas se explotan en los niveles más profundos de la unidad, Mercedes hasta el nivel 520 y San Juan hasta el nivel 547.

OCURRENCIA DEL ORO EN VETAS AURÍFERAS

Según informes del Ing. Luis de Montreuil en 1979, se han efectuado investigaciones de dos secciones pulidas de muestra de mineral y una sección delgada de roca, donde obtuvo lo siguiente.

- El oro se encuentra bajo la forma de electrum y en menor proporción como oro nativo.
- La pirita es el resultado de la mineralización aurífera más gruesa y las zonas fracturadas es favorable para la ocurrencia de minerales auríferos, a mayor proporción de pirita mayor contenido de oro.

- La ocurrencia de minerales auríferos, principalmente el electrum son:
 - Electrum, oro nativo se halla como inclusiones en la pirita, bajo formas alargadas y globulares, miden de 0.5 – 120 micras de diámetro.
 - El electrum constituye micro venillas que tienen de 0.5-25 micras de ancho y alcanza hasta 240 micras de largo.
 - Granos de electrum ubicados en el contacto con los granos de pirita son de 0.5-15 micras de ancho y 60 de largo.
 - Electrum como inclusiones globulares y anhedrales, dentro de la galena y calcopirita, en este caso el electrum y sulfuros están relleno microfisuras en la pirita; las inclusiones de mineral aurífero en la galena alcanzan de 120 micras de diámetro, en calcopirita alcanzan hasta 100 micras de diámetro.
 - Hay inclusiones de electrum y oro libre (menores de 150 micras) en el cuarzo que se halla más próxima a la pirita.
 - Los granos de electrum y oro nativo menores a 60 micras ubicadas en contacto de pirita y cuarzo.
- Probablemente también hay cierto contenido de oro como solución sólida en la pirita.
- No se observa inclusiones de electrum ni oro nativo en los granos de calcopirita, galena, cuarzo, lejanos a la pirita.
- La presencia de cuarzo acompañado a la pirita en que también parece favorecer la mayor concentración de minerales auríferos.
- No se descarta la presencia de granos de minerales auríferos como electrum y oro nativo en la granodiorita, diorita.

TIPO Y GÉNESIS DEL YACIMIENTO

El yacimiento por su forma es un depósito de filón fisura, cuya acción es originada por acción hidrotermal de alcance mesotermal, como producto de la posterior consolidación del magma deducidas de las posibles condiciones geoquímicas de Formación y por alcance de la alteración hipógena.

Es hipógeno porque los minerales provienen de aguas ascendentes. Es epigenético por cuanto la roca encajonante se formó con anterioridad a la Formación de las estructuras mineralizadas. La diferenciación magmática, da como resultado un producto final de fluidos mineralizantes, que originalmente estaban dispersos en el magma. Estos fluidos al desprenderse del mismo, aprovecharon las fracturas pre-existentes, hasta encontrar las condiciones físicoquímicas favorables para su precipitación. La génesis del yacimiento, implica los procesos que deben ser diferenciados. La formación de las soluciones mineralizadas. La formación de fisuras en las que finalmente se deposita la mineralización.

ANEXO 2

2. CARTILLA GEOMECÁNICA

6. ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLOGÍA

		CARTILLA GEOMECÁNICA Rev. 02			
		LABORES DE AVANCES Y PRODUCCIÓN			
INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI)		Condición Superficial (GOLPES DE PICOTA)			
		Se basa en la condición de resistencia			
		ROMPE	ROMPE	SE CLAVA	SE CLAVA
Condicion Estructural (GRADO DE FRACTURAMIENTO)		Con 3 o más Golpes de Picota (Muy Resistente)	Con 1 o 2 Golpes de Picota (Resistente)	Superficialmente con golpes de Picota (Alteración Leve)	Más de 5mm con golpes de Picota (Alterada)
Se basa en la cantidad de fracturas por metro cuadrado, medidos in situ con flexómetro.		B	R	P	MP
		Buena	Regular	Pobre	Muy Pobre
Condición Estructural - Fracturas/m2	6 a 11 Fracturas F Fracturada	II F/B	II F/R	III F/P	-
	12 a 20 Fracturas MF Muy Fracturada	II MF/B	III MF/R	III MF/P	IV MF/MP
	>20 Fracturas IF Intesamente Fracturada	-	III IF/R	IV IF/P	IV IF/MP
	Sin RQD T Triturada o Brechada	-	-	IV T/P	V T/MP

Fuente: OREX

7. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE AVANCE

LABORES DE AVANCE ZONA ALTA (RP, BP, CX,GA)			
PARAMETROS GEOMECANICOS		ANCHO DE MINADO < 3.5 mtrs. (TEMPORALES Y PERMANENTES)	ANCHO DE MINADO > 3.5 mtrs. (TEMPORALES Y PERMANENTES)
TIPO	RMR		
II	61 - 80	Perno Helicoidal 5' y/o Split Set 5' sistemáticos esp. 1.7x1.3 m.	Perno Helicoidal 7' y/o Split Set 7' sistemáticos esp. 1.7x1.3 m.
III	41 - 60	Malla Electrosoldada + Perno Helicoidal 5' y/o Split Set 5' esp. 1.7x1.3 m.	Malla Electrosoldada + Perno Helicoidal 7' y/o Split Set 7' esp. 1.7x1.3 m.
IV	21 - 40	Cimbras tipo H o Cuadro de Madera esp. 1.2 m.	Cimbras tipo H esp. 1.2 m.
V	<20	Cimbras tipo H o Cuadro de Madera esp. 1.0 m.	Cimbras tipo H esp. 1.0 m.

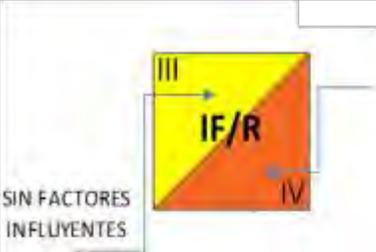
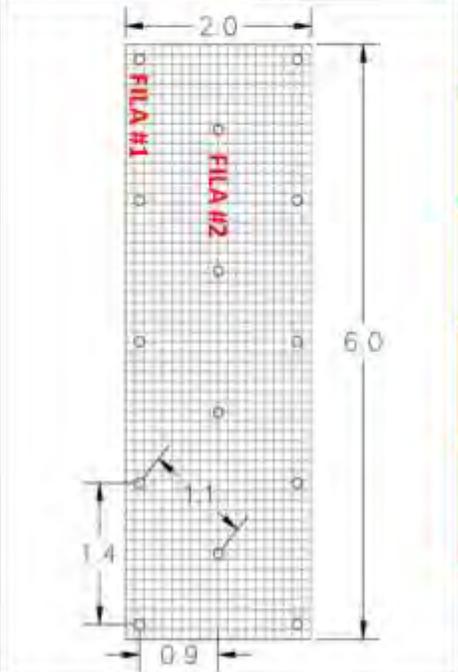
LABORES DE AVANCE ZONAS PROFUNDIZACION (RP, BP, CX,GA)		
PARAMETROS GEOMECANICOS		ANCHO DE MINADO < 3.5 mtrs. (TEMPORALES Y PERMANENTES)
TIPO	RMR	
II	61 - 80	Doble Malla Electrosoldada o Malla Eslabonada + Perno Helicoidal 5' + Hydrabolt o Swellex 5' esp. 0.9x1.4m. + Malla de sacrificio en el frente.
III	41 - 60	Doble Malla Electrosoldada o Malla Eslabonada + Perno Helicoidal 5' + Hydrabolt o Swellex 5' esp. 0.9x1.4m. + Malla de sacrificio en el frente.
IV	21 - 40	Cimbras tipo H esp. 1.2 m + Marchavantes + Malla de sacrificio en el frente.
V	<20	-

LABORES DE PRODUCCION (TAJEOS, SN)		
PARAMETROS GEOMECANICOS		(TEMPORALES)
TIPO	RMR	
II	61 - 80	Split Set 3',4' o 5' de forma puntual.
III	41 - 60	Puntal de seguridad + plantilla esp. 2.0 - 2.5 m. o Split Set 3',4' o 5' según evaluación geomecanica.
IV	21 - 40	Puntal de seguridad + guardacabeza o cuadro de madera esp. 1.2 m. + marchavante + guardacabeza.
V	<20	Cuadro de madera esp. 1.0 metro + marchavante + guardacabeza.

CHIMENEAS		
PARAMETROS GEOMECANICOS		(TEMPORALES Y PERMANENTES)
TIPO	RMR	
II	61 - 80	Puntal de Avance cada 1.0 metro + malla de sacrificio en la corona.
III	41 - 60	Puntal de Avance cada 1.0 metro + Split Set 3' sistemáticos + malla de sacrificio en la corona.
IV	21 - 40	Cribing hasta 0.6 m. antes del tope + soleras cada 3 m. + malla de sacrificio en la corona.
V	<20	Cribing hasta 0.6 m. antes del tope + soleras cada 3 m. + malla de sacrificio en la corona.

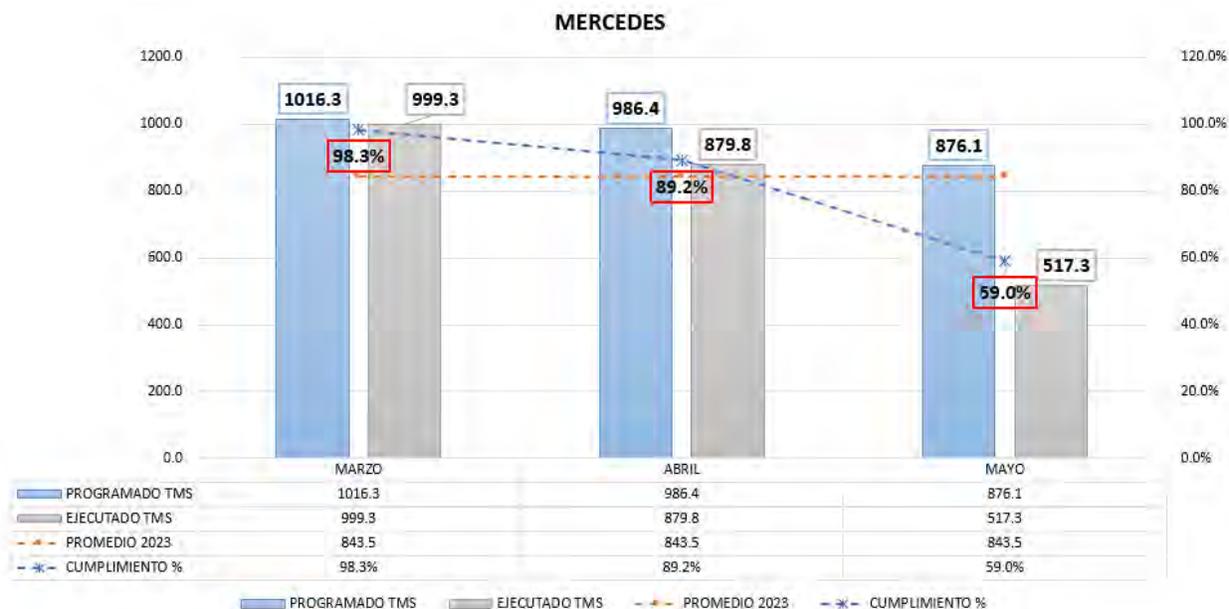
Fuente: OREX

8. FACTORES INFLUYENTES

METODOLOGÍA DE APLICACIÓN																		
<p>La Cartilla Geomecánica indica el tipo de soporte según los siguientes parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Condición Estructural: Se basa en la cantidad de fracturas por m², medido in situ con un flexómetro. - Condición Superficial: Se obtiene golpeando, indentando o clavando la roca con la ayuda de una picota. <p>La intersección de ambos parámetros nos define el tipo de soporte que se aplicará.</p>																		
FACTORES INFLUYENTES																		
	<p style="text-align: center;">CON FACTORES INFLUYENTES</p> <ul style="list-style-type: none"> - ZONAS DE RIESGO MICROSÍSMICO - ESFUERZOS IN SITU (ZONAS PROFUNDAS) - ESFUERZOS INDUCIDOS - CONDICIÓN DE FRACTURA - FLUJO DE AGUA - RELAJAMIENTO DE ROCAS - PRESENCIA DE FALLAS - ORIENTACION DE DISCONTINUIDADES - INTERSECCION DE LABORES 																	
FORMAS DE COLOCACIÓN TERMINANTEMENTE PROHIBIDAS																		
<ul style="list-style-type: none"> - Iniciar la colocación del soporte sin haber desatado correctamente o asegurado el techo. - Perforar para pernos y no colocarlos inmediatamente después de haberlos perforado. - Inflar pernos sin la presión de aire y agua adecuadas. - Colocar los pernos en las fracturas o en zonas en que la picota se indenta profundamente. 																		
DISTRIBUCIÓN DE PERNOS-ZONAS PROFUNDIZACIÓN	FRECUENCIA DE DESATADO POR TIPO DE LABOR																	
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">PARAMETROS GEOMECAVICOS</th> <th rowspan="2" style="text-align: center;">FRECUENCIA DE DESATADO DE ROCAS</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">TIPO</th> <th style="text-align: center;">RMR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; background-color: #00FF00;">II</td> <td style="text-align: center;">61 - 80</td> <td> En las actividades de perforación y sostenimiento: Cada 10 taladros. En las actividades de limpieza y carguo: Cada 02 horas. </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; background-color: #FFFF00;">III</td> <td style="text-align: center;">41 - 60</td> <td> En las actividades de perforación y sostenimiento: Cada 04 taladros. En las actividades de limpieza y carguo: Cada 30 minutos. </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; background-color: #FFA500;">IV</td> <td style="text-align: center;">21 - 40</td> <td> En las actividades de perforación y sostenimiento: Cada taladro. En las actividades de limpieza y carguo: Cada 10 minutos. </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; background-color: #FF0000;">I</td> <td style="text-align: center;"><20</td> <td style="text-align: center;"> Observación constante. Aplicación de sostenimiento inmediato. </td> </tr> </tbody> </table>	PARAMETROS GEOMECAVICOS		FRECUENCIA DE DESATADO DE ROCAS	TIPO	RMR	II	61 - 80	En las actividades de perforación y sostenimiento: Cada 10 taladros. En las actividades de limpieza y carguo: Cada 02 horas.	III	41 - 60	En las actividades de perforación y sostenimiento: Cada 04 taladros. En las actividades de limpieza y carguo: Cada 30 minutos.	IV	21 - 40	En las actividades de perforación y sostenimiento: Cada taladro. En las actividades de limpieza y carguo: Cada 10 minutos.	I	<20	Observación constante. Aplicación de sostenimiento inmediato.
	PARAMETROS GEOMECAVICOS		FRECUENCIA DE DESATADO DE ROCAS															
	TIPO	RMR																
	II	61 - 80	En las actividades de perforación y sostenimiento: Cada 10 taladros. En las actividades de limpieza y carguo: Cada 02 horas.															
	III	41 - 60	En las actividades de perforación y sostenimiento: Cada 04 taladros. En las actividades de limpieza y carguo: Cada 30 minutos.															
IV	21 - 40	En las actividades de perforación y sostenimiento: Cada taladro. En las actividades de limpieza y carguo: Cada 10 minutos.																
I	<20	Observación constante. Aplicación de sostenimiento inmediato.																
LABOR AVANZADA - LABOR SOSTENIDA																		

Fuente: OREX

9. PRODUCCIÓN DE MINA EN ZONA MERCEDES



Nota: La producción en la unidad minera San Juan de Chorunga se dividen por las zonas Esperanza, Mercedes, San Juan, Millonaria y Nuevo San Juan cuya producción es de (20 ,25a30) toneladas diarias de mineral; y esto por cada mes del año 2024, donde en la gráfica anterior se tienen delimitado al estudio presente, es decir la producción de la zona Mercedes y que posteriormente se llegó a llamar Nuevo San Juan, durante los meses de marzo, abril y mayo y hasta la actualidad.