

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



TESIS

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CRUCERO 1420 DE ZONA
23 A ZONA SANTA ROSA PARA INCREMENTAR LA
PRODUCCIÓN EN MINERA SOTRAMI, UNIDAD SANTA
FILOMENA, AYACUCHO**

PRESENTADO POR:

Br. ADER ROY FLORES CONDORI

**PARA OPTAR AL TITULO
PROFESIONAL DE INGENIERO DE
MINAS**

ASESOR:

ING. MÁXIMO VICTOR MAYTA LINO

CUSCO - PERU

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor Ing. Máximo Víctor Mayta Lino
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CRUCERO
1420 DE ZONA 23 A ZONA SANTA ROSA PARA INCREMENTAR LA
PRODUCCIÓN EN MINERA SOTRAMI, UNIDAD SANTA FILOMENA,
AYACUCHO.

Presentado por: ADER ROY FLORES CONDORI DNI N° 47974285 ;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO DE MINAS

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación 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**
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 15 de JUNIO de 2026

Maximo Victor Mayta Lino
Firma
Post firma MAXIMO VICTOR MAYTA LINO
Nro. de DNI 23956885
ORCID del Asesor 0000-0002-9935-5754

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:600026362

ADER ROY FLORES CONDORI

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CRUCERO 1420 DE ZONA 23 A ZONA SANTA ROSA PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN E...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:600026362

156 páginas

Fecha de entrega

14 jun 2026, 7:06 p.m. GMT-5

28.601 palabras

Fecha de descarga

14 jun 2026, 7:45 p.m. GMT-5

154.692 caracteres

Nombre del archivo

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CRUCERO 1420 DE ZONA 23 A ZONA SANTA ROSA PARA INCREME....docx

Tamaño del archivo

9.1 MB

8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
40 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

La presente Tesis está dedicada a mis padres, hermanas y hermanos, ya que ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mi un mejor persona, a mis abuelos aunque no estén físicamente con nosotros, sé que desde el cielo siempre me cuida y me guían mis pasos para que todo salga bien, a mi enamorada por sus palabras y su confianza y por brindarme el tiempo necesario alentándome durante los años que curse la universidad, por su apoyo motivacional para poder salir adelante y realizarme profesionalmente, a mis amigos, compañeros y todas aquellas personas que de una u otra manera ha contribuido para el logro mis objetivos.

Ader Roy Flores Condori

AGRADECIMIENTOS

Mi grato agradecimiento a mi alma mater Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, que me brindo los conocimientos y habilidades para poder desarrollarme profesionalmente y de manera especial a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, haciendo extensivo mi agradecimiento a los docentes, por brindarme lo mejor de sus conocimientos impartidos durante mis años de estudio.

Mi agradecimiento a todos mis compañeros de trabajo de Minera SOTRAMI, por haberme apoyado en la realización del presente trabajo de investigación, con sus ideas y comentarios que sin su ayuda no hubiese sido posible cumplir con mis metas.

Ader Roy Flores Condori

INTRODUCCIÓN

La Minera Sotrami Unidad Santa Filomena, ubicada en Sancos – Ayacucho, desarrolla sus operaciones en dos zonas con el método de corte y relleno ascendente convencional, dedicada a la explotación del oro. Es allí donde surge la necesidad de comunicar las labores de producción, Conllevando a poder analizar opciones en cuanto se refiere a la construcción de acceso que unan frentes de trabajo.

La investigación tiene un enfoque correlacional, descriptivo y evaluativo; ya que tiene variables y estas variables se relacionan entre sí.

La investigación desarrollada en el presente se subdivide en cinco capítulos, donde se profundiza el proceso de construcción de un crucero con el objetivo de mejorar la producción y la comunicación en minera Sotrami, como es evidenciado el diseño y construcción de labores mineras requiere de ingeniería de detalle, por lo cual apoyado de una metodología de investigación adecuada refleja resultados de aporte a la comunidad científica involucrada.

Capítulo I, se pone en evidencia la problemática que presenta la producción al ser ausente una vía de comunicación como un crucero para poder optimizar procesos.

Capítulo II, se desarrolla el marco teórico, donde se presenta los antecedentes de la investigación, rescatando que en nuestro país se hace investigación geomecánica para proyectos de construcción de cruceros y labores subterráneas.

Capítulo III, presenta la metodología de la investigación, caracterizándose por ser correlacional, básica y cuantitativa, incluye el desarrollo constructivo del crucero 1420.

Capítulo IV, se muestra la discusión de resultados, se pone en evidencia los logros obtenidos y se muestra la conclusión, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo determinar las implicancias de la construcción del Cx 1420 en la zona 23 y zona santa rosa en minera Sotrami. Haciendo una excavación de 20,594.80m³ y un avance promedio de 37.1m³ por disparo, se logró completar 899.5metros de excavación en 278 días. La investigación es del tipo cuantitativa y básica; ya que el presente aportará una fuente de consulta más a la comunidad científica; asimismo es del nivel correlacional ya que presenta variables que se desarrollarán a lo largo de la investigación, también tiene la característica de ser de Diseño no Experimental y de corte transversal, ya que la investigación no está basada en el uso del método científico. En cuanto a los factores geomecánicos, el crucero tuvo un RMR de 79 y un RQD de 93%, lo que permitió seleccionar un sostenimiento con pernos helicoidales de 5pies y malla electrosoldada en intersecciones. Se concluye operativamente, una perforación efectiva de 2.61metros por disparo y un avance promedio de 2.5metros con jumbo. Equipo de limpieza Scoop de 1.96yardas, consumió un total de 3,556.8 galones de combustible, que permitió optimizar los tiempos operativos garantizando el desarrollo del crucero dentro del cronograma planificado. El costo total del crucero ascendió a 202,662.96 soles. La inversión en equipos y otros insumos esenciales ha sido recuperada gracias al aumento de 500tn que representa el 20% en la producción, lo que valida el costo-beneficio del crucero y su impacto positivo en la rentabilidad de la operación minera.

Palabras Clave: Eficiencia operativa, Geomecanica sostenimiento, Productividad, Costo-beneficio

ABSTRACT

The construction of Transept 1420 in zones 23 and Santa Rosa of Minera Sotrami is essential to improve production in the Santa Filomena Unit. With a total excavated of 20,594.80 m³ and an average advance of 37.1 m³ per shot, 899.5. The research is quantitative and basic, since this will provide another source of consultation to the scientific community; it is also of the correlational level since it presents variables that will be developed throughout the research, it also has the characteristic of being of Non-Experimental Design and cross-sectional, since the research is not based on the use of the scientific method. In terms of geomechanical factors, the project benefited from an RMR of 79 and an RQD of 93%, which allowed the selection of an adequate support, using 5-foot helical bolts and welded wiremesh at intersections. Operationally, the project concluded with an effective drilling of 2.61 meters per shot and an average advance of 2.5 meters. The equipment used, such as the Scoop, consumed a total of 3,556.8 gallons of fuel, which allowed optimizing operational times and ensuring the development of the project within the planned schedule. The total cost of the project amounted to 202,662.96 soles, of which 199,581.58 soles were allocated to civil works. The investment in equipment, bolts, resin and other essential inputs has been recovered thanks to the 20% increase in mining production, which validates the cost-benefit of the project and its positive impact on the profitability of the mining operation.

Keywords: Operational efficiency, Productivity, Geomechanical support, Cost-benefit

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INTRODUCCIÓN	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
1. CAPÍTULO I	16
PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.1. Planteamiento del Problema	16
1.2. Formulación del Problema.....	16
1.2.1. Problema general de la investigación	16
1.2.2. Problemas Específicos de la Investigación	17
1.3. Justificación	17
1.4. Objetivos de la Investigación	17
1.4.1. Objetivo General.....	17
1.4.2. Objetivos Específicos.....	17
1.5. Delimitación de la Investigación	18
1.5.1. Delimitación.....	18
2. CAPÍTULO II	19
MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
2.1. Antecedentes de la Investigación	19

2.1.1.	Antecedentes Internacionales.....	19
2.1.2.	Antecedentes Nacionales	19
2.2.	Bases Teóricas	21
2.2.1.	Minería Subterránea.....	21
2.2.2.	Modelo Geomecanico	22
2.2.3.	Mecánica de Rocas	22
2.2.4.	Clasificación del Macizo Rocoso.....	22
2.2.5.	Rock Mass Rating (RMR)	25
2.2.6.	RQD (Rock Quality Designation).....	25
2.2.7.	Índice de Resistencia Geológica (GSI – Geological Strength Index).	27
2.2.8.	Crucero en Minería Subterránea	27
2.2.9.	Finalidad de la Construcción del Crucero.....	28
2.2.10.	Parámetros para el Diseño del Crucero.....	28
2.2.11.	Clasificación de Sistemas de Sostenimiento.....	29
2.2.12.	Desde el Punto de Vista de la Función que Cumplen.....	30
2.2.13.	Tipos Comunes de Sistemas de Sostenimiento de Terrenos.....	32
2.2.14.	Comparación de la Zona de Anclaje y la Resistencia Mínima de los Tipos de Sostenimiento	33
2.2.15.	Efectos de los Elementos de Sostenimiento.....	35
2.2.16.	Funciones de los Pernos para Roca.....	38

2.2.17.	Accesorios y Elementos de Sostenimiento Adicional	39
2.2.18.	Costos de Operación	40
2.3.	Hipótesis	41
2.3.1.	Hipótesis General.....	41
2.3.2.	Hipótesis Específicas	41
2.4.	Variables e Indicadores	41
2.4.1.	Variable Dependiente.....	41
2.4.2.	Variable Independiente	41
2.5.	Operacionalización de las Variables.....	42
3.	CAPÍTULO III.....	43
	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	43
3.1.	Tipo de Investigación	43
3.2.	Nivel de Investigación	43
3.3.	Diseño de la Investigación.....	44
3.4.	Población	44
3.5.	Muestra	44
3.6.	Técnicas e Instrumentos de Captura de Información	44
3.6.1.	Técnicas de Recolección de Datos.....	44
3.6.2.	Instrumentos.....	44
3.7.	Técnicas de Procesamiento de Datos.....	45

4.	CAPÍTULO IV.....	46
	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	46
4.1.	Descripción del Procedimiento.....	47
4.1.1.	Identificación de los Factores Geomecánicos.....	48
4.1.2.	Análisis Geomecánico de la Roca.....	48
4.1.3.	Prueba de Pull Test – Zona 23	63
4.1.4.	Selección del Sostenimiento	68
4.1.5.	Diseño del Crucero 1420	72
4.2.	Ejecución de la Construcción	81
4.2.1.	Proceso de Excavación	81
4.2.2.	Evaluación del Consumo de Materiales, Recursos por Disparo y Vida Útil de Aceros	84
4.2.3.	Labores en el Frente de Minado.....	85
4.2.4.	Tiempos Específicos por Actividad	86
4.2.5.	Tiempo de Ejecución del Proyecto	91
4.3.	Análisis de Resultado	93
4.3.1.	Consumo de Explosivo y Accesorios	93
4.3.2.	Consumo de Elementos de Sostenimiento	94
4.3.3.	Consumo de Combustible	95
4.3.4.	Consumo de Servicios Auxiliares	96

4.3.5.	Consumo de Aceros	96
4.4.	Discusión de Resultados	97
4.4.1.	Precio Unitario de Materiales de Perforación	97
4.4.2.	Precio Unitario de Materiales de Sostenimiento.....	98
4.4.3.	Precio Unitario de Materiales de Voladura.....	100
4.5.	Evaluación de Costos de Construcción	101
4.5.1.	Cargas de Personal	102
4.5.2.	Equipos Principales.....	104
4.5.3.	Servicios Terceros.....	108
4.5.4.	Suministros	113
4.5.5.	Uso de Equipos	117
4.5.6.	Costos Totales.....	120
4.6.	Incremento de Producción	124
5.	CAPITULO V	126
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	126
5.1.	Resultados.....	126
5.2.	Discusión de Resultados	129
	CONCLUSIONES	133
	RECOMENDACIONES	135
	BIBLIOGRAFÍA	137

ANEXOS	140
ANEXO 1.....	140
1.1. Descripción de Minera Sotrami S.A.	140
1.2. Ubicación Geográfica.	140
1.3. Accesibilidad	141
1.4. Clima y Meteorología.....	141
1.5. Recursos.....	142
1.5.1. Flora y Fauna.	142
1.6. Geología.....	142
1.6.1. Geología Regional	142
1.6.2. Secuencia Estratigráfica.....	144
1.6.3. Geología Local.....	146
1.6.4. Geología Estructural	149
1.6.5. Geología Económica y Mineralización.....	151
ANEXO 2.....	152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tabla de Clasificación RMR.....	25
Tabla 2	Tabla RQD	27
Tabla 3	Zona de anclaje de los tipos de sostenimiento	34
Tabla 4	Tabla de Variables	42
Tabla 5	Procedimiento del RMR	55
Tabla 6	Procedimiento de RQD	58
Tabla 7	Tabla Geomecánica.....	62
Tabla 8	Valores del Índice ESR según la clasificación de Q de Barton.	69
Tabla 9	Tiempo de autosoporte.....	69
Tabla 10	Tiempos de autosoporte por tipo de roca.....	70
Tabla 12	Ábaco propuesto por Grimstad y Nick Barton para la determinación del tipo de sostenimiento.	71
Tabla 13	Tabla de diseño de malla de perforación y voladura	83
Tabla 14	Labores.....	86
Tabla 15	Tiempo De Perforación.....	87
Tabla 16	Tiempo De Voladura.....	88
Tabla 17	Tiempo De Ventilación.....	88
Tabla 18	Tiempo De Regado Y Desatado	89
Tabla 19	Tiempo De Limpieza Con Scoop.....	90
Tabla 20	Tiempo De Sostenimiento.....	91
Tabla 21	Tiempo De Ejecución Del Proyecto	92
Tabla 22	Consumo De Explosivo Y Accesorios.....	94
Tabla 23	Consumo De Elementos De Sost	95
Tabla 24	Consumo De Combustible	95
Tabla 25	Consumo De Servicios Auxiliares	96
Tabla 26	Consumo De Aceros	97
Tabla 27	Materiales De Perforación	98
Tabla 28	Materiales De Sostenimiento	99
Tabla 29	Materiales De Voladura	100
Tabla 30	Cargas De Personal	104
Tabla 31	Equipos Principales.....	107
Tabla 32	Servicios terceros	111
Tabla 33	Suministros	115
Tabla 34	Uso de equipos.....	119
Tabla 35	Costos Totales.....	121
Tabla 36	Resumen de producción Minera Sotrami.....	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Longitud del perno	32
Figura 2 Longitud del perno en base al ancho de abertura	33
Figura 3 Resistencia Mínima de los tipos de sostenimiento	34
Figura 4 Relación longitud – espaciamiento.....	35
Figura 5 Anclaje de expansión.....	35
Figura 6 Diagrama Perno Split Set	36
Figura 7 Platinas	39
Figura 10 Plano topográfico de ubicación del CRUCERO 1420. Nv.14	50
Figura 11 Plano litológico, proyecto CRUCERO 1420 S. 1631 Nv.14.	51
Figura 12 Plano de zonificación geomecánica del CRUCERO 1420. Nv.14.....	52
Figura 13 Diseño de la sección del crucero	80
Figura 14 Zona de carguío de material roto.....	84
Figura 14 Ejecución de la perforación	87
Figura 16 Proyecto culminado.....	92
Figura 15 Geología Regional.....	143
Figura 16 Secuencia Estratigráfica	145
Figura 17 Estratigrafía Local	148
Figura 19 Geología Estructural.....	150
Figura 20 Análisis geomecánico - 1	152
Figura 21 Análisis geomecánico – 2.....	153
Figura 22 Análisis geomecánico – 3.....	154
Figura 23 Fotos de campo – 1.....	155
Figura 24 Fotos de campo – 2.....	156

ÍNDICE DE GRÁFICA

Gráfica 1	Equipos Principales.....	108
Gráfica 2	Servicios terceros.....	112
Gráfica 3	Suministros	116
Gráfica 4	Total General	122
Gráfica 5	Resumen Total General	123
Gráfica 6	Total	124

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

La unidad Santa Filomen de Minera Sotrami ubicada en el departamento de Ayacucho, dedicada a la explotación y producción de oro, presenta diferentes retos para la mejora de sus operaciones, donde surge la necesidad de comunicar las labores de producción, lo que ha conllevado a poder analizar opciones en cuanto se refiere a la construcción de nuevos accesos y labores que unan frentes de trabajo, y así facilitar las vías de acarreo.

Siendo así un problema la comunicación entre la zona 23 con la zona santa rosa, ya que carece de una labor que una ambas zonas para reducir los tiempos de acarreo, las distancias de traslado y así poder incrementar la producción, además que es de necesidad unir ambas zonas debido a que la mayor cantidad de mineral extraído se lleva a cabo de los diferentes frentes de trabajo tanto de la zona 23 como de la zona santa rosa, siendo así un pilar clave para reducir tiempos y costos de traslado, y poder facilitar la extracción de mineral hacia superficie.

Por lo que se requiere realizar un estudio técnico de la construcción del cruce 1420 que comunique la zona 23 con la zona santa rosa con el propósito de comunicar labores de producción, replantear los sistemas de ventilación y reducir los tiempos de acarreo; para lo cual se analizará los parámetros geomecánicos y su beneficio para las operaciones de explotación en la unidad Santa Filomena de minera Sotrami.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general de la investigación

- ¿Cuáles son las implicancias de la construcción del Cx 1420 en la zona 23 y zona santa rosa en minera sotrami, unidad Santa Filomena, Ayacucho?

1.2.2. Problemas Específicos de la Investigación

- ¿Cuáles son los factores geomecánicos que se deben considerar en la selección del sostenimiento para la construcción del Cx 1420 en la zona 23 y zona santa rosa en minera sotrami, unidad Santa Filomena, Ayacucho?
- ¿Qué parámetros operativos implicará la construcción del Cx 1420 en la zona 23 y zona santa rosa en minera sotrami, unidad Santa Filomena, Ayacucho?
- ¿Cuál será el costo de la construcción del Cx 1420 en la zona 23 y zona santa rosa en minera sotrami, unidad Santa Filomena, Ayacucho?

1.3. Justificación

La presente investigación tiene importancia desde el punto de vista técnico- económico, ya que aportará un estudio detallado y comparativo de las mejores opciones a tomar para la construcción de un crucero, abarcando el sostenimiento, el desarrollo y los costos operativos implicados.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

- Determinar las implicancias de la construcción del Cx 1420 en la zona 23 y zona santa rosa en minera sotrami, unidad Santa Filomena, Ayacucho.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar los factores geomecánicos a considerar en la selección del sostenimiento para la construcción del Cx 1420 en la zona 23 y zona santa rosa en minera sotrami, unidad Santa Filomena, Ayacucho.
- Determinar los parámetros operativos que implicará la construcción del Cx 1420 en la zona 23 y zona santa rosa en minera sotrami, unidad Santa Filomena, Ayacucho.

- Determinar los costos de la construcción del Cx 1420 en la zona 23 y zona santa rosa en minera sotrami, unidad Santa Filomena, Ayacucho.

1.5. Delimitación de la Investigación

1.5.1. Delimitación

Delimitación Geográfica. La investigación se realizó únicamente en la zona 23 en unión con la zona santa rosa en minera Sotrami, situado geográficamente en el distrito de Sancos, provincia de Lucanas en la región Ayacucho.

Delimitación Temporal. El trabajo de investigación se realizará en el periodo comprendido entre los meses de Enero y Diciembre del año 2024.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. *Antecedentes Internacionales*

Sanchez V. (2012) “**Optimización en los Procesos de Perforación y Voladura en el Avance de Rampa en la Mina Bethzabeth**” Tesis sustentada en la Universidad central del Ecuador, Quito .

Esta investigación tiene el objetivo de que, a partir de un modelo matemático, se obtendrá una malla de perforación técnica, ajustada a las características físico – mecánicas del macizo rocoso, consiguiendo óptimos tiempos de perforación, número adecuado de barrenos y cantidad exacta de sustancia explosiva, para tener un avance en el tiempo programado; con esto se minimizarán **costos** de operación y el tiempo de avance de la rampa. Utilizando las fotografías de los disparos antes y después de cada voladura y el seguimiento de las vibraciones producto de la voladura.

Se llega a la conclusión de que hubo reducción del número de perforación por disparo un 10%, reducción de la sobre excavación de un 24% a un 6%, menor exposición al riesgo por desprendimientos y caídas de rocas, disminución de los tiempos de trabajo y disminución de los costos directos de perforación y tronadura.

2.1.2. *Antecedentes Nacionales*

Martinez C. (2014) “**Construcción del crucero cx-532 NW en el nivel 1890, area Ishihuinca y area Cordova , empresa Inversiones Mineras del Sur S.A**” Tesis presentada en la facultad de Ingeniería de Minas en la Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga.

Tesis con el objetivo de describir los aspectos geomecánicos del macizo rocoso donde se construirá el crucero Cx-532 NW, que servirá para transportar mineral mediante locomotoras y carros mineros.

Donde finalmente concluye que, según la evaluación realizada, el área del crucero tendrá una sección de 2.1 x 2.1m y una longitud de 750m con una inversión de \$551,694.00.

Bejar Y. (2024) **“Diseño y construcción del crucero 501- NW para optimizar las operaciones de explotación en la unidad minera luna de oro, Camaná- Arequipa”** Tesis para optar al título profesional de Ingeniero de Minas presentado en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

El trabajo de investigación tiene como objetivo el diseño y construcción del crucero 501 NW de 502 metros de longitud, para optimizar las operaciones de explotación en la unidad minera Luna de Oro S.A.C, mediante la evaluación técnico económico el cual garantizara la intercepción de la veta Huamantay y construcción de labores de desarrollo y preparación en la veta para su explotación y continuidad de la minera.

Como conclusión se tiene que el análisis y resultados determina que el costo de ejecución del crucero por metro de avance para tipo de roca III-A es 413.65 US\$ y para tipo de roca III-B es de 481.92 US\$, en base de indicadores económicos como el VAN y TIR, se determina la viabilidad del proyecto con resultados favorables.

Ortiz J. (2024) “**Incremento de la producción mediante la construcción del crucero 3600 en la unidad minera patay uno – Tarma - Junín** “ Tesis para optar al título profesional de Ingeniero de Minas presentado en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

Esta tesis tiene como objetivo el incremento de la producción y disminución de los costos unitarios en el proceso de extracción de mineral. Es así que al desarrollar el Crucero 3600 denominado San Lorenzo, para interceptar la estructura mineralizada de la veta Riqueza e incrementar la producción de mineral y disminuir el costo por tonelada en el proceso de extracción de mineral, mediante la acumulación de mineral en tolvas y acarreo con carros mineros modelo U-35 sobre rieles.

Concluyendo finalmente como resultado del desarrollo del Crucero 3600, el incremento de la producción máxima de 608 Tn/mes a 1519 Tn/mes y también se redujo el costo por tonelada en el proceso de extracción de 13.75 S./Tn a 2.37 S./Tn en la Unidad Minera Patay Uno

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Minería Subterránea

Es un método de extracción de minerales que se realiza debajo de la superficie terrestre, en oposición a la minería a cielo abierto, que se lleva a cabo en la superficie. En la minería subterránea, se excavan túneles, galerías y pozos para acceder a los yacimientos de minerales que se encuentran debajo de la superficie. Este método es utilizado cuando los yacimientos de minerales se encuentran a una profundidad demasiado grande para ser extraídos mediante métodos convencionales.

Se utiliza para extraer una variedad de minerales, incluyendo oro, plata, cobre, hierro, zinc y otros metales preciosos y no preciosos. También se utilizan para extraer minerales no metálicos como el carbón, la sal y la piedra caliza. La minería subterránea es una parte importante de la industria minera mundial y se utiliza en países de todo el mundo.

2.2.2. Modelo Geomecanico

Bayron Jaro, define el modelo geomecánico, 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.

2.2.3. Mecánica 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.

2.2.4. Clasificación del Macizo Rcoso

Los sistemas de clasificación del macizo rocoso sustituyen un enfoque para estimar las propiedades del macizo rocoso 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 parámetro de

entrada de muchos programas de modelamiento numérico. 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”.

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.

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 Rcoso.
- 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 Rcoso.

- 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.

En síntesis, las Clasificaciones Geomecánicas tienen por objeto caracterizar un determinado macizo rocoso en función de una serie de parámetros a los que se les asigna un cierto valor. Por medio de la clasificación se llega a calcular un índice característico de la roca, que permite describir numéricamente la calidad de la misma con fines muy diversos, como la elección del tipo de sostenimiento, sistemas de excavación, etc. Es una herramienta muy útil en el diseño y construcción de obras subterráneas, pero debe de ser usada con cuidado para su correcta aplicación, pues exige conocimientos y experiencia por parte de quien la utiliza. En ningún caso se ha pensado que las Clasificaciones Geomecánicas sustituyan a los estudios analíticos. No obstante, en muchos proyectos mineros, las clasificaciones geomecánicas han sido y continúan siendo el procedimiento de diseño sistemático utilizado. Estos sistemas de clasificación serán útiles para determinar la

extensión de los dominios geomecánicos en una mina. 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.

2.2.5. 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.

Tabla 1

Tabla de Clasificación RMR

RMR	CLASE	CALIDAD
100 a 81	I	Muy Buena
80 a 61	II	Buena
60 a 41	III	Mediana
40 a 21	IV	Mala
< 20	V	Muy Mala

Fuente: (Martinez Menezes, 2014)

2.2.6. RQD (Rock Quality Designation)

Para la estimación del RQD, se deben cumplir las siguientes recomendaciones.

- El diámetro del núcleo no debe ser menos de 50 mm.

- Si el núcleo fue roto por manejo o por las operaciones de perforación (fracturas frescas) los pedazos frescos rotos deben ser ajustados a su posición original y contarlos como un solo trozo.
- Los materiales que obviamente son más débiles que la roca alrededor, tales como rellenos pre consolidados, deben ser descartados del conteo, aun si tienen longitudes mayores de 10 cm.
- La longitud de trozos individuales de núcleos deben ser medida a lo largo del eje central del núcleo. De esta manera discontinuidades que son paralelas a la perforación no castigaran los valores de RQD.
- Se sugiere que el RQD sea determinado para longitudes variables en lugar de fijas. En este sentido se pueden determinar en capas individuales, en dominios estructurales, zonas de debilidad, etc., lo que indicaría cualquier variabilidad inherente en el subsuelo y daría una visión más precisa de la localización y ancho de las zonas con cero a bajo RQD.

El RQD fue introducido hace más de 30 años como un índice de calidad de roca, cuando la información de la calidad de la roca estaba usualmente disponible solo a partir de las descripciones geológicas y del porcentaje de núcleos de recuperación.

El RQD es una modificación del porcentaje de núcleos de recuperación, el cual solo incorpora las piezas sanas de los núcleos que tiene una longitud igual o mayor 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 núcleos con una perforadora de diamante de doble barril con un diámetro no menor al NX (54.7 mm). La siguiente relación entre el índice del RQD y la calidad de la roca fue propuesta por Deere en 1968.

Tabla 2
Tabla RQD

<i>Descripción</i>		
<i>Índice de calidad de la roca</i>	<i>RQD Valor</i>	
Muy mala	0—25	1. Donde el RQD es ≤ 10 , se le otorga el valor de 10
Mala	25—50	
Regular	50—75	2. Intervalos de 5 en 5 para el valor de RQD, 100, 95, 90, etc. Son suficientemente precisos
Buena	75—90	
Excelente	90 - 100	

Fuente: (Ortiz Alvarez, 2024)

2.2.7. Índice de Resistencia Geológica (GSI – Geological Strength Index).

Hoek (1994), 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 resistentes que uno que contienen piezas redondeadas limitadas por material meteorizado y alterado.

2.2.8. Crucero en Minería Subterránea

Es una excavación horizontal, labores comunes de acceso entre dos labores horizontales u otro fin, excepcionalmente para interceptar una zona mineralizada.

2.2.9. Finalidad de la Construcción del Crucero

- Labor de acceso entre dos labores horizontales
- Mejorar la distancia, tiempo y costos de recorrido
- Optimizar las operaciones de explotación de yacimiento mineralizado en el área

2.2.9.1. Consideraciones para la Construcción de un Crucero

A continuación, se indican las faces que se deben considerar al construir un crucero:

- El objetivo de labor minera.
- La geometría del proyecto: trazado y sección tipo.
- La geología y geotecnia del macizo rocoso.
- El método de construcción.
- La estructura resistente

2.2.10. Parámetros para el Diseño del Crucero

Al diseñar la construcción de un crucero, se debe considerar como parámetros Principales: Sección, gradiente, cámaras de refugio y longitud.

a) Sección transversal del Crucero

Las dimensiones, secciones de un crucero varia principalmente de acuerdo a la capacidad de explotación y producción que se tiene previsto, y las características físicas del terreno con las cuales determinaremos el tamaño del equipo a emplear; Scoop SFL de 1.5 yd³ y Jumbo Muki FF.

b) Gradiente

Es la variación de la altura en función de la distancia, a partir de la línea en que esta variación es máxima en las magnitudes cuyo valor es distinto en los diversos puntos de una región del espacio.

c) Longitud

Es el metrado total de desarrollo que se realiza desde la progresiva 0 hasta la progresiva final que se desea construir.

2.2.11. Clasificación de Sistemas de Sostenimiento

Al sostenimiento, se le define como los procedimientos en colocar algún elemento estructural que se utilizarán para mejorar la estabilidad y mantener la capacidad portante de la roca circundante a la excavación, con el objeto de movilizar y conservar la resistencia de la masa rocosa para que llegue autoportante, pudiendo 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.

- Tomar en cuenta las dimensiones de las labores y las zonas de influencia alrededor de estas excavaciones.

- Control de la estabilidad, que es una función del comportamiento geomecánico y económico de los tajeos individuales y globalmente.

- Establecer los adecuados esquemas y secuencias de avance para producir la mínima perturbación de la masa rocosa.

- Establecer las zonas de influencia de los tajeos.
- La vida de las labores puede imponer condiciones severas y/o leves.
- Tomar en cuenta las perturbaciones del minado en las labores adyacentes.
- Analizar la información geología 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).

2.2.12. Desde el Punto de Vista de la Función que Cumplen

2.2.12.1. Fortificación Activa

Es aquel tipo de sostenimiento que actúa en el mismo instante de haberse colocado el sostenimiento.

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

2.2.12.2. Fortificación Pasiva

Es aquel que trabaja a medida que el terreno actúa sobre el sostenimiento colocado.

Sostenimiento pasivo

Cuadros de madera Cimbras y/o cerchas Wood packs

Gatas a fricción

Shotcrete

Anillos con concreto

Sistemas combinados

2.2.12.3. Desde el Punto de Vista del Tiempo de uso del Soporte

La fortificación consiste básicamente en recubrir o reforzar el entorno de una labor subterránea mediante algún elemento de sostenimiento, tales como cuadros, mallas, cimbras, pernos, shotcrete, o una combinación de ellos, la fortificación en labores mineras, es una actividad que constituye una importante contribución a la seguridad en labores subterráneas por lo tanto los encargados de esta importante labor minera tienen una gran responsabilidad y deben estar seguros de que su trabajo esté bien hecho.

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 determinara la capacidad del sistema de fortificación. Para definir el diseño más adecuado de sostenimiento, se emplean algunos de los sistemas de clasificación geotécnica para macizos rocosos tales como el RMR de bieniawski, el

RMR de laubscher, el Q de Barton y otros basados Fundamentalmente en las propiedades mecánicas y/o estructurales de las masas rocosas.

2.2.12.4. Fortificación para un Corto Tiempo

Es un sistema de sostenimiento (menos de un año) y se caracteriza porque se instala inmediatamente después del disparo (detonación) del frente, brindan seguridad inmediata al personal y a los equipos evitan el deterioro prematuro del macizo rocoso. Ejemplo: pernos con anclajes, pernos de fricción, mallas, etc.

2.2.12.5. Fortificación Definitiva

Se instalan para asegurar la estabilidad de las labores y sus singularidades, se instalan en forma posterior a los disparos de avance para toda la vida útil del proyecto. Ejemplo: cables de acero, pernos con resina o cementadas, shotcrete, cimbras y otros

2.2.13. Tipos Comunes de Sistemas de Sostenimiento de Terrenos

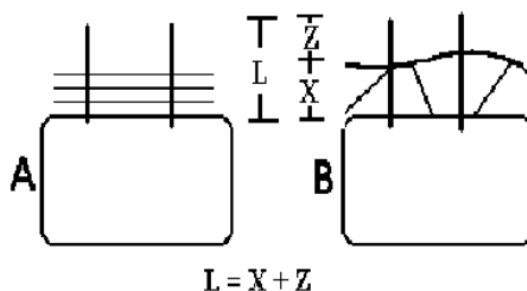
Determinación de longitud de pernos de roca

Longitud del elemento de sostenimiento respecto a la zona anclaje

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

Figura 1:

Longitud del perno



Fuente: (Bejar Luza, 2024)

Longitud del elemento de sostenimiento respecto al ancho de la abertura

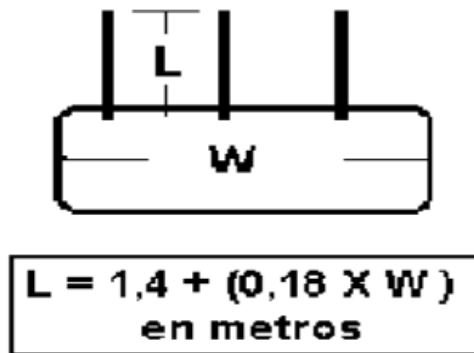
$$L = 1,4 + (0,18 \times W)$$

L = longitud del perno (m)

W= ancho de la abertura (m)

Figura 2:

Longitud del perno en base al ancho de abertura



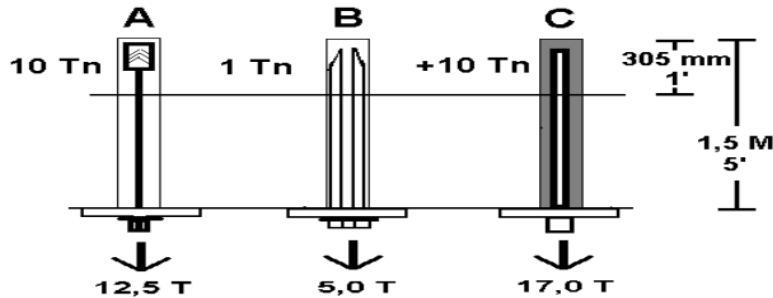
Fuente: (Bejar Luza, 2024)

2.2.14. 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.

Figura 3:

Resistencia Mínima de los tipos de sostenimiento



Fuente: (Martinez Vargas, 2011)

Tabla 3

Zona de anclaje 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: (Martinez Vargas, 2011)

Colocación y espaciamiento de los elementos de sostenimiento

$$L \setminus E = 1.5 - 2.0$$

1.5 terreno regular

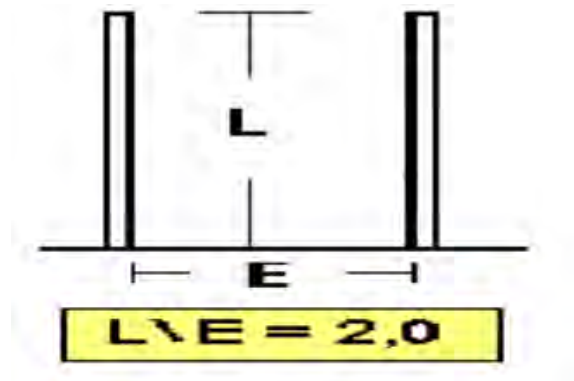
2.0 terreno malo

L = longitud del perno

E = espaciamiento de los pernos

Figura 4:

Relación longitud – espaciamento



Fuente: (Martinez Vargas, 2011)

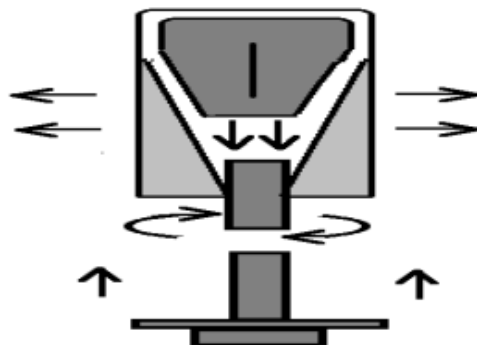
2.2.15. Efectos de los Elementos de Sostenimiento

2.2.15.1. Pernos con Anclaje de Expansión

Un perno para roca con anclaje de expansión controla el movimiento o el desplazamiento de la masa rocosa induciendo la presión de la tensión de la barra entre el anclaje y la platina de apoyo. 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.

Figura 5:

Anclaje de expansión



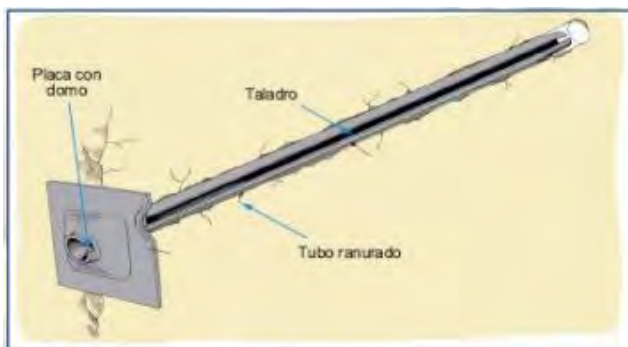
Fuente: (TENORIO ROJAS, 2016)

2.2.15.2. 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 6:

Diagrama Perno Split Set



Fuente: (TENORIO ROJAS, 2016)

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.

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)

2.2.15.3. Barra Corrugada Lechada de Resina o Cemento

Los pernos fabricados de acero corrugado instalados en una lechada de resina o cemento resiste el movimiento del terreno debido a los puntos de contacto del enclavamiento mecánico del perno. La unión resina o lechada con la roca depende de las irregularidades encontradas dentro de la perforación y de la estructura de la roca (- + 10 Tn/pie). Se recomienda para todo tipo de estructuras, para el sostenimiento de alta resistencia y a largo plazo.

2.2.15.4. Barra Helicoidal

Son barras laminadas en caliente con resaltes en forma de rosca helicoidal de amplio paso. El diseño de hilo permite colocar una tuerca que puede rodar longitudinalmente por los resaltes a lo largo de la barra, Actúa en conjunto con una placa y una tuerca para reforzar y preservar la resistencia natural que presentan 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.

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)

2.2.15.5. 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.

2.2.16. Funciones de los Pernos para Roca

2.2.16.1. Resistencia en Tracción

La acción principal de todos de pernos para roca es el de resistir el movimiento o el disloque del terreno. En general en la roca dura este disloque es el resultado de fallas y fracturas. 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.

2.2.16.2. 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.

2.2.16.3. 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

2.2.16.4. 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.

2.2.16.5. 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.

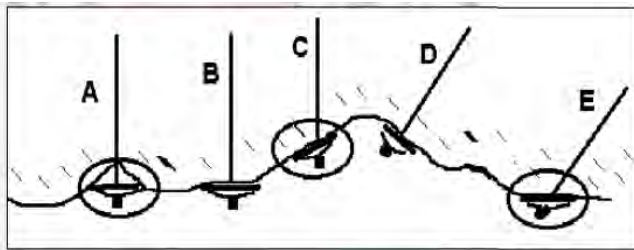
2.2.17. Accesorios y Elementos de Sostenimiento Adicional

2.2.17.1. Platinas de Apoyo

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

Figura 7:

Platinas



Fuente: (TENORIO ROJAS, 2016)

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)

2.2.17.2. Malla de Alambre

Dentro de los productos para el sostenimiento del macizo rocoso se encuentran las mallas electrosoldadas, que pertenecen a la categoría de elementos de sostenimiento tipo refuerzo o

pasivo, estas son fabricadas en acero laminado en frío, en alambres o barras, lisas o corrugadas. Estos alambres o barras, se cruzan entre sí de forma perpendicular y están soldadas en todas sus intersecciones permitiendo una distribución 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.

2.2.17.3. Usos de la Malla de Alambre

La malla electrosoldada correctamente elegida, previene la caída de rocas al sostener los trozos caídos del macizo y actúa como refuerzo del concreto lanzado (Shotcrete). Las mallas pueden ser instaladas en socavones, pasadizos, trasvase de ríos, erosión de paredes rocosas, taludes, etc.

2.2.18. Costos de Operación

El Costo de Operación es la suma de los Costos Directos más los Costos Indirectos

2.2.18.1. Costo Indirecto

Es la suma de gastos técnico – administrativos necesarios para la correcta realización de cualquier proceso productivo. Están relacionados con la mano de obra, materiales y equipos que no están directamente relacionados con la producción. Dentro de la estructura de costos, se expresan de manera porcentual representando los Gastos Generales de Operación.

2.2.18.2. Costo Directo

Se define como: la suma de mano de obra, materiales y equipo necesario para la realización de un proceso productivo. Está relacionado directamente con la producción.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General

- La construcción del Cx 1420 contribuye al incremento de la producción en minera Sotrami, Unidad Santa Filomena, Ayacucho.

2.3.2. Hipótesis Específicas

- La identificación de factores geomecánicos contribuye para elegir el tipo de sostenimiento más adecuado.
- La identificación de parámetros permite conocer el ciclo de trabajo que se realiza en el Cx 1420.
- Los costos de la construcción del Cx 1420 son los mínimos según el estudio geomecánico que se realiza.

2.4. Variables e Indicadores

2.4.1. Variable Dependiente

X: Incremento de la producción

2.4.2. Variable Independiente

Y: Construcción del Cx 1420

2.5. Operacionalización de las Variables

Tabla 4
Tabla de Variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
INDEPENDIENTE		
	Parámetros	• Análisis Geomecánico de la
Construcción del Cx 1420	Geomecánicos (RMR – GSI)	Roca (RMR,RQD,GSI) • Tipo de Sostenimiento
DEPENDIENTES		
Incremento de la producción	KPIS	• Producción Horaria (Tm/Hr) • Producción por guardia (Tm/gd) • Distancia de acarreo (m)

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es del tipo básica y cuantitativa, ya que la investigación a realizar utiliza datos cuantitativos para analizar las técnicas de construcción de un crucero en una mina subterránea, es del tipo básica ya que el propósito de esta investigación no es resolver problemas inmediatos, sino más bien proporcionar una base teórica para investigaciones de otros tipos. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

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 que exista entre dos o más conceptos o variables en una muestra o contexto en particular. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

Descriptiva, ya que comprende la colección de datos para probar una hipótesis o responder a preguntas concernientes a la situación corriente de los sujetos que intervienen en el estudio. Un estudio descriptivo determina los modos de ser de los objetos. (ÑAUPAS PAITAN, VALDIVIA DUEÑAS, PALACIOS VILELA, & ROMERO DELGADO, 2018).

Evaluativa, ya que la investigación evalúa la correlación de datos entre dos o más variables.

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. (ÑAUPAS PAITAN, VALDIVIA DUEÑAS, PALACIOS VILELA, & ROMERO DELGADO, 2018).

3.4. Población

La población de la investigación considerada será del total de labores en la unidad minera Sotrami.

3.5. Muestra

La muestra para la investigación es no probabilística y se delimita a el crucero 1420 de zona 23 a zona santa rosa de la Unidad minera Sotrami.

3.6. Técnicas e Instrumentos de Captura de Información

3.6.1. Técnicas de Recolección de Datos

Las principales técnicas que utilizaremos son:

- Técnica Documental
- Observación
- Entrevista

3.6.2. Instrumentos

- Diario de Campo
- Ficha Documental
- Guía de Observación
- Guía de Entrevista

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.
- Microsoft Office
- Software Rockscience

CAPÍTULO IV

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Para abordar el capítulo de Procedimiento y Resultados en la tesis titulada Diseño y Construcción del Crucero 1420 de Zona 23 a Zona Santa Rosa para Incrementar la Producción en Minera Sotrami, Unidad Santa Filomena, Ayacucho, se debe resaltar la importancia del rigor metodológico y la precisión técnica inherentes a proyectos de esta naturaleza. El objetivo principal de este capítulo es proporcionar una descripción clara y detallada de las actividades llevadas a cabo durante el proceso de diseño y construcción del crucero, así como exponer los resultados alcanzados en términos de impacto en la productividad minera. En este sentido, se pretende establecer una correlación directa entre los procedimientos implementados y las mejoras operativas derivadas, con énfasis en la eficiencia y la viabilidad económica del proyecto.

El procedimiento de investigación incluyó varias fases clave que comenzaron con un análisis exhaustivo del terreno y la evaluación de las condiciones geológicas y estructurales de la zona de trabajo. A partir de esta evaluación, se definieron los parámetros técnicos que guiarían el diseño del crucero, tales como la estabilidad del macizo rocoso, la profundidad adecuada de excavación y las especificaciones para asegurar la seguridad de los trabajadores. En paralelo, se realizaron estudios de impacto económico que permitieron proyectar los beneficios potenciales en la producción minera, tomando como base tanto los volúmenes de mineral extraído como el tiempo de operación reducido en relación con el esquema previo.

El capítulo también detallará el proceso de construcción, desde la planificación logística hasta la ejecución física de las obras, considerando aspectos como la maquinaria utilizada, la mano de obra requerida y los tiempos programados. A lo largo de este apartado, se integrarán los factores de contingencia y las adaptaciones realizadas durante la fase constructiva debido a condiciones imprevistas del terreno o factores externos, como el clima y el acceso a recursos. Asimismo, se incluirán los controles de calidad implementados para garantizar que cada etapa del proyecto cumpliera con los estándares técnicos establecidos.

En cuanto a los resultados, se presentarán los datos obtenidos durante y después de la construcción del crucero, con especial atención a la mejora en los niveles de producción. El análisis incluirá comparaciones con periodos anteriores a la implementación del proyecto, permitiendo visualizar el impacto directo del crucero 1420 en el rendimiento de la Unidad Santa Filomena. Además, se evaluará la sostenibilidad de las mejoras alcanzadas, considerando tanto los costos de mantenimiento del crucero como su durabilidad a largo plazo.

Este capítulo constituye un eje fundamental dentro de la investigación, ya que expone de manera cuantificable y cualitativa cómo la correcta ejecución de un proyecto de infraestructura minera puede traducirse en incrementos sustanciales en la producción, favoreciendo tanto a la empresa como a la comunidad local a través de la optimización de recursos y el aumento en la rentabilidad

4.1. Descripción del Procedimiento

Este apartado constituye el corazón del proceso metodológico, donde se detallan todos los pasos seguidos para llevar a cabo la construcción del crucero 1420. La descripción del procedimiento no solo permite conocer las acciones técnicas, sino también la lógica detrás de cada decisión tomada. Aquí se aborda de manera exhaustiva cómo se identificaron los factores

geomecánicos clave y el proceso de diseño. Cada uno de estos elementos es esencial para garantizar que el proyecto no solo sea factible, sino también eficiente y seguro.

4.1.1. Identificación de los Factores Geomecánicos

En el ámbito minero, la evaluación de los factores geomecánicos es fundamental para garantizar la estabilidad de las estructuras subterráneas. Este apartado se enfoca en analizar cómo se evaluaron las propiedades mecánicas y estructurales del terreno en las zonas 23 y Santa Rosa, donde se desarrolla el crucero 1420. La información recopilada mediante el análisis geomecánico no solo orientó el diseño del sostenimiento, sino que también fue clave en la selección de los métodos de excavación y en la estimación de la durabilidad del crucero.

Sotrami S.A. lleva a cabo actividades de extracción de oro en la mina Santa Filomena, cumpliendo con los controles de seguridad establecidos por los organismos gubernamentales. Para asegurar estas condiciones.

El estudio tiene como objetivo analizar la estabilidad del proyecto Crucero 1420, una infraestructura de gran relevancia dentro de la mina, con el fin de mitigar riesgos que pudieran comprometer la seguridad del personal debido al método de explotación o a otros factores relacionados con las operaciones.

4.1.2. Análisis Geomecánico de la Roca

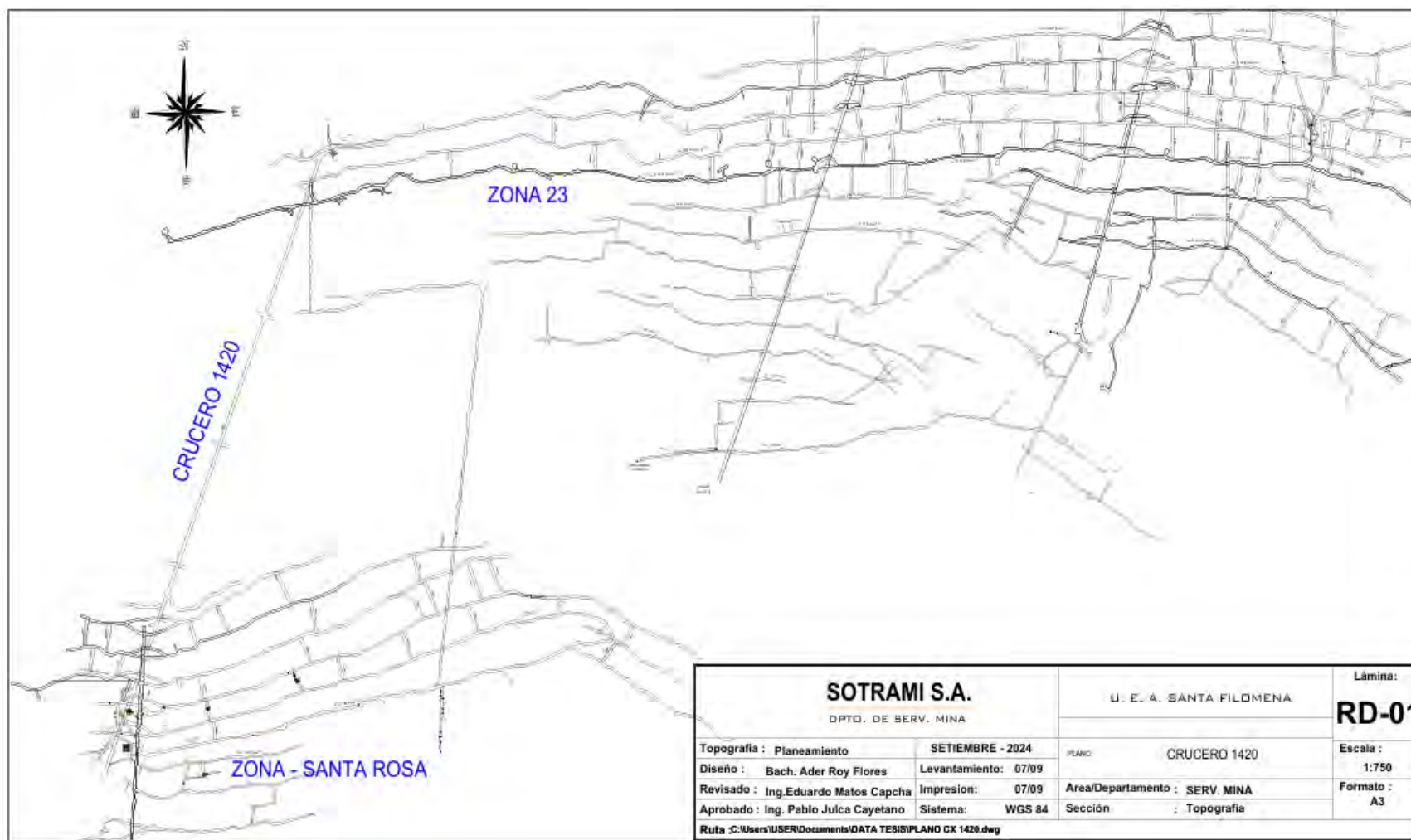
El análisis geomecánico de la roca es un paso clave en el diseño de cualquier obra subterránea, ya que permite evaluar parámetros esenciales como la resistencia de la roca, la calidad del macizo rocoso y su comportamiento ante fuerzas externas. Este proceso ayuda a anticipar posibles fallas o inestabilidades, garantizando la seguridad del proyecto y optimizando los recursos disponibles.

El proyecto se ubica en el Nivel 14 de la veta Santa Filomena, en la zona 23, crucero 1420, con una altura litostática de 516 metros desde la superficie, está asentado en rocas intrusivas de diorita y granodiorita fresca, que en su extremo sureste se encuentran en contacto con diques andesíticos que muestran una alteración moderada.

Los índices geomecánicos del crucero 1420, según la clasificación de Bieniawski (1989), indican que la calidad de la masa rocosa es de clase III-A, con un RMR de 61-70. La excavación está situada en una litología de diorita y granodiorita, con un sistema estructural que forma cuñas y presenta una falla tipo cizalla que atraviesa transversalmente el eje de la labor.

Figura 8:

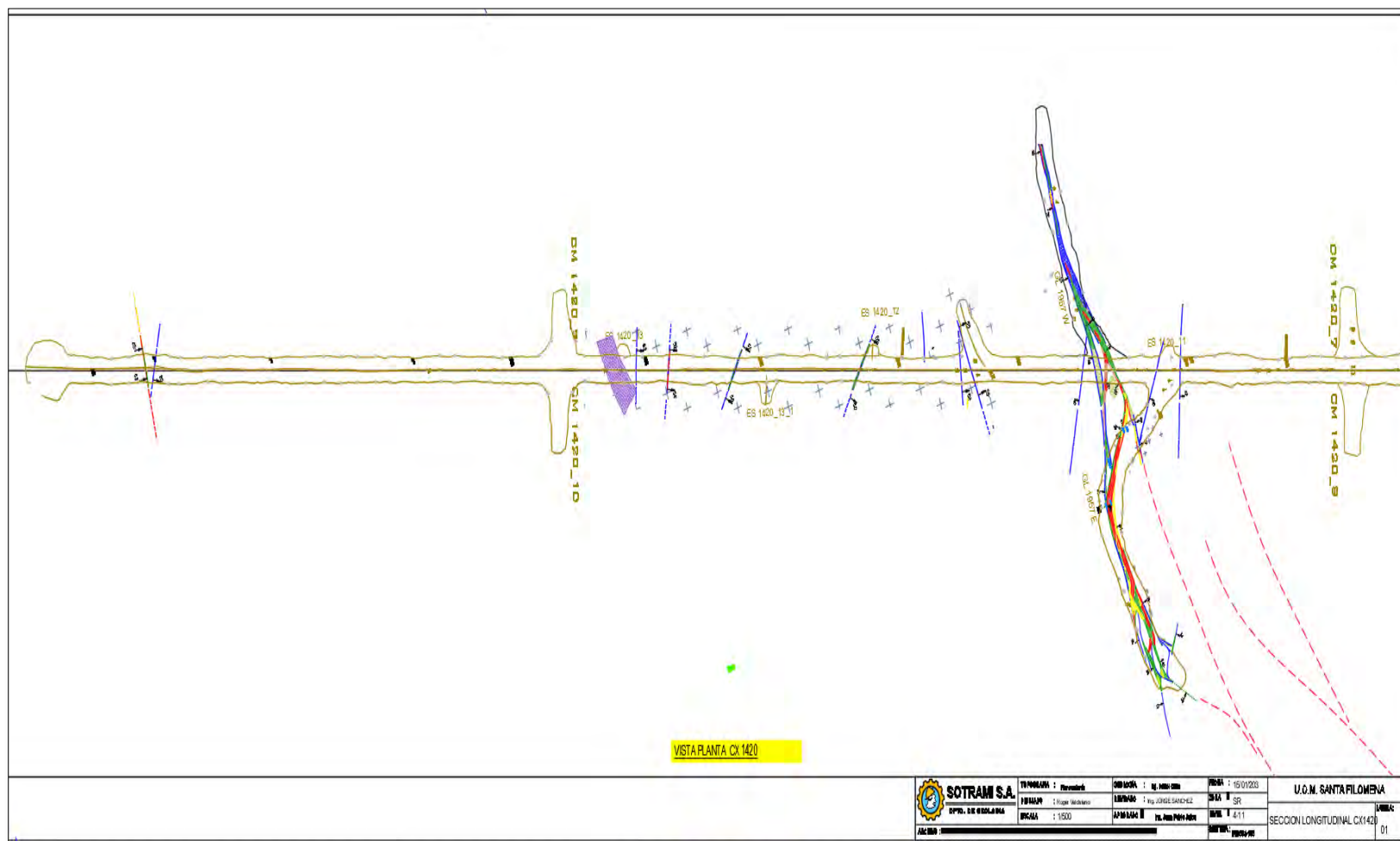
Plano Topográfico de Ubicación del CRUCERO 1420. Nv.14 - 2025



Fuente: Elaboración Propia

Figura 9:

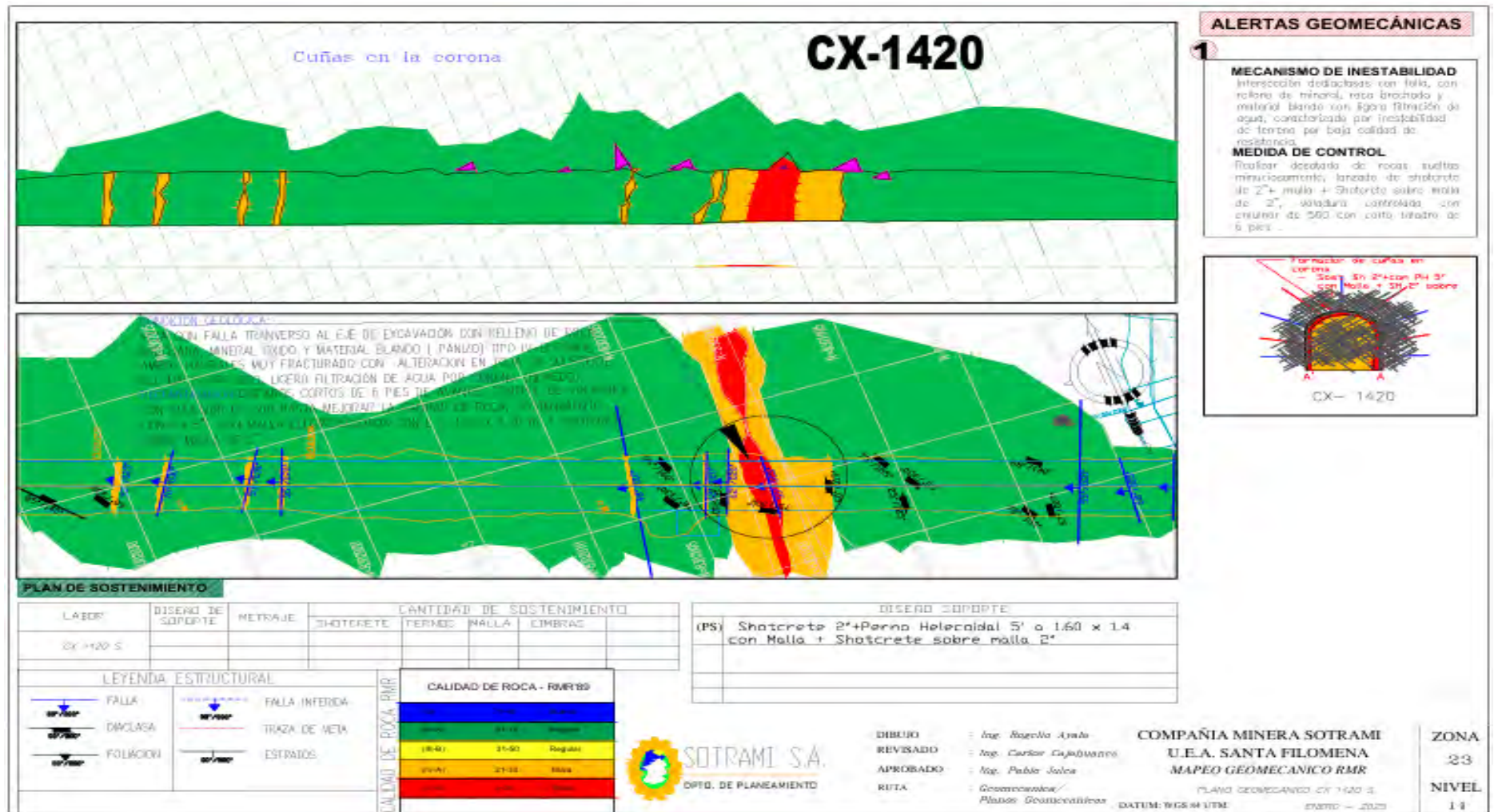
Plano Litológico, Proyecto CRUCERO 1420 S. 1631 Nv.14.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 10:

Plano de Zonificación Geomecánica del CRUCERO 1420. Nv.14 - 2025



Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.1. RMR (Rock Mass Rating)

El sistema de clasificación RMR, conocido como Clasificación del Macizo Rocoso, es una herramienta crucial que se utiliza para evaluar la calidad y resistencia de las rocas en proyectos de ingeniería, especialmente en túneles y excavaciones subterráneas. Esta metodología permite estimar tanto la viabilidad de una excavación como el tipo de soporte que será necesario implementar para asegurar la estabilidad de la estructura. En el contexto del Crucero 1420, la aplicación de este sistema ha sido esencial para caracterizar las condiciones geológicas del área de estudio y determinar las implicancias que estas condiciones tienen sobre la seguridad y viabilidad del proyecto

El RMR (Rock Mass Rating) se fundamenta en la asignación de puntajes basados en varios parámetros geotécnicos que describen las características de las rocas. En el caso específico del Crucero 1420, uno de los factores clave considerados fue la resistencia a la compresión uniaxial de la roca, la cual se midió en 105 MPa. Este valor le otorgó 12 puntos dentro de la escala RMR. Además, se evaluó el RQD (índice de calidad de la roca), que alcanzó el 65%, ubicándose en el intervalo de 50-75% y añadiendo otros 13 puntos a la clasificación, el detalle de los resultados anteriores se encuentra en la siguiente tabla.

Otro aspecto relevante fue el espaciamiento de las discontinuidades, el cual fue de 25 cm, situándose en el rango de 0.2 a 0.6 metros, lo que permitió sumar 10 puntos adicionales. Las condiciones de las discontinuidades también fueron evaluadas detalladamente: la persistencia de las fracturas, que se encontraba entre 1 y 3 metros, contribuyó con 4 puntos, mientras que la abertura de las discontinuidades, de entre 0.1 y 1.0 mm, aportó 5 puntos más. En términos de rugosidad, las superficies de las discontinuidades se clasificaron como ligeramente rugosas, lo que sumó 3 puntos, y el relleno fue descrito como duro y menor a 5 mm, obteniendo 4 puntos

adicionales. La roca, además, mostró signos de ligera intemperización, lo cual añadió 6 puntos más al total.

En cuanto a las condiciones de humedad, el proyecto se lleva a cabo en un entorno seco, lo que permitió alcanzar el puntaje máximo de 15 puntos en el parámetro de agua subterránea, indicando condiciones favorables desde este aspecto. No obstante, la orientación de las discontinuidades fue desfavorable para el proyecto, lo que provocó una reducción de 5 puntos en la puntuación total.

Después de considerar todos estos factores, el puntaje total del RMR básico ascendió a 72 puntos. Sin embargo, al ajustar ciertos parámetros para las condiciones específicas del proyecto, el RMR corregido resultó ser de 67 puntos. Al tener en cuenta las condiciones secas del entorno, el valor final del RMR se incrementó a 79 puntos. Con este resultado, la clasificación del macizo rocoso se ubicó en la categoría "II - Buena", correspondiente al rango de 80 a 61 puntos.

Este análisis detallado de la clasificación RMR ha sido fundamental para evaluar y garantizar la estabilidad del macizo rocoso en el proyecto Crucero 1420, proporcionando una guía esencial para la toma de decisiones relacionadas con el diseño del soporte y las medidas de seguridad necesarias durante la construcción.

Tabla 5
Procedimiento del RMR

SISTEMA RMR																																																										
PARÁMETROS				VALOR	RANGO							VALOR																																														
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)				105	>250 (15)	X	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	12																																															
RQD (%)				65.00	90-100 (20)		75-90 (17)	X	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	13																																														
Espaciamiento de discontinuidades (cm)				25.00	>2m (20)		0,6-2 m (15)	X	0.2-0.6m (10)	0.06-0.2m (8)	< 0.06m (5)	10																																														
CONDICION DE DISCONTINUIDADES																																																										
Familia	Buz.	/D. Buz	f/m	Persistencia	<1m long. (6)	X	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4																																															
				Abertura	Cerrada (6)		<0.1mm apert. (5)	X	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	5																																														
				Rugosidad	Muy rugosa (6)		Rugosa (5)	X	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3																																														
				Relleno	Limpia (6)	X	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4																																															
				Alteración	X Sana (6)		Lig. Intempe. (5)	Mod.Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	6																																															
Agua subterránea					X	Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	15																																															
Orientación		<table><tr><td colspan="4">Rumbo perpendicular al eje de la excavacion</td><td colspan="2">Rumbo paralelo al eje de la excavacion</td><td rowspan="5">Buzamiento 0°-20° independient e del rumbo</td></tr><tr><td colspan="2">Direccion con el buzamiento</td><td colspan="2">Direccion contra el buzamiento</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>Bz</td><td>Bz</td><td>Bz</td><td>Bz</td><td>Bz</td><td>Bz</td></tr><tr><td>45°-90°</td><td>20°-45°</td><td>45°-90°</td><td>20°-45°</td><td>45°-90°</td><td>20°-45°</td></tr><tr><td>Muy Favorable</td><td>Favorable</td><td>Regular</td><td>Desfavorable</td><td>Muy Desfavorable</td><td>Regular</td><td>Desfavorable</td></tr><tr><td>0</td><td>-2</td><td>-5</td><td>-10</td><td>-12</td><td>-5</td><td>-10</td></tr></table>						Rumbo perpendicular al eje de la excavacion				Rumbo paralelo al eje de la excavacion		Buzamiento 0°-20° independient e del rumbo	Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento										Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	0	-2	-5	-10	-12	-5	-10						-5
Rumbo perpendicular al eje de la excavacion				Rumbo paralelo al eje de la excavacion		Buzamiento 0°-20° independient e del rumbo																																																				
Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento																																																								
																																																										
Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz																																																					
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°																																																					
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable																																																				
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10																																																				
RMR ₈₉ (Basico) =												72																																														
RMR ₈₉ (Corregido) =												67																																														
Condiciones secas												RMR' ₈₉ (Condiciones Secas)=	79																																													
	JRC (BARTON BANDIS)			RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II BUENA																																																
				DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA																																																	

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.2. RQD (Rock Quality Designation)

El RQD, o Índice de Calidad de la Roca, constituye uno de los parámetros más importantes para caracterizar la calidad geotécnica de un macizo rocoso, ya que refleja el porcentaje de núcleo recuperado con fragmentos mayores a 10 cm, lo que permite estimar el grado de fracturamiento de la roca y su comportamiento frente a las labores de excavación. En el caso del Crucero 1420, este indicador adquiere un rol central al permitir prever tanto la estabilidad estructural como la facilidad de avance en las distintas zonas del proyecto. Además, el RQD sirve como base técnica para planificar el diseño del sostenimiento y para seleccionar los equipos y métodos constructivos más adecuados en función del entorno geológico. En la siguiente tabla se encuentran los detalles específicos del análisis realizado, el cual incluyó la evaluación de diversos parámetros estructurales y mecánicos de la roca.

En dicho análisis, se examinó el número de fracturas por metro lineal, obteniéndose valores de 5 y 4 en las secciones S1 y S2 respectivamente, lo que implica una presencia moderada de discontinuidades estructurales. A su vez, el espaciamiento promedio entre fracturas se situó entre 0.35 y 0.40 metros, lo que corrobora una distribución relativamente densa de fracturas. El número de fracturas por metro cúbico, representado por el parámetro volumétrico J_v , se mantuvo constante en un valor de 4, tanto para S1 como para S2. A partir de estos valores, se aplicó la fórmula empírica $RQD = 115 - 3.3 \times J_v$, lo que resultó en índices de calidad de la roca de 97% y 96%, respectivamente, con un promedio general de 93%. Estos valores, expuestos claramente en la tabla, reflejan que el macizo rocoso en esta zona es de “muy buena calidad”, según la escala de Bieniawski, lo cual es favorable desde el punto de vista estructural y constructivo.

Complementando esta evaluación, se efectuó un ensayo con martillo Schmidt para estimar la resistencia superficial del macizo rocoso. Los resultados obtenidos en los puntos A, B, C y D fueron de 53, 49, 45 y 47, respectivamente, arrojando un promedio general de 48 unidades de rebote. Este resultado, también consignado en la tabla, permite inferir una resistencia aceptable del macizo en condiciones naturales, lo que refuerza la viabilidad del desarrollo del crucero sin necesidad de sistemas de sostenimiento intensivos, siempre y cuando se respete la secuencia constructiva adecuada.

Asimismo, se identificaron diferentes estructuras geológicas presentes en la zona evaluada, tales como diaclasas (D), fallas (Fn), contactos litológicos (C) y microfallas (MF), las cuales fueron registradas mediante mapeo estructural. Estas estructuras son determinantes para la integridad del macizo, ya que afectan la resistencia global del terreno y su respuesta ante esfuerzos inducidos por excavación. En este sentido, la competencia de la roca fue evaluada a través de la relación entre la resistencia a compresión simple (UCS) y el esfuerzo vertical (Sv), siendo este último calculado con la fórmula $S_v = 0.027 \times h$, donde “h” representa la altura litostática (profundidad). Esta relación, también descrita en la tabla, clasifica la roca como de baja competencia si $UCS/S_v \leq 8$, de competencia intermedia si se encuentra entre 8 y 15, y de alta competencia si es mayor a 15. Esta clasificación permite determinar si el macizo puede sostenerse por sí mismo o requiere soporte adicional.

En resumen, la tabla presentada condensa los principales indicadores geomecánicos que sustentan la caracterización estructural del macizo rocoso en el Crucero 1420. Los valores obtenidos de RQD, índice de rebote, número de fracturas y competencia de la roca proporcionan información crítica para la toma de decisiones técnicas y operativas, permitiendo no solo planificar

adecuadamente las labores de excavación y sostenimiento, sino también anticipar posibles riesgos estructurales asociados a las condiciones geológicas del entorno.

Tabla 6
Procedimiento de RQD

# Fract/ml	RQD (%)	PARAMETROS		S1	S2	S3	S4						
1	100	NUMERO DE FRACTURAS		5	4								
2	98	CONTADAS EN (m):		1.00	1.00								
3	96	ESPACIAMIENTO MEDIO(m)	X	0.35	0.40								
4	94	FRACTURAS / METRO	λ	4	3								
5	91	N° DE FRACT./m3	Jv	4	4								
6	88	INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA	RQD (%)	97.0	96.0			93.0					
7	84	DONDE: RQD = 115 – 3.3 x Jv							PROMEDIO				
8	81												
9	77												
10	74	MARTILLO SCHMIDT (INDICE DE REBOTE)											
11	70		A	B	C	D	PROMEDIO						
12	66		53	52	54	54	53						
13	63		49	48	47	50	49						
14	59		43	44	48	45	45						
15	56		49	44	48	45	47						
16	53												
17	49						48						
18	46	ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS											
19	43	D	SISTEMA DE DIACLASA										
20	41	F _n	SISTEMA DE FALLAS										
21	38	C	CONTACTO										
22	35	MF	MICRO FALLA										
23	33	UCS	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE										
24	31	Sv	ESFUERZO VERTICAL										
25	29	RESISTENCIA DE LA ROCA Sv=0.027* h Donde: h=Altura litostatica Sv= Esfuerzo Vertical 0.027=Constante Universal											
26	27												
27	25								Poco competente	UCS/Sv ≤ 8			
28	23								Competencia Intermedia	8 < UCS/Sv ≤ 15			
29	21								Competencia Alta	UCS/Sv > 15			
30	20												

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.3. GSI (Geological Strength Index)

El GSI, o Índice de Calidad Geomecánica, representa una herramienta clave para evaluar la resistencia y la cohesión del macizo rocoso en función de su estructura y grado de alteración. Este índice es particularmente relevante para el diseño de sostenimiento, ya que permite anticipar el comportamiento de la roca bajo las cargas generadas durante la excavación. En el caso del Crucero 1420, el análisis geotécnico se complementó con el uso del sistema de clasificación Q, el cual integra distintos parámetros estructurales y mecánicos del macizo con el objetivo de evaluar de manera integral su calidad. En la siguiente tabla se encuentran los detalles del cálculo, los cuales reflejan una condición geomecánica favorable para el desarrollo del proyecto.

Entre los parámetros empleados se destaca el RQD (Rock Quality Designation), que alcanzó un valor de 93%, lo cual indica un macizo rocoso de alta integridad estructural. El número de discontinuidades, representado por el parámetro J_n , fue de 3, indicando una cantidad moderada de familias de fracturas. En cuanto a la rugosidad de estas discontinuidades, el valor asignado al parámetro J_r fue también 3, mientras que el grado de alteración superficial (J_a) alcanzó un valor de 4, lo que refleja una roca moderadamente alterada pero aún competente. La influencia del agua subterránea, evaluada mediante el parámetro J_w , fue mínima, con un valor de 1, lo que indica condiciones secas. Del mismo modo, el factor de reducción de esfuerzos (SRF) fue igual a 1, lo que evidencia una condición de baja tensión o sin afectación por fallas, zonas de presión o condiciones tectónicas críticas.

Con estos datos, se procedió al cálculo del índice Q utilizando la fórmula

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \times \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \times \left(\frac{J_w}{SRF} \right)$$

lo cual arrojó un resultado de 23.25, que clasifica al macizo dentro de la categoría “BUENA” en la tabla de clasificación Q. Esta categoría sugiere que la roca presenta condiciones estructurales adecuadas para excavaciones subterráneas, con requerimientos moderados de sostenimiento, lo que favorece la eficiencia y seguridad del desarrollo del crucero.

Obteniéndose un valor de 79, el cual corresponde a una roca de buena calidad dentro de la escala de Bieniawski (RMR 89). Esta estimación es crucial, ya que resume las condiciones geomecánicas del macizo rocoso a partir de parámetros como la resistencia a compresión uniaxial, el RQD, el espaciamiento y la condición de las discontinuidades, la presencia de agua subterránea y la orientación de las fracturas. Este valor RMR permite establecer una base sólida para la selección del tipo de sostenimiento y la evaluación del comportamiento del macizo frente a las condiciones operativas específicas del proyecto.

A partir del valor obtenido de RMR, se calculó el GSI (Geological Strength Index) de forma directa, considerando las condiciones estructurales observadas en campo y siguiendo las recomendaciones de Hoek y Marinos (2000).

A partir del valor obtenido de RMR, se calculó el GSI (Geological Strength Index) mediante la relación:

$$GSI = RMR'_{89} - 5$$

lo que dio como resultado un GSI de 74. Este valor reafirma que el macizo presenta una estructura definida y un bajo grado de alteración, lo que se traduce en una buena resistencia geológica. La presencia del valor de GSI en la tabla, junto con los valores consolidados de RMR (79 - II) y Q (24.50), permite consolidar la clasificación del macizo rocoso como de buena calidad geomecánica.

Estos resultados, presentados en la tabla y relacionados directamente con los parámetros geotécnicos medidos en campo, no solo permiten caracterizar adecuadamente la calidad de la roca en el área del Crucero 1420, sino que también proporcionan los fundamentos técnicos para la toma de decisiones en cuanto al tipo de sostenimiento, secuencia de avance y diseño estructural de las labores subterráneas. El uso combinado de los sistemas Q, RMR y GSI ofrece una visión integral y técnicamente sólida del comportamiento del macizo frente a las exigencias del proyecto.

Tabla 7
Tabla Geomecánica

SISTEMA DE CLASIFICACION Q										
PARAMEROS						RANGO				VALOR
RQD %					RQD			%		93
Número de discontinuidades					Jn					3
Número de rugosidad					Jr					3
Número de alteración					Ja					4
Número de agua subterránea					Jw					1
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)					SRF					1
Q = (RQD/J _n) x (J _r / J _a) x (J _w / SRF)									Q =	23.25
Q' = (RQD/J _n) x (J _r / J _a)									Q' =	23.25
RMR = 9 Ln Q + 44 RMR' = 9 Ln Q' + 44										
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4,0	4-1,0	1-0,1	0,1-0,01	0,01-0,001	BUENA
DESCRIPCION	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMENADAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMENADAMENTE POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE	
INDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA										
					GSI = RMR' ₈₈ - 5					74
							VALORES			SIMBOLO
TABLA GEOMECÁNICA (GSI) _v							GSI	RMR	Q	GSI
							74	79 - II	24.50	LF/B

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3. Prueba de Pull Test – Zona 23

Este subapartado presenta la evaluación de la capacidad anclante del sostenimiento con pernos helicoidales mediante ensayos de tracción (Pull Test) ejecutados en la Zona 23 – Nivel 14, específicamente en el Crucero 1420 (CX.1420, CM.1420 y GL1950). El objetivo fue verificar en campo la resistencia efectiva del anclaje y su deformabilidad frente a cargas crecientes, contrastando los resultados con el criterio mínimo de aceptabilidad establecido para la operación.

a) Fundamentación y marco normativo

Conforme al Art. 214 del D.S. 024-2016-EM (Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería), toda labor subterránea debe contar con sistemas de sostenimiento que garanticen estabilidad y seguridad operativa. Los ensayos Pull Test constituyen una verificación directa de la calidad de instalación y desempeño mecánico de los pernos, y permiten ajustar parámetros constructivos (diámetro de broca, dosificación y tipo de anclaje, tiempos de fraguado) para asegurar su desempeño.

b) Ubicación y condiciones geomecánicas

Las pruebas se realizaron en el Crucero 1420 de la Zona 23 – Nv. 14. La labor se emplaza en rocas ígneas (dioritas y andesitas) con familias de discontinuidades de rumbo variable respecto al eje de avance. Esta condición estructural exige verificar la calidad de anclaje para controlar potenciales desprendimientos por esfuerzos inducidos (voladura, esfuerzos verticales y horizontales) y por la orientación de juntas.

c) Metodología de ensayo

Se efectuaron ensayos de tracción controlada aplicando carga incremental al conjunto perno-anclaje hasta alcanzar el umbral de aceptación o evidenciar comportamiento no conforme. Durante cada prueba se registraron la carga aplicada y la elongación asociada, a fin de evaluar

simultáneamente la resistencia y la deformabilidad del sistema. El programa de ensayos fue ejecutado en campo el 21 de noviembre de 2023 y documentado en el informe técnico emitido el 05 de diciembre de 2023.

d) Resultados

En total se realizaron 15 ensayos Pull Test:

- 10 ensayos conformes (aceptables): cumplieron o superaron el criterio mínimo de aceptabilidad de 16 toneladas.
- 5 ensayos en observación (no aceptables): no alcanzaron el umbral mínimo exigido.

En cuanto al comportamiento deformacional:

- Elongación máxima registrada: 25 mm.
- Elongación mínima registrada: 4,40 mm.

Estos resultados evidencian que la mayoría de instalaciones verificadas cumple con la exigencia de resistencia, mientras que un tercio requiere acciones correctivas y/o de estandarización para asegurar el desempeño esperado en toda la labor.

e) Análisis e interpretación

El cumplimiento del umbral de 16 t en dos tercios de las pruebas confirma la idoneidad general del esquema de instalación en la Zona 23. No obstante, la variabilidad de elongaciones (4,40–25 mm) y la presencia de 5 casos no conformes sugieren diferencias en práctica de perforación, calidad de anclaje (tipo y dosificación de aglomerante) y control de tiempos de fraguado. En macizos con dioritas y andesitas fracturadas, pequeñas desviaciones en diámetro real del taladro, limpieza del barreno o mezcla/tiempo de curado del aglomerante tienen efecto directo en la adherencia perno-roca y, por tanto, en la carga movilizada y la rigidez del anclaje. La

dispersión observada indica la necesidad de estandarizar parámetros de instalación y reforzar la inspección en línea para reducir la probabilidad de anclajes sub-óptimos.

f) Medidas de control y estandarización recomendadas

Derivado de los hallazgos del ensayo se establecen las siguientes acciones para cierre de brechas y homogenización del desempeño:

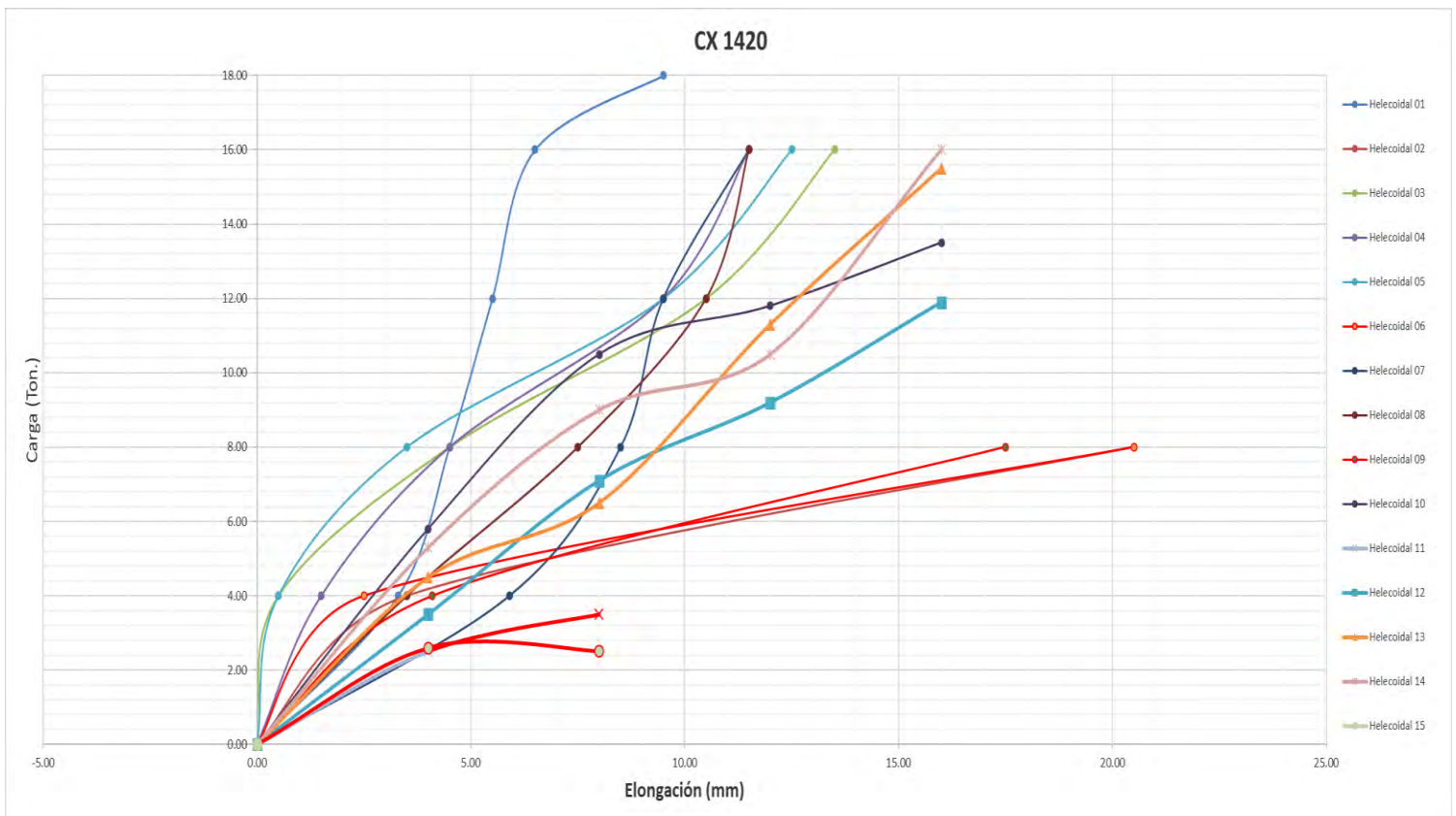
- Diámetro de perforación: emplear broca de 36 mm para los taladros destinados a la instalación de pernos helicoidales, asegurando tolerancias y coaxialidad adecuadas.
- Estandarización de consumibles: unificar diámetros de brocas por longitud/tipo de perno y definir un catálogo controlado de barras para el jumbo, reduciendo variabilidad dimensional entre frente de sostenimiento y perforación de voladura.
- Aglomerante y dosificación: mantener el margen de costos y los procedimientos de dosificación definidos para taladros de anclaje. Evitar combinaciones cemento-resina no justificadas (por sobre costo) salvo requerimiento técnico explícito.
- Tiempos de fraguado y puesta en carga: asegurar tiempos de fraguado (cemento/resina) acordes a ficha técnica antes de aplicar carga o liberar la zona, priorizando fluidez operativa sin comprometer la adherencia.
- Priorización de control geomecánico: aplicar las mejores prácticas de perforación y control de calidad en áreas críticas (intersecciones, accesos, estaciones eléctricas, cámaras, zonas con mayor densidad de discontinuidades).
- Inspección y verificación sistemática: incorporar una lista de chequeo por instalación (diámetro real, limpieza de barreno, longitud efectiva de anclaje, mezcla/tiempo de curado) y programar re-ensayos en los 5 puntos no conformes tras la corrección.

g) Conclusión técnica

El programa de Pull Test ejecutado en la Zona 23 – Nv. 14 valida que la capacidad de anclaje del sostenimiento con pernos helicoidales en el Crucero 1420 es, en general, compatible con el criterio de aceptación (≥ 16 t). La presencia de no conformidades (5/15) y la dispersión de elongaciones evidencian la necesidad de estandarizar parámetros de perforación, anclaje y control de fraguado para reducir variabilidad y asegurar un desempeño homogéneo del sostenimiento, en línea con lo exigido por el D.S. 024-2016-EM, Art. 214.

Figura 11:

Diagrama de comportamiento carga–elongación para pernos helicoidales ensayados en el Crucero 1420



Fuente: Departamento de Geomecánica – Sotrami S.A. (2023)

La Figura muestra las curvas de comportamiento carga–elongaciones obtenidas en los 15 ensayos de Pull Test realizados en el Crucero 1420, donde se aplicó carga incremental hasta alcanzar la rotura o el límite de adherencia de los pernos helicoidales. Cada curva representa el comportamiento individual de un anclaje, evidenciando una respuesta heterogénea en función de la calidad de instalación y de las condiciones del macizo rocoso.

En el gráfico se distinguen dos grupos principales:

- Curvas en color azul y tonos intermedios, correspondientes a los ensayos Helicoidal 01 al 05, 10 al 15, que superaron el umbral de 16 toneladas, mostrando un tramo elástico pronunciado seguido de un ligero alargamiento plástico controlado, lo que indica una buena adherencia resina–roca y una correcta instalación.
- Curvas en color rojo (Helicoidal 06 al 09), que no alcanzaron el criterio mínimo de aceptación, con cargas máximas por debajo de 10 toneladas y elongaciones limitadas. Este comportamiento sugiere pérdida de confinamiento del anclaje o diámetro de perforación inadecuado (38 mm), lo cual reduce la fricción lateral y la capacidad de transferencia de esfuerzos.

El conjunto de resultados refleja una tendencia global creciente entre carga y elongación, con variabilidad entre 4,4 y 25 mm de deformación. Los anclajes con elongación más alta alcanzaron cargas superiores sin desprendimiento, evidenciando una correcta dosificación del aglomerante. Por el contrario, los pernos con elongación reducida y carga baja corresponden a instalaciones con defectos de adherencia o vacíos parciales en el taladro.

En términos geomecánicos, las curvas superiores del gráfico confirman un comportamiento dúctil controlado, deseable para labores emplazadas en dioritas y granodioritas fracturadas, mientras que las curvas inferiores (en rojo) representan un comportamiento frágil o fallas

prematuras de anclaje. Esta diferencia justifica la recomendación de ajustar el diámetro de broca a 36 mm y revisar los procedimientos de mezcla y fraguado para mejorar la uniformidad del sostenimiento.

4.1.4. Selección del Sostenimiento

Una vez completado el análisis geomecánico, es esencial seleccionar el tipo de sostenimiento más adecuado para el cx. Este subcapítulo se centra en los criterios empleados para determinar el tipo de sostenimiento óptimo, teniendo en cuenta la resistencia de la roca y las condiciones específicas de la excavación. La correcta selección del sostenimiento es fundamental para asegurar tanto la estabilidad de la estructura como la seguridad de los trabajadores.

En cuanto al tiempo de autosoporte, es crucial definir cuánto tiempo puede mantenerse estable una excavación minera sin sostenimiento antes de que ocurra relajación. Para el análisis de autosoporte permitirá implementar el sostenimiento adecuado dentro de ese intervalo de tiempo, antes de que inicie el proceso de relajación. Con un valor de Q de 3.75, y considerando los parámetros analizados como RQD, J_n , J_r y J_a , se obtiene un SPAN de 5.4. Es importante también considerar el RMR corregido, que en este caso es 56.

En la Fig. 13 se muestra un tiempo de autosoporte de aproximadamente 2 semanas para los valores indicados, que corresponden a un SPAN de 5.4 metros y un RMR de 56. Esta estimación se basa en el ábaco propuesto por Grimstad y Barton (1993), adaptado en la Tabla 10 del presente estudio, el cual permite definir el tiempo durante el cual una excavación puede mantenerse sin sostenimiento, en función de la calidad del macizo rocoso (RMR) y el ancho libre de excavación. Según dicho ábaco, un RMR en el rango de 55–60 y un SPAN de entre 5 y 6 metros corresponde a un tiempo de autosoporte comprendido entre 10 a 15 días, lo cual se ha redondeado a 2 semanas para fines de planificación.

Tabla 8

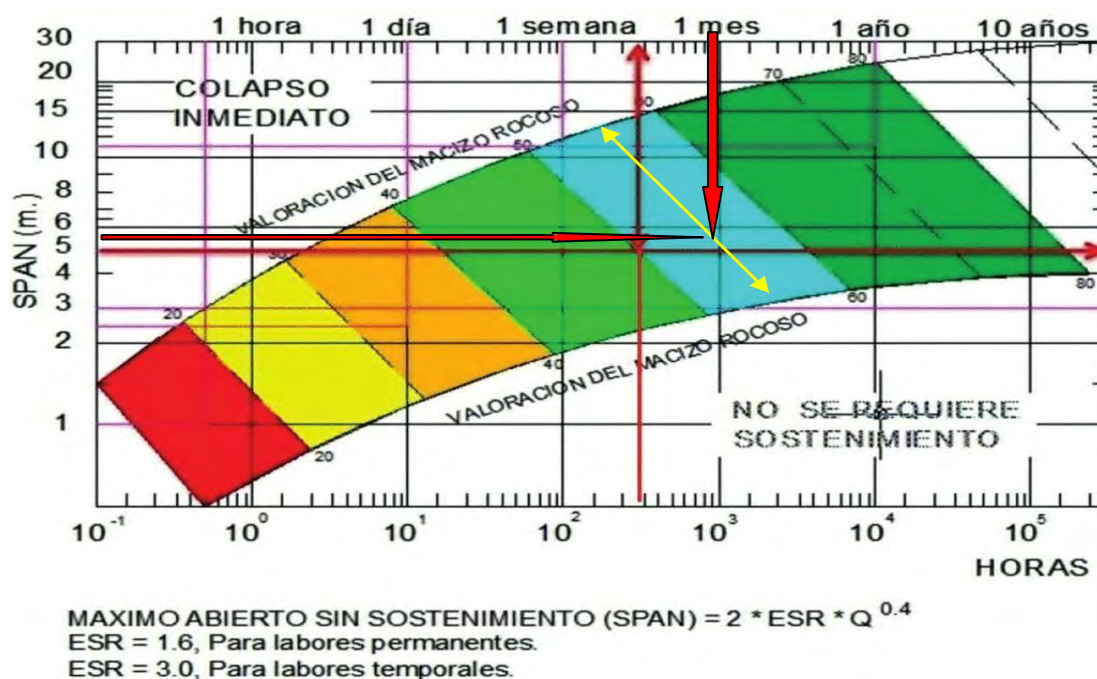
Valores del Índice ESR según la clasificación de Q de Barton.

	TIPO DE EXCAVACIÓN	ESR
A	Labores mineras de carácter temporal	2-5
B	Galerías mineras permanente, túneles de centrales hidroeléctricas (excluyendo las galerías de alta presión) túneles piloto, galerías de avance en grandes excavaciones, cámaras de compensación hidroeléctrica.	1,6-2,0
C	Cavernas de almacenamiento, plantas de tratamiento de aguas, túneles de carreteras secundarias y de ferrocarril, túneles de acceso.	1,2-1,3
D	Centrales eléctricas subterráneas, túneles de carreteras primarias y de ferrocarril, refugios subterráneos para defensa civil, emboquilles, e intersecciones de túneles.	0,9-1,1
E	Centrales nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones públicas y deportivas, fábricas, túneles para tuberías principales de gas.	0,5-0,8

Fuente: Barton 2000.

Tabla 9

Tiempo de autosoporte



Fuente: Bieniawski (RMR).

Tabla 10*Tiempos de autoaporte por tipo de roca*

Dominio	Tipo de Roca	Rango RMR	Abertura máxima (m)	Tiempo de auto sostenimiento
DE-IIIA	Regular - A	51 – 60	5.4	> 1 mes
DE-IIIB	Regular - B	41 – 50	5.4	> 1 semana
DE-IVA	Mala - A	31 – 40	5.4	2 días
DE-IVB	Mala - B	21 – 30	5.4	4 horas

Fuente: Elaboración propia

4.1.4.1. Tipo de Sostenimiento Seleccionado

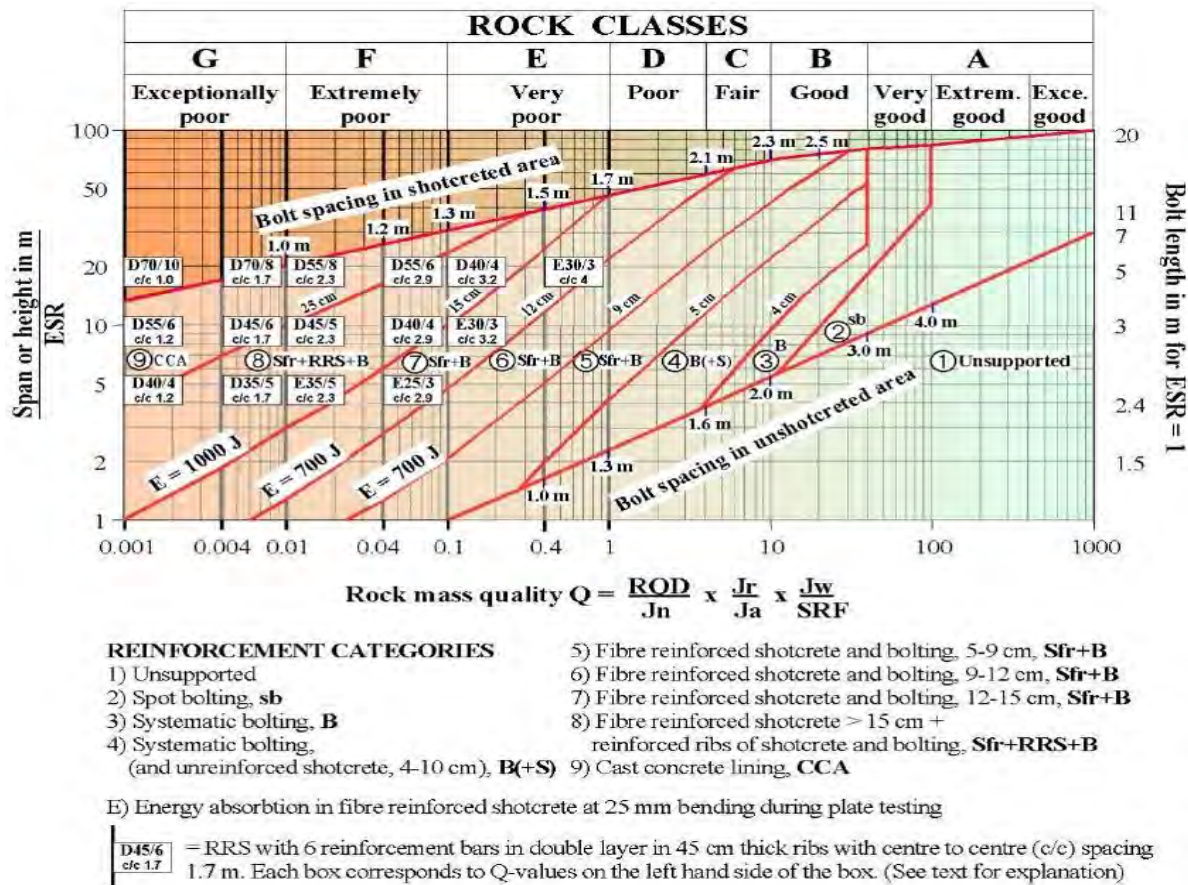
El tipo de sostenimiento elegido debe satisfacer los requisitos geomecánicos identificados y asegurar la estabilidad tanto durante como después del proceso de excavación. En esta sección se detallarán los distintos tipos de sostenimiento disponibles y se justificará la selección final en función de factores técnicos, económicos y de seguridad.

Para la construcción del crucero 1420, la estabilización se logra a través de la interpolación en el ábaco propuesto por Grimstad y Nick Barton, como se muestra en la Tabla 5.0. Con un valor de Q de 3.75 y una dimensión Equivalente (De) de 4.4, la interpolación en el ábaco de Barton posiciona el proyecto en la zona (4). Esto indica el tipo de sostenimiento apropiado para el tipo de excavación que se llevará a cabo, que en este caso requiere el uso de pernos sistemáticos de 5 pies.

Los estimados de sostenimiento, determinados utilizando los criterios de clasificación como el Sistema Q, proporcionan un punto de partida para aplicar criterios más detallados y específicos.

Tabla 11

Ábaco propuesto por Grimstad y Nick Barton para la determinación del tipo de sostenimiento.



Fuente: Grimstad y Nick Barton

4.1.4.2. Condiciones de Estabilidad del Macizo Rocoso

La estabilidad del macizo rocoso es esencial para determinar la necesidad y el tipo de sostenimiento adecuado. En esta sección se analizará cómo las características del macizo, como su fracturación, han influido en las decisiones de diseño y en las adaptaciones realizadas durante la construcción para garantizar la estabilidad a largo plazo del crucero.

El diseño de la excavación y el sostenimiento se ha evaluado según los parámetros establecidos en los ábacos propuestos por Grimstad, Nick Barton y Bieniawski, dado que la excavación es crucial para los objetivos del proyecto. De acuerdo con los análisis realizados

utilizando los ábacos de Grimstad y Nick Barton, se ha determinado que la excavación debe ser reforzada con pernos distribuidos de manera sistemática, incluyendo pernos helicoidales de 5 pies con un espaciado sistemático de 2.60 metros y malla electrosoldada en las zonas donde se producen cambios en el terreno del macizo rocoso.

Es fundamental considerar el tiempo de autoaporte, ya que, al tratarse de una labor de alta importancia, el sostenimiento debe implementarse de manera oportuna. Las condiciones operativas que incluyen la presencia de cuñas, voladizos y bloques tabulares con riesgo de desplome deben ser eliminadas antes de iniciar el sostenimiento para minimizar los riesgos asociados al desprendimiento de rocas.

Los elementos de refuerzo, como los pernos helicoidales, deben ser ajustados correctamente, y las mallas deben estar adecuadamente adheridas a la superficie de la excavación antes de aplicar la segunda capa de shotcrete. Además, es crucial cumplir con los estándares y procedimientos establecidos para la inyección de cartuchos de cemento y resina, asegurando que los elementos de refuerzo alcancen su capacidad máxima de 16 toneladas.

Una vez concluido el proyecto del crucero 1420 S, se deben instalar estaciones de monitoreo para registrar las convergencias y asegurar la estabilidad continua del proyecto.

4.1.5. Diseño del Crucero 1420

El diseño del crucero es una etapa clave en el proceso de planificación minera, ya que determina las dimensiones, el perfil y las características estructurales necesarias para optimizar la producción. En esta sección, se abordará detalladamente el proceso de diseño, con el objetivo de garantizar que el crucero cumpla con los más altos estándares de seguridad y eficiencia operativa.

Para asegurar que el crucero soporte adecuadamente las cargas estructurales impuestas por el macizo rocoso, se ha realizado un cuidadoso cálculo de las dimensiones, considerando el perfil

del túnel y los materiales a emplear. Este diseño busca un equilibrio óptimo entre la seguridad y la durabilidad, sin comprometer la rentabilidad del proyecto. Un análisis de estabilidad exhaustivo se lleva a cabo para asegurar que las cargas provenientes del terreno no afecten la seguridad de la estructura. En esta sección, se describen los métodos utilizados para este análisis, así como las soluciones implementadas para reforzar las zonas consideradas críticas.

La construcción del crucero 1420 detalla la instalación de pernos helicoidales como una parte fundamental del sistema de sostenimiento mecánico en la Unidad Minera Santa Filomena, gestionada por Minera Sotrami S.A. Este diseño técnico establece las especificaciones para la instalación de los pernos en una sección de 3.0 m x 3.0 m, basándose en las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, así como en las clasificaciones GSI (Índice Geológico de Resistencia) y RMR (Rock Mass Rating). De acuerdo con los estudios realizados, la resistencia a la compresión del macizo varía entre 75 y 100 MPa, identificándose tipos de roca que van desde medio fracturada/blanda (MF/B) hasta fracturada/blanda (F/B) y ligeramente fracturada/roca (LF/R).

El sistema de sostenimiento diseñado para el crucero incluye una disposición sistemática de pernos helicoidales en una configuración rómbica. Los pernos, de entre 5 y 6 pies de longitud, se colocan con un espaciamiento longitudinal de 1.4 metros y radial de 2.6 metros. Con un diámetro de 34 mm y tuercas de 19 mm, estos pernos están diseñados para soportar hasta 16 toneladas de carga. Este sostenimiento se aplica en labores permanentes, sin necesidad de cimbrado ni shotcrete. La instalación de los pernos se realizará con el equipo mecanizado Muki FF, garantizando que el sostenimiento se aplique de manera oportuna, cubriendo completamente el área de excavación.

El proceso de instalación requiere una preparación adecuada. Antes de colocar los pernos, se debe limpiar a presión la corona y los hastiales del túnel, y realizar un desate minucioso de cuñas y bloques para prevenir desprendimientos. Los pernos se insertan utilizando cartuchos de resina y cemento, con un tiempo de hidratación de entre 5 y 10 minutos y un batido de 15 a 20 segundos, lo que asegura una adhesión eficiente y maximiza la capacidad de carga del sistema.

Es fundamental seguir los Procedimientos de Trabajo Seguro (PETS) durante todas las etapas del proceso, para asegurar que cualquier estructura con riesgo de deslizamiento no supere los 20 cm. Tras la instalación del sostenimiento, se implementarán estaciones de monitoreo de convergencia en puntos clave del crucero para evaluar su estabilidad a lo largo del tiempo.

Este diseño incorpora parámetros técnicos específicos, como los espaciamientos y diámetros de los pernos, las características de los sistemas de anclaje, y la metodología para garantizar la estabilidad y seguridad del crucero 1420.

4.1.5.1. Justificación de la Sección del Crucero (herradura o cóncava)

El diseño de la sección transversal del Crucero 1420 fue concebido con una geometría tipo herradura o cóncava, cuyas dimensiones son de 3.0 metros de ancho por 3.0 metros de alto, con una bóveda superior curva que permite una distribución homogénea de los esfuerzos inducidos por el macizo rocoso. Esta elección responde a criterios técnicos sustentados tanto en el comportamiento geomecánico del terreno como en las exigencias operativas de acarreo y sostenimiento.

Desde el punto de vista estructural, esta sección reduce significativamente los puntos de concentración de esfuerzos en esquinas vivas, lo que mejora la estabilidad de la excavación, especialmente en macizos con resistencia media como los encontrados en la Unidad Santa Filomena. De acuerdo con los parámetros geomecánicos levantados, el macizo rocoso fue

clasificado como tipo III-A, con una resistencia uniaxial entre 75 y 100 MPa, un GSI de 51–70 y un RMR que oscila entre 51 y 70 puntos, ubicando a la roca en la categoría Regular A. Estas condiciones permiten que una sección semicircular no solo sea factible, sino también eficiente en términos de seguridad y sostenibilidad estructural.

Adicionalmente, la geometría herradura favorece la disipación de energía sísmica y de presión de confinamiento, manteniendo una buena capacidad de autoaporte y facilitando la aplicación de un sostenimiento sistemático. Esta forma, al no presentar ángulos rectos, permite un confinamiento más uniforme del macizo y reduce el riesgo de caída de cuñas o bloques en el techo.

En términos de ventilación, la forma cóncava contribuye también al mejor flujo del aire, disminuyendo pérdidas de carga y favoreciendo la renovación en zonas profundas del crucero. Además, este tipo de sección es ideal para labores permanentes, donde se proyecta una vida útil prolongada y un tránsito constante de equipos, lo que justifica aún más su implementación.

Por todo lo expuesto, la elección de esta sección se sustenta en principios de estabilidad geomecánica, eficiencia en la operación minera, y seguridad para el personal, constituyéndose en una solución técnica idónea para los objetivos productivos del proyecto.

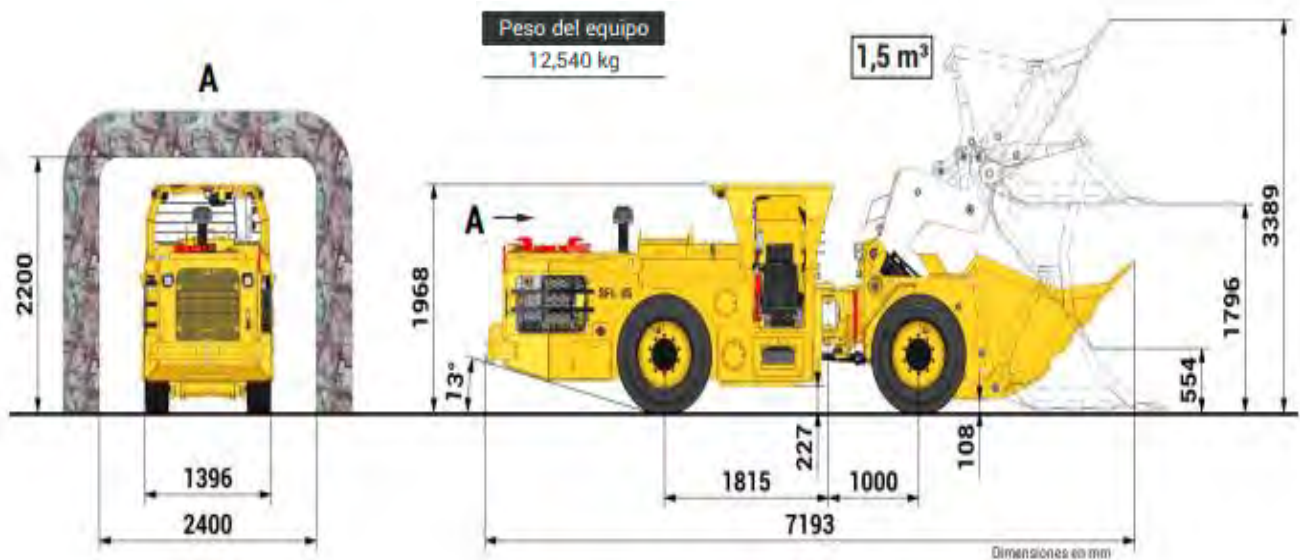
4.1.5.2. Dimensiones en Función del Tamaño de los Equipos de Perforación, Sostenimiento y Limpieza

El diseño dimensional del Crucero 1420 fue definido de manera que garantice la operatividad y el tránsito fluido de los principales equipos de perforación, sostenimiento y limpieza utilizados en la Unidad Minera Santa Filomena. La sección final adoptada, de 3.0 metros de ancho por 3.0 metros de altura libre, responde directamente a las características geométricas de los equipos empleados en el ciclo de minado, principalmente el Scoop SFL 35 de 1.9 yd³ y Jumbo Muki FF.

A) **Scoop SFL 35** está especialmente diseñado para trabajos de minería subterránea en sección estrecha. Con un ancho de 1.39 m, una capacidad de carga de 3.5 toneladas, es ideal para aumentar su productividad sin la necesidad de aumentar las secciones de su galería. El chasis y las articulaciones están diseñados para la aplicación más dura, tiene un ancho operativo de 2.2 metros y una altura aproximada de 2.1 metros, mientras que el jumbo presenta ancho de hasta 2.3 metros y alturas cercanas a los 2.4 metros. Considerando márgenes de seguridad laterales de 0.35 m por lado y una holgura vertical de al menos 0.5 m, se determinó que una sección de 3.0×3.0 m es suficiente para permitir el paso sin restricciones, incluso con desviaciones menores en la excavación.

Figura 12:

Dimensiones del equipo Scoop SFL 35

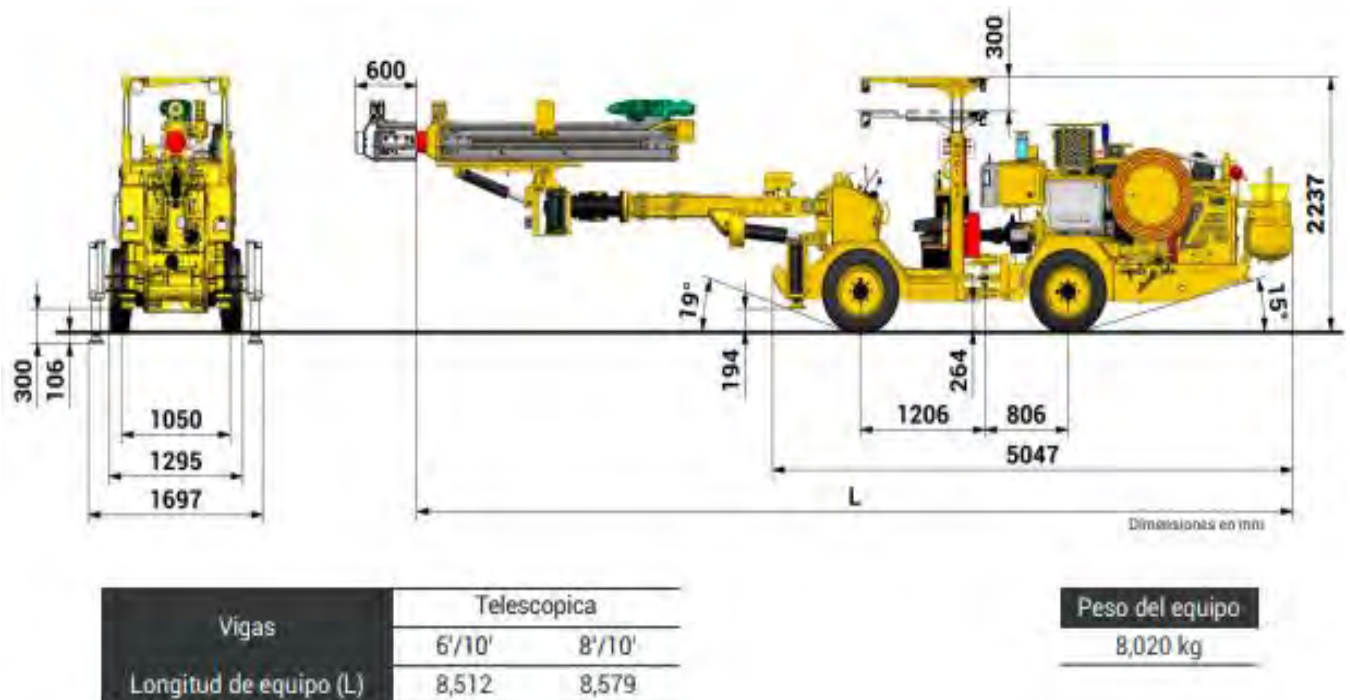


Fuente: Página Web de RESEMIN - 2025

B) Jumbo Muki FF es un equipo electrohidráulico de perforación frontal de 1.05 m de ancho, recomendado para secciones pequeñas de 1.05 m de ancho x 2.0 m de alto hasta secciones de 3.5 x 3.5 m. Puede operar también como Upper Drill para realces en Corte y Relleno. Viene con brazo hidráulico de sección cuadrada y viga de avance con opciones: Viga Telescópica 6-10 y 8-10 pies. Otra opción es Viga Simple para barra de 8 pies. Equipada con perforadora Montabert HC 50 de 14 kW. Chasis para trabajo pesado, articulado 4WD, auto propulsado con motor diésel y transmisión hidrostática Poclain, sistema electrohidráulico para la perforación.

Figura 13:

Dimensiones del equipo Jumbo Muki FF



Fuente: Página Web de RESEMIN - 2025

En conclusión, las dimensiones del crucero 1420 fueron definidas con base en criterios de compatibilidad geométrica con los equipos, eficiencia operativa y sostenibilidad de las labores, logrando un equilibrio óptimo entre sección excavada, seguridad estructural y funcionalidad minera.

4.1.5.3. Parámetros Geomecánicos Aplicados al Diseño Estructural del Crucero

El diseño estructural del Crucero 1420 fue elaborado considerando en detalle los parámetros geomecánicos del macizo rocoso, los cuales fueron obtenidos mediante ensayos y observaciones de campo que permitieron una caracterización precisa del terreno. Esta información fue integrada al diseño de sostenimiento mecanizado, optimizando los elementos de soporte en función de las condiciones reales de la roca.

El macizo fue clasificado dentro del tipo III-A, con resistencia a la compresión uniaxial entre 75 y 100 MPa, índice GSI de 51 a 70, y un RMR que se ubica entre 51 y 70 puntos, correspondiente a una categoría Regular A. Estas condiciones indican un macizo de calidad media, con capacidad de autosoporte limitada, lo que justifica el uso de un sostenimiento sistemático tipo romboidal.

El sostenimiento adoptado, según la lámina técnica E-01, consiste en:

- Pernos helicoidales de 5, 6 o 6 pies de longitud, de 19 mm de diámetro.
- Instalación con cartucho de resina y, en zonas específicas, cartucho de cemento.
- Patrón de distribución romboidal, con espaciamiento radial de 1.40 m, longitudinal de 1.30 m, y diagonal interna de 1.50 m.

- Cobertura de malla electrosoldada, tipo refuerzo pasivo, que actúa sinérgicamente con los pernos.

Esta configuración está diseñada para controlar los desplazamientos del macizo ante cargas inducidas por excavación y tránsito de equipos, y para evitar desprendimientos de cuñas y bloques fracturados, especialmente en las zonas donde se identificaron contactos estructurales y diaclasamientos menores.

La metodología de instalación, también detallada en el plano, incluye:

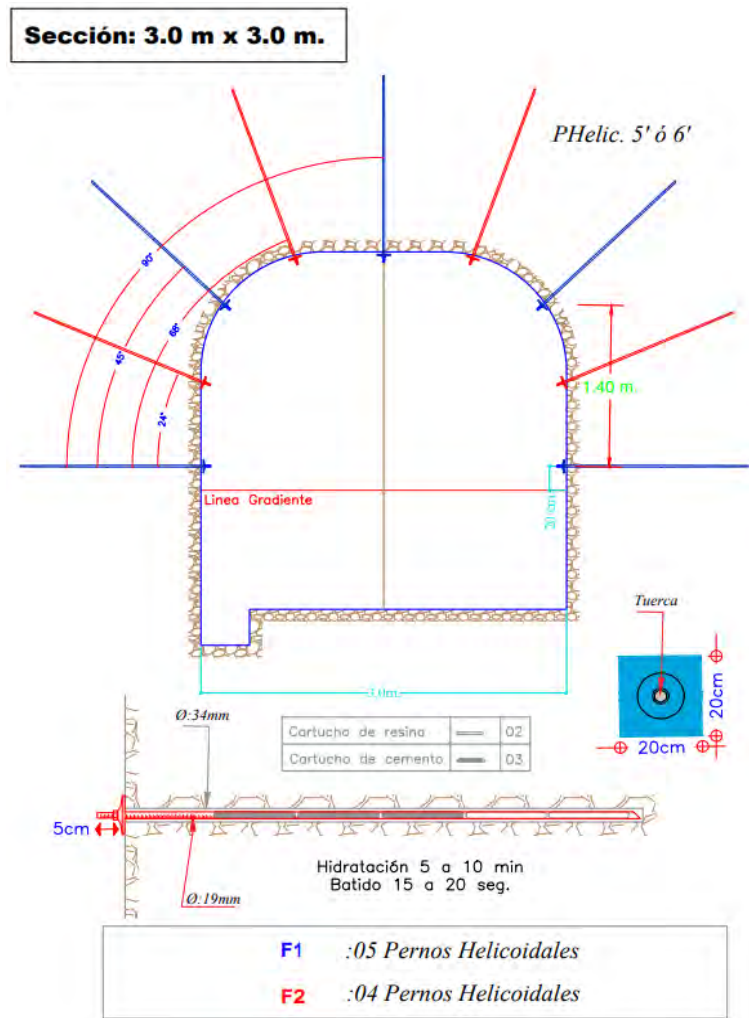
- Lavado de corona e hidratación de resina (5 a 10 min).
- Batido del cartucho durante 15 a 20 segundos.
- Colocación con equipo mecanizado Muki FF.

Con esta configuración, se asegura que el crucero tenga una vida útil prolongada como labor permanente, sin recurrir a fortificación temporal o adicional. Además, el sistema permite un control eficiente del comportamiento del macizo rocoso en condiciones de carga estática y dinámica, proporcionando un factor de seguridad adecuado y un comportamiento ductil de los elementos de soporte.

En resumen, el diseño estructural del crucero 1420 ha sido totalmente alineado a las condiciones geomecánicas del terreno, logrando un sistema de sostenimiento robusto, seguro, y funcionalmente eficiente para las operaciones actuales y futuras en la Unidad Santa Filomena.

Figura 14:

Diseño de la sección del crucero



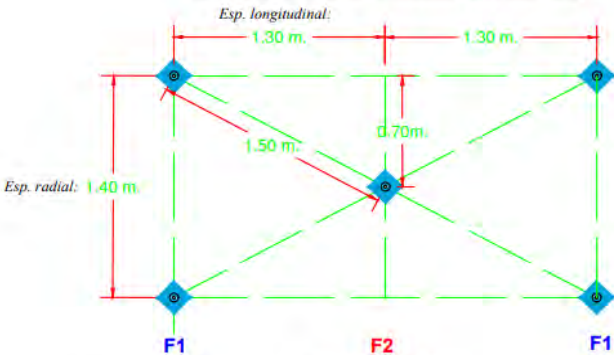
PARAMETROS GEOMECANICOS DEL MACIZO ROCOSO

RES. COMP. UN.	CLASIFICACIÓN GSI		CLASIFICACIÓN RMR	
	TIPO DE ROCA	GSI	RMR	CATEGORIA
75-100 Mpa	III-A	MF/B, F/B, LF/R	51-70	Regular A

TIPO DE SOSTENIMIENTO

SECCION DE LABOR	CIMBRA	SHOTCRETE	MALLA ELEC.	PERNO
3.0 m x 3.0 m	NO	NO	NO	Helicoidal de 5 o 6 pies esp. 2.6 x 1.4 m

DISTRIBUCIÓN SISTEMÁTICA (ROMBICA)



METODOLOGIA

- Lavar la corona y los hastiales con agua a presión.
- Realizar el desate de roca eliminando cuñas y bloques (minucioso), cumpliendo el PETS de desate de rocas.
- La instalacion de los pernos se realizara con el Equipo Muki FF.
- Sostenimiento oportuno y hasta el tope.
- Aplica para S/C factores influyentes, Estructura pot.<20 cm (IF/R).

SOTRAMI S.A.			MINERA SOTRAMI S.A.	Lámina:
DPTO. DE PLANEAMIENTO			U. E. A. SANTA FILOMENA	E-01
Dibujo :	Rogelio Ayala Poma	Julio 2023	PROYECTO: SOSTENIMIENTO MECANIZADO	Escala :
Diseño :	Rogelio Ayala Poma	Diseño: 07/23	PLAN: INSTALACION CON PERNOS HELICOIDALES	S/E
Revisado :	Ing. Carlos Cajahuana L.	Impresión: 07/23	Area/Departamento : Planeamiento	Formato :
Aprobado :	Ing. Pablo Julca Cayetano	Versión: 1	LABOR PERMANENTE	A4

Ruta :Z113 ESTANDARES DE SOSTENIMIENTO/Estandares MEC 3.0x3.0.dwg

Fuente: Elaboración Propia

4.2. Ejecución de la Construcción

Una vez que el diseño del crucero 1420 ha sido completado y los factores geomecánicos han sido evaluados, se procede a la ejecución de la construcción. Este proceso implica una serie de actividades que van desde la excavación hasta la instalación del sostenimiento, y cada una de estas fases debe llevarse a cabo con precisión técnica para garantizar la estabilidad estructural y la seguridad del personal. Este capítulo describe en detalle los métodos utilizados durante la ejecución, los equipos seleccionados y las técnicas de control de calidad implementadas para asegurar un resultado óptimo.

4.2.1. Proceso de Excavación

La fase de excavación representa el punto de partida del proceso constructivo en minería subterránea, siendo determinante para el desarrollo posterior del proyecto. Su efectividad está directamente ligada a la caracterización geomecánica del macizo rocoso y a la adecuada selección de los equipos utilizados, cuya eficiencia operativa incide de manera significativa en los rendimientos globales de perforación, voladura y avance. En este apartado se describen los métodos de excavación empleados para el crucero 1420, considerando tanto las condiciones del terreno como la geometría de la labor (sección 3x3 metros) y los parámetros técnicos asociados a la voladura.

En proyectos subterráneos como túneles y cruceros, se opta comúnmente por métodos como la perforación y voladura controlada o, en ciertos casos, la excavación mecánica. En el caso particular del crucero 1420, la elección de la voladura se fundamentó en un análisis geotécnico previo, que determinó un macizo rocoso de tipo II, con una clasificación RMR en el rango de 61 a 80, lo que indica una calidad entre media y buena. Esta condición permite una aplicación efectiva del método drill & blast, garantizando tanto la estabilidad del entorno como una excavación

económicamente viable. Además, se consideró la disponibilidad y eficiencia de los equipos operativos, cuya alta performance permitió alcanzar una eficiencia de perforación del 95%, optimizando el uso de recursos y reduciendo los tiempos muertos.

La voladura se diseñó para una perforación efectiva de 10 pies, utilizando una combinación de tres tipos de emulsiones encartuchadas de 1 1/4"x12": Emulnor 5000, Emulnor 3000 y Emulnor 1000, aunque en esta configuración específica no se utilizó este último. La distribución de los explosivos se realizó de acuerdo a la ubicación funcional de los taladros: arranque, ayuda, cuadreador, hastiales, arrastre y corona. La mayoría de los taladros fueron cargados con Emulnor 5000 (315 cartuchos, 83.79 kg), mientras que una fracción menor correspondió al Emulnor 3000 (45 cartuchos, 11.97 kg), totalizando 360 cartuchos y 95.76 kilogramos de explosivo.

En términos operativos, se perforaron 44 taladros, de los cuales 40 fueron cargados y 4 destinados como taladros de alivio. Se alcanzaron 418 pies lineales perforados. La eficiencia en la ejecución de la perforación fue alta, con una tasa del 95%, lo que permitió una perforación efectiva de 2.61 metros por disparo. De manera complementaria, la eficiencia de la voladura también se estimó en 95%, logrando un avance neto de 2.5 metros por disparo.

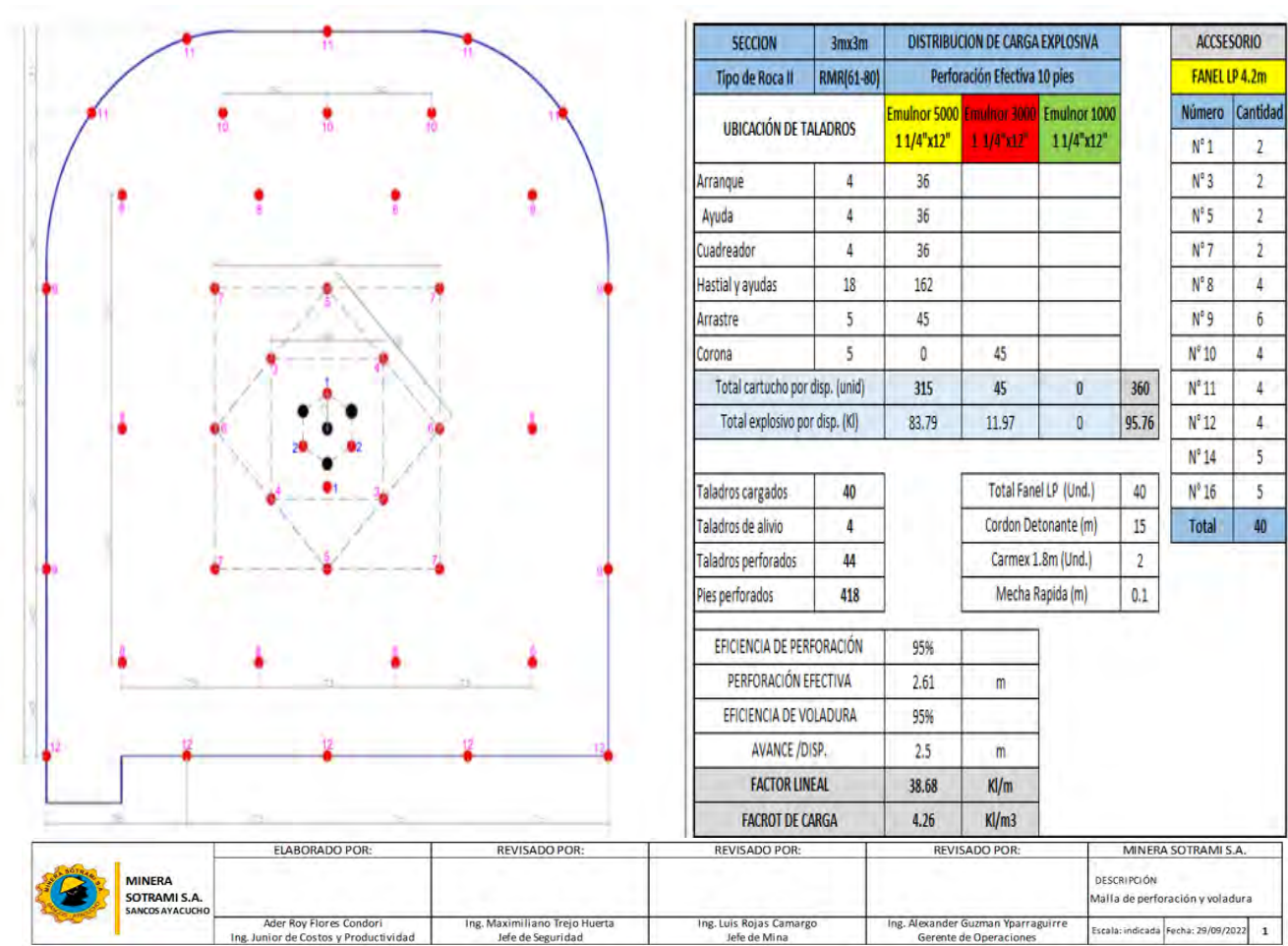
Los indicadores técnicos clave en este diseño incluyen un factor lineal de 38.68 kg/m, que expresa la cantidad de explosivo por metro lineal perforado, y un factor de carga de 4.26 kg/m³, que refleja el consumo por unidad de volumen excavado. Ambos valores son coherentes con una roca de calidad media-buena y una sección estándar, permitiendo una fragmentación adecuada y un buen control del contorno.

Respecto a los accesorios empleados, se utilizaron 40 unidades de Fanel LP de 4.2 metros, complementadas con 15 metros de cordón detonante, 2 unidades de Carmex de 1.8 metros y 0.1 metros de mecha rápida. La tabla adjunta desglosa también la cantidad por tipo de Fanel LP,

incluyendo referencias como el N° 1 (2 unidades), el N° 8 (4 unidades) y el N° 16 (5 unidades), lo que evidencia una planificación detallada de los elementos auxiliares que complementan la operación de voladura.

Finalmente, cabe destacar que la eficiencia del equipo de perforación y el adecuado diseño del disparo contribuyen directamente a maximizar la tasa de avance y reducir los costos operativos, estableciendo una sinergia clave entre el rendimiento técnico y la productividad general del proyecto subterráneo.

Tabla 12
Diseño de malla de perforación y voladura Cx 1420 Minera Sotrami.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 15:

Zona de carguío de material roto



Fuente: Elaboración Propia

4.2.2. Evaluación del Consumo de Materiales, Recursos por Disparo y Vida Útil de Aceros

El consumo por disparo se refiere a los materiales necesarios para cada disparo en el proceso de sostenimiento y perforación en minería subterránea. En este caso, para instalar pernos helicoidales de 5 pies (Perno H. 5 pies), se requieren 9 pernos por guardia, además de 2 unidades de resina y 3 unidades de Cembolt. En una guardia completa, esto se traduce en 18 unidades de resina y 27 unidades de Cembolt, lo que refleja los insumos necesarios para asegurar la estabilidad estructural de la excavación.

La vida útil de los aceros muestra la durabilidad de los diferentes componentes de perforación antes de necesitar reemplazo. En promedio, una broca de 38 mm tiene una vida útil de 850 perforaciones, mientras que una broca de 45 mm puede realizar aproximadamente 750 perforaciones. En cuanto a las barras de perforación, una barra de 6 pies tiene una vida útil de

1,500 perforaciones, y una barra de 10 pies puede alcanzar hasta 1,800 perforaciones antes de ser reemplazada.

Finalmente, se evalúa el consumo de combustible para dos tipos de equipos utilizados en operaciones subterráneas. Un Scoop tiene un consumo promedio de 2.6 galones por hora y opera aproximadamente 4.5 horas por guardia, resultando en un total de 11.7 galones por guardia. En contraste, el segundo equipo consume 2.1 galones por hora y trabaja alrededor de 0.6 horas por guardia, con un consumo total de 1.26 galones por guardia. Estos datos permiten una planificación eficiente de los recursos y aseguran la disponibilidad adecuada de combustible para mantener las operaciones sin interrupciones.

4.2.3. Labores en el Frente de Minado

El proceso de minería incluye diversas actividades, desde la excavación hasta la ventilación y el sostenimiento de la estructura. Entre las tareas más importantes se encuentra el Crucero 1420, que tiene una sección de 3 x 3 metros, una longitud de 752.5 metros y un volumen total de 6,750.53 m³. La Cámara de Carguío tiene una sección de 3 x 3 metros, una distancia de 52.5 metros y un volumen de 470.97 m³. La Cámara de Acumulación también cuenta con una sección de 3 x 3 metros, pero con una distancia de 84 metros y un volumen de 753.55 m³. La Estocada Esperanza tiene una sección de 2.1 x 2.2 metros, una distancia de 10 metros y un volumen de 42.3654 m³. Finalmente, el Realce de Carguío tiene una sección de 1 x 6 metros y un volumen de 182 m³. En total, se ha excavado 899.5 metros, con un volumen in situ de 8,237.92 m³ y un volumen roto de 20,594.80 m³.

Tabla 13
Labores

ITEM	LABOR	UNIDAD	SECCIÓN	DISTANCIA	VOLUMEN
1	CRUCERO 1420	m.	3 x 3	752.5	6750.53
2	CAMARA CARGUIO	m.	3 x 3	52.5	470.97
3	CAMARA ACUMULACIÓN	m.	3 x 3	84	753.55
4	REFUGIO	m.	2 x 2	10.5	38.514
5	ESTOCADA ESPERANZA	m.	2.1 x 2.2	10	42.3654
6	REALCE CARGUIO	m3.	1 x 6	182	182
7	TOTAL METRAJE	m.		899.5	
8	TOTAL VOLUMEN INSITU	m3.			8237.92
9	TOTAL VOLUMEN ROTO	m3.			20594.80

Fuente: Elaboración Propia

4.2.4. Tiempos Específicos por Actividad

4.2.4.1. Tiempo de Ejecución de Perforación con Jumbo Muki FF

En la etapa de perforación se realizó con jumbo muki FF, que avanza un total de 2.50 metros por cada disparo realizado. Para llevar a cabo esta operación, se perforan un total de 44 taladros, de los cuales 40 se cargan con material explosivo para la siguiente fase del proceso. La perforación se realiza a un ritmo de 3.10 taladros por minuto, lo que permite una progresión eficiente en el avance de los trabajos. Adicionalmente, el proceso de rimado, que consiste en ajustar y limpiar los taladros para preparar el terreno para la voladura, se lleva a cabo a un ritmo de 15 taladros por minuto. El tiempo total necesario para completar la perforación de todos los taladros es de 151.40 minutos, lo que equivale a aproximadamente 2.52 horas. Este tiempo incluye tanto el perforado de los taladros como el rimado y los ajustes necesarios para garantizar que el terreno esté adecuadamente preparado para la siguiente etapa.

Tabla 14
Tiempo De Perforación

TIEMPO DE PERFORACIÓN			
1	AVANCE /DISPARO	m.	2.50
2	N° Taladros perforados	Und.	44
3	N° Taladros cargados	Und.	40
4	Tiempo de perforación	Tal perf/min	3.10
5	Tiempo de rimado	Tal perf/min	15.00
6	tiempo de perf. Total	minutos	151.40
7	tiempo de perf. Total	horas	2.52

Fuente: Elaboración Propia

Figura 16:

Ejecución de la perforación



Fuente: Elaboración Propia

4.2.4.2. Tiempo de Ejecución de Voladura

En la fase de voladura, se cargan un total de 40 taladros con explosivo. El tiempo necesario para cargar cada taladro es de 1.5 taladros por minuto. Dado que se deben cargar todos los taladros, el tiempo total requerido para completar esta operación de carguío es de una hora. Esta fase es crucial para asegurar que los explosivos estén correctamente colocados y listos para la detonación, lo cual afecta directamente el éxito de la voladura y la eficacia del proceso de excavación subsiguiente.

Tabla 15
Tiempo De Voladura

TIEMPO DE VOLADURA			
1	Taladros cargados	Und.	40
2	Tiempo de carguío /taladro	Tal. Carg./min	1.5
3	Tiempo total de carguío	horas	1.00

Fuente: Elaboración Propia

4.2.4.3. Tiempo de Ejecución de Ventilación

La ventilación del frente de trabajo es esencial para mantener un ambiente seguro y saludable para los trabajadores. Se dedica un período de una hora a esta tarea, durante el cual se asegura una adecuada circulación del aire en el área de trabajo. Esto incluye la eliminación de gases nocivos y polvo generados durante las operaciones de perforación y voladura, lo cual es vital para preservar la seguridad y la salud de todo el personal involucrado en el proyecto.

Tabla 16
Tiempo De Ventilación

TIEMPO DE VENTILACIÓN			
1	ventilación de frente	hora	1.00

Fuente: Elaboración Propia

4.2.4.4. Tiempo de Ejecución de Regado y Desatado

El regado del frente, que tiene como objetivo controlar el polvo y mejorar las condiciones de trabajo, se lleva a cabo en un tiempo de 10 minutos. Posteriormente, el desatado, que consiste en liberar el área de trabajo de obstrucciones y otros impedimentos, requiere un tiempo adicional de 20 minutos. En total, estas actividades combinadas suman 30 minutos, equivalentes a 0.5 horas. Estas operaciones son fundamentales para asegurar que el área de trabajo esté en condiciones óptimas para las siguientes fases del proyecto.

Tabla 17
Tiempo De Regado Y Desatado

TIEMPO DE REGADO Y DESATADO			
1	Regado de frente	min	10
2	Desatado de frente	min	20
3	Tiempo total	horas	0.50

Fuente: Elaboración Propia

4.2.4.5. Tiempo de Ejecución de Limpieza con Scoop

Durante el proceso de limpieza, se utiliza un Scoop equipado con una cuchara de capacidad de 1.96 yardas cúbicas, lo que equivale a 1.5 metros cúbicos. El desmonte tiene un peso específico de 2.5 toneladas métricas por metro cúbico. La cuchara tiene un factor de llenado del 80% y un factor de esponjamiento del 20%, resultando en un volumen corregido de 1 metro cúbico con una capacidad de carga de 2.50 toneladas métricas. El Scoop debe recorrer una distancia máxima de 150 metros, con una velocidad de 7 km/h en la ida y de 9 km/h en el regreso. Cada ciclo completo de operación del Scoop, desde la carga hasta la descarga y el retorno, dura 6.09 minutos, lo que equivale a 0.10 horas. El rendimiento del Scoop se calcula en 24.65 toneladas métricas por hora. Para manejar un tonelaje total de 56.25 toneladas métricas, se requiere un tiempo de 2.28 horas. Esta operación es crucial para asegurar que el área de trabajo esté completamente limpia y lista para la instalación de sostenimientos o cualquier otra actividad que requiera un espacio despejado.

Tabla 18
Tiempo De Limpieza Con Scoop

TIEMPO DE LIMPIEZA CON SCOOP			
1	Volumen cuchara Scoop	yd3	1.96
2	Volumen cuchara Scoop	m3	1.5
3	Peso específico del desmonte	TM/m3	2.5
4	Factor llenado	%	80%
5	Factor esponjamiento	%	20%
6	Volumen correg. del Scoop	m3	1
7	Capacidad del Scoop correg.	TM	2.50
8	Distancia máxima de recorrido	m	150
9	Velocidad de ida	Km/hr	7
10	Velocidad de retorno	Km/hr	9
11	Tiempo de Carguío	min	1.2
12	Tiempo de ida	min	1.29
13	Tiempo de descarga	min	0.6
14	Tiempo de retorno	min	1.00
15	Otras demoras	min	2
16	Tiempo del ciclo	min	6.09
17	Tiempo del ciclo	hr	0.10
18	Rendimiento del Scoop	TM/hr	24.65
19	Tonelaje a limpiar	TM	56.25
20	Tiempo de limpieza	hr	2.28

Fuente: Elaboración Propia

4.2.4.6. Tiempo de Ejecución de Sostenimiento

En la fase de sostenimiento, se colocan un total de 9 pernos de sostenimiento. El tiempo de perforación requerido para colocar estos pernos es de 1 minuto. La colocación de cembolt y resina, que son materiales esenciales para asegurar los pernos en su lugar, toma 1.5 minutos. La instalación del adaptador para los pernos requiere 0.5 minutos adicionales. La inyección del perno helicoidal tiene una duración de 1 minuto, y se suman demoras adicionales de 0.5 minutos. En conjunto, el tiempo total necesario para colocar los pernos de sostenimiento es de 4.5 minutos, lo que equivale a 0.675 horas. Esta fase es crítica para garantizar la estabilidad estructural del túnel y la seguridad de los trabajadores, ya que el sostenimiento previene el colapso de las paredes del túnel.

Tabla 19*Tiempo De Sostenimiento*

TIEMPO DE SOSTENIMIENTO			
1	N° de pernos a sostener	Und.	9
2	Tiempo de perforación para sost.	min	1
3	Colocación de cembolt y resina	min	1.5
4	Colocación de adaptador	min	0.5
5	Inyección de perno helicoidal	min	1
6	Otras demoras	min	0.5
7	Tiempo de colocación perno	min	4.5
8	Tiempo total de sostenimiento	horas	0.675

Fuente: Elaboración Propia

4.2.5. Tiempo de Ejecución del Proyecto

El tiempo total de ejecución del proyecto está determinado por varios factores fundamentales. El volumen total de material a manejar es de 20,594.80 metros cúbicos. Cada disparo realizado durante el proceso de perforación y voladura cubre un volumen estimado de 37.1025 metros cúbicos. En el transcurso del proyecto se planea realizar un total de 555 disparos, con un promedio de uno por guardia. La duración total del proyecto está programada para 278 días, extendidos a lo largo de un período de nueve meses. Durante este tiempo, se llevarán a cabo todas las operaciones planificadas, incluyendo perforación, voladura, ventilación, regado, desatado, limpieza, y sostenimiento, con el objetivo de cumplir con todos los requisitos y metas establecidas. Este cronograma detallado es esencial para asegurar la correcta planificación y ejecución de todas las actividades, garantizando la eficiencia y el éxito del proyecto en su totalidad.

Tabla 20

Tiempo De Ejecución Del Proyecto

TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO		
volumen total	20594.80	m3
volumen /disparo	37.1025	m3
N° disparo total	555	disparo
N° disparo /guardia	1	disparos
total días	278	días
Duración del proyecto	9	meses

Fuente: Elaboración Propia

Figura 17:

Proyecto culminado



Fuente: Elaboración Propia

4.3. Análisis de Resultado

Una vez concluida la construcción del crucero 1420, es crucial evaluar los resultados de su implementación en términos de impacto en la eficiencia operativa y costos. Este capítulo se centra en analizar cómo las mejoras introducidas por el crucero han afectado las operaciones de explotación en la Minera Sotrami, Unidad Santa Filomena. A través de datos cuantitativos y comparaciones con la situación previa a la construcción, se busca demostrar que el crucero ha logrado cumplir con los objetivos planteados al inicio del proyecto.

4.3.1. Consumo de Explosivo y Accesorios

En el ámbito de la minería subterránea, el consumo de explosivos y accesorios desempeña un papel esencial para la ejecución exitosa de las actividades de extracción, especialmente en proyectos de envergadura como la construcción del Crucero 1420. Para cubrir un metraje total programado de 760 metros, se requirió un uso intensivo de distintos tipos de explosivos, cada uno seleccionado por sus propiedades específicas y su capacidad para cumplir con los requisitos del proyecto.

En particular, el explosivo Emulnor 3000 se utilizó en una cantidad de 13,814 unidades. Este tipo de explosivo es conocido por su capacidad para generar detonaciones controladas, fundamentales para fragmentar el material rocoso de manera eficiente. La elección del Emulnor 3000 estuvo orientada a garantizar que las explosiones fueran suficientemente potentes para avanzar en la excavación sin comprometer la estabilidad de las estructuras adyacentes.

Por otro lado, el explosivo Emulnor 5000, que proporciona una potencia aún mayor, alcanzó un consumo de 96,698 unidades. Este elevado consumo subraya la importancia de contar con un explosivo de alta potencia para las fases críticas del proyecto, donde se necesitaba una

energía explosiva superior para superar la resistencia del macizo rocoso y facilitar el avance en la excavación del crucero.

En cuanto a los accesorios necesarios para la preparación y ejecución de las detonaciones, se utilizaron 614 unidades del Carmex de 1.8 metros. Este accesorio es esencial para la carga de los taladros, ya que ayuda a asegurar que el explosivo esté correctamente colocado para una detonación efectiva. Además, se emplearon 4,605 unidades de Pentacord, un tipo de cordón detonante que permite la sincronización precisa de las explosiones, lo que es crucial para controlar la expansión y dirección de las detonaciones. El M.R., un explosivo menos común en este proyecto, se utilizó en 31 unidades, indicando su rol complementario en las operaciones de voladura.

Tabla 21
Consumo De Explosivo Y Accesorios

CONSUMO DE EXPLOSIVO Y ACCESORIOS					
METRAJE PROG.	EMULNOR 3000	EMULNOR 5000	CARMEX 1.8m	PENTACORD	M.R.
760	13814	96698	614	4605	31

Fuente: Elaboración Propia

4.3.2. Consumo de Elementos de Sostenimiento

El sostenimiento adecuado de las estructuras subterráneas es un aspecto crucial para garantizar la seguridad y estabilidad durante la construcción del Crucero 1420. Para esta fase del proyecto, se instalaron un total de 2,631 pernos de cinco pies. Estos pernos desempeñan un papel fundamental en el refuerzo de las paredes del túnel, ayudando a prevenir colapsos y a mantener la integridad estructural en las zonas excavadas.

Además, se utilizaron 5,262 unidades de resina, que se emplea para consolidar los pernos y asegurar su fijación efectiva en el macizo rocoso. La resina es una parte integral del proceso de sostenimiento, ya que proporciona la adhesión necesaria para mantener los pernos en su lugar y garantizar una estructura estable. Junto a la resina, se utilizaron 7,892 unidades de cembolt, otro

componente esencial para el sostenimiento. El cembolt se utiliza en combinación con la resina para reforzar aún más la estructura y mejorar la estabilidad general del túnel.

Tabla 22
Consumo De Elementos De Sostenimiento

CONSUMO DE ELEMENTOS DE SOST.		
PERNO H. 5 PIES	RESINA	CEMBOLT
2631	5262	7892

Fuente: Elaboración Propia

4.3.3. Consumo de Combustible

El consumo de combustible durante el proyecto también fue considerable, reflejando la operación continua de los equipos utilizados en la excavación y sostenimiento del Crucero 1420. Los equipos Scoop, que son fundamentales para la carga y transporte del material excavado, tuvieron un consumo de 2.6 galones de combustible por hora. A lo largo del proyecto, esto se tradujo en un total de 3,556.8 galones de combustible. Este dato destaca la necesidad de un suministro constante de combustible para mantener la operatividad de los equipos y asegurar que el avance del proyecto no se viera interrumpido.

Por otro lado, el equipo Jumbo, que se utiliza para la perforación, tuvo un consumo de 2.1 galones por hora. Durante todo el proyecto, se consumieron un total de 383.04 galones de combustible con este equipo. El consumo de combustible de ambos equipos refleja la magnitud del proyecto y la importancia de una planificación eficiente de los recursos para mantener las operaciones en marcha.

Tabla 23
Consumo De Combustible

CONSUMO DE COMBUSTIBLE				
SCOOP	2.6	Gal./hora	3556.8	Galones
JUMBO	2.1	Gal./hora	383.04	Galones

Fuente: Elaboración Propia

4.3.4. Consumo de Servicios Auxiliares

Los servicios auxiliares también jugaron un papel importante en la ejecución del proyecto. Se utilizaron 253 alcayatas para agua y una cantidad igual para energía, asegurando que ambos recursos estuvieran disponibles en las condiciones adecuadas para el funcionamiento de los equipos y el bienestar del personal. Además, se emplearon 51 unidades de manga de ventilación para garantizar una adecuada circulación del aire en el entorno subterráneo. La ventilación es crucial para mantener un ambiente seguro y saludable para el personal, especialmente en un espacio cerrado y potencialmente peligroso como un túnel de minería.

Tabla 24
Consumo De Servicios Auxiliares

CONSUMO DE SERVICIOS AUXILIARES		
ALCAYATAS AGUA	ALCAYATAS ENERGIA	MANGA DE VENTILACIÓN
253	253	51

Fuente: Elaboración Propia

4.3.5. Consumo de Aceros

Finalmente, el consumo de acero, que incluye brocas y barras de perforación, fue una parte esencial de las operaciones de perforación. Se utilizaron 19 brocas de 38 mm y 169 brocas de 45 mm, cada una de las cuales es fundamental para crear los taladros necesarios para la carga de explosivos. Estas brocas son herramientas críticas en el proceso de perforación, ya que deben ser lo suficientemente duraderas para soportar las condiciones difíciles del macizo rocoso.

Además, se consumieron 71 barras de perforación de 10 pies y 4 barras de 6 pies. Estas barras son necesarias para proporcionar el soporte estructural durante el proceso de perforación y asegurar que los taladros se mantengan estables y precisos. La utilización de estos elementos de acero refleja la importancia de contar con materiales y herramientas adecuados para llevar a cabo las operaciones de perforación de manera eficiente y efectiva.

Tabla 25
Consumo De Aceros

CONSUMO DE ACEROS			
BROCA 38mm	BROCA 45mm	BARRA 10pies	BARRA 6pies
19	169	71	4

Fuente: Elaboración Propia

4.4. Discusión de Resultados

La evaluación de los costos en un proyecto de infraestructura es crucial para gestionar adecuadamente el presupuesto y asegurar la viabilidad económica del mismo. En esta sección, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de los costos asociados con la construcción del Crucero 1420, desglosando los gastos en diversas categorías clave: materiales de perforación, materiales de sostenimiento y materiales de voladura. Este análisis proporciona una visión detallada de los precios unitarios en soles y dólares, permitiendo una mejor comprensión de los recursos financieros requeridos para cada componente del proyecto.

4.4.1. Precio Unitario de Materiales de Perforación

Los materiales de perforación son esenciales para la excavación y preparación de túneles en minería subterránea. Estos materiales incluyen herramientas y productos que facilitan la perforación de rocas y la creación de espacios adecuados para las operaciones mineras. Entre los principales materiales de perforación, se encuentran las barras y brocas, que varían en costo dependiendo de sus especificaciones.

Por ejemplo, la barra H28 de 10 pies, utilizada para perforar en profundidades mayores, tiene un costo unitario de 786.8 soles o 211.45 dólares. Esta barra es fundamental para realizar perforaciones profundas y duraderas en el macizo rocoso. En contraste, la versión de 6 pies de la misma barra tiene un precio de 662.24 soles o 179.03 dólares, adecuándose a perforaciones menos profundas, pero igualmente importantes para la construcción del crucero.

Las brocas, esenciales para realizar los agujeros en los que se colocarán los explosivos, también tienen precios variados según su tamaño. La broca R28 de 45 mm tiene un costo de 244.16 soles (64.8 dólares), mientras que la broca de 38 mm tiene un precio de 203.47 soles (54 dólares). Estas brocas son críticas para el proceso de perforación, ya que deben ser lo suficientemente robustas para penetrar el material rocoso.

Además de las brocas y barras, se utilizan otros materiales auxiliares como tubos de PVC de 1" x 3 m, con un precio de 3.38 soles (0.88 dólares), y productos de acabado como pintura esmalte sintético rojo, que cuesta 40.69 soles (10.54 dólares), y thinner, con un precio de 16.23 soles (4.22 dólares). Estos materiales adicionales son necesarios para completar las operaciones de perforación y asegurar que el trabajo se realice con los estándares requeridos.

Tabla 26
Materiales De Perforación

MATERIALES DE PERFORACIÓN			
BARRA H28 10 PIES	UNID	786.8	211.45
BARRA H28 6 PIES	UNID	662.24	179.03
BROCA R28 45MM	UNID	244.16	64.8
BROCA R28 38MM	UNID	203.47	54
TUBO PVC 1"X3MT	UNID	3.38	0.88
PINTURA ESMALTE SINTETICO ROJO	GAL	40.69	10.54
THINER	GAL	16.23	4.22

Fuente: Elaboración Propia

4.4.2. Precio Unitario de Materiales de Sostenimiento

Los materiales de sostenimiento son críticos para garantizar la estabilidad y seguridad de las excavaciones en minería subterránea. Estos productos se utilizan para reforzar las estructuras excavadas y prevenir posibles colapsos.

Entre los materiales de sostenimiento, el perno helicoidal de 5 pies y 19 mm tiene un costo de 12.58 soles o 3.37 dólares por unidad. Este tipo de perno es fundamental para mantener la

estabilidad de las paredes del túnel. Las tuercas y planchuelas necesarias para asegurar los pernos tienen precios de 3.73 soles (1 dólar) y 5.97 soles (1.6 dólares) respectivamente, reflejando su rol en la fijación y refuerzo de las estructuras.

Otro componente importante en el sostenimiento es la malla electrosoldada N° 10, utilizada para reforzar la estructura del túnel. Esta malla tiene un costo de 426.57 soles (114.38 dólares) por unidad. Además, se emplean diversos tipos de anclajes, como el split set de 39 mm x 1.5 m con planchuela, cuyo precio es de 18.37 soles (4.9 dólares), y el mini split set de 1' a 7.03 soles (1.85 dólares). Estos anclajes son esenciales para proporcionar soporte adicional en las áreas excavadas.

El hydrabolt de 5 pies, que cuesta 41.15 soles (10.92 dólares), y la placa de sujeción Epiroc, con un precio de 5.65 soles (1.5 dólares), son otros elementos importantes en el proceso de sostenimiento. Los cartuchos de resina y de cemento envoltura, que aseguran la fijación de los pernos, tienen precios de 3.02 soles (0.79 dólares) y 46.37 soles (12.3 dólares) por caja, respectivamente. Estos elementos garantizan que los pernos se mantengan firmemente en su lugar, proporcionando la estabilidad necesaria para la estructura del crucero.

Tabla 27
Materiales De Sostenimiento

MATERIALES DE SOSTENIMIENTO				
PERNO HELICOIDAL 5 PIES 19MM	UNID	12.58	3.37	
TUERCA PARA PERNO H. 19 MM	UNID	3.73	1	
PLANCHUELA PARA PERNO H. 19MM	UNID	5.97	1.6	
MALLA ELECTROSOLDADA N° 10 2X25MT	UNID	426.57	114.38	
SPLIT SET 39MM X 1.5MT CON PLANCHUELA	UNID	18.37	4.9	
MINI SPLIT SET 1'	UNID	7.03	1.85	
HYDRABOLT DE 5 PIES	UNID	41.15	10.92	
PLACA DE SUJECIÓN (EPIROC)	UNID	5.65	1.5	
CARTUCHO DE RESINA	UNID	3.02	0.79	
CARTUCHO DE CEMENTO ENVOLTURA	CAJA	46.37	12.3	

Fuente: Elaboración Propia

4.4.3. Precio Unitario de Materiales de Voladura

En el proceso de minería subterránea, la voladura es una técnica esencial para fragmentar el material rocoso y facilitar la excavación. Los materiales de voladura incluyen explosivos y accesorios necesarios para realizar detonaciones controladas y efectivas.

El explosivo Emulnor 5000, de 1 1/4"x12", tiene un costo de 11.63 soles por kilo (3.12 dólares), mientras que el Emulnor 3000 tiene un precio de 10.74 soles (2.87 dólares). Estos explosivos son seleccionados en función de su potencia y la naturaleza del material rocoso a fragmentar. Otros productos relevantes en la voladura incluyen el Fanel 4.20 M período largo de Famesa, con un costo de 5.74 soles (1.53 dólares) por unidad, y el Carmex de 1.80 M (6") de Famesa, que cuesta 3.25 soles (0.88 dólares). Estos productos se utilizan para asegurar una detonación precisa y efectiva.

La mecha rápida de Famesa tiene un precio de 2.05 soles por metro (0.54 dólares), facilitando la iniciación de las explosiones, mientras que el cordón detonante de 5P cuesta 1.02 soles (0.27 dólares), ayudando en la sincronización de las detonaciones. Finalmente, los tacos de arcilla de 1 1/4"x12" tienen un costo de 3.4 soles (0.89 dólares) por unidad, y se utilizan para sellar y asegurar el explosivo en los taladros.

Tabla 28
Materiales De Voladura

MATERIALES DE VOLADURA				
EMULNOR 5000 1 1/4"X12" FAMESA	KG	11.63	3.12	
EMULNOR 3000 1 1/4"X12" FAMESA	KG	10.74	2.87	
FANEL 4.20 M PERIODO LARGO (LP) FAMESA	UNID	5.74	1.53	
CARMEX 1.80 M (6") FAMESA	UNID	3.25	0.88	
MECHA RAPIDA FAMESA	MT	2.05	0.54	
CORDON DETONANTE 5P FAMESA	MT	1.02	0.27	
TACOS DE ARCILLA DE 1 1/4"X12"	UNID	3.4	0.89	

Fuente: Elaboración Propia

4.5. Evaluación de Costos de Construcción

En cualquier proyecto de infraestructura, la evaluación de los costos resulta ser uno de los aspectos más cruciales para garantizar su éxito. Esta evaluación no solo abarca los costos directos relacionados con la ejecución del proyecto, sino también aquellos costos indirectos que pueden impactar el presupuesto total. En el caso de la construcción del Crucero 1420, se realiza un análisis minucioso de todos los gastos implicados, desglosando cada categoría para obtener una visión completa de los costos involucrados.

En esta sección, se presenta un desglose detallado de los costos asociados a la construcción del Crucero 1420. Este análisis se enfoca en una variedad de aspectos financieros que incluyen materiales, maquinaria, mano de obra y otros recursos necesarios para la realización del proyecto. Además de los costos básicos, se considera la logística y cualquier contingencia que haya podido surgir a lo largo del proceso de construcción, lo que proporciona una visión integral de las finanzas del proyecto.

El desglose detallado abarca los costos expresados en dólares estadounidenses, con datos recopilados de los años 2023 y 2024. Este análisis cubre diversas categorías esenciales para el proyecto, tales como:

- **Personal:** Incluye los salarios y beneficios para el equipo de trabajo involucrado en la construcción, detallando las partidas asignadas a cada miembro del personal y su distribución temporal.
- **Equipos:** Refleja los gastos relacionados con la adquisición, alquiler y mantenimiento de los equipos necesarios para llevar a cabo las tareas de construcción, especificando los costos asociados a cada tipo de maquinaria utilizada.

- **Servicios de Terceros:** Engloba los costos de contratación de servicios externos que pueden ser necesarios para el proyecto, tales como consultorías, servicios de ingeniería y otros proveedores especializados.
- **Suministros:** Considera los gastos en materiales y consumibles necesarios para el proyecto, detallando los precios unitarios y la cantidad de cada ítem requerido.
- **Uso de Equipos:** Incluye los costos derivados del uso de equipos en el terreno, tales como costos operativos, mantenimiento y otros gastos asociados con la maquinaria.

Cada una de estas categorías de costos se presenta con su distribución mensual y total, proporcionando una visión clara y detallada del presupuesto necesario para la construcción del Crucero 1420. Este análisis exhaustivo permite una gestión eficaz del proyecto, asegurando que todos los recursos se utilicen de manera eficiente y que el proyecto se mantenga dentro del presupuesto previsto.

4.5.1. Cargas de Personal

A lo largo del año 2023, la empresa Sotrami S.A. experimentó una serie de variaciones en las cargas de personal y las obras civiles relacionadas con la construcción, incluyendo aquellas directamente asociadas con el desarrollo del Crucero 1420. Las actividades financieras de la compañía comenzaron formalmente en marzo de ese año, cuando las cargas de personal y obras civiles ascendieron a un total de 2,130.32 soles. Sin embargo, en abril, estas cargas experimentaron una drástica reducción, situándose en solo 138.51 soles. Esta disminución fue temporal, ya que en mayo las cargas volvieron a incrementarse hasta los 812.55 soles.

El mes de junio representó un punto crucial en el proyecto, con un incremento considerable en las cargas de personal y de obras civiles, que totalizaron 10,416.01 soles. Este crecimiento

marcó el inicio de una tendencia alcista en los meses posteriores. En julio, las cargas ascendieron a 13,141.78 soles, continuando en agosto con 16,397.96 soles, y en septiembre, alcanzando 14,179.10 soles. Durante octubre, el gasto en personal y obras civiles se mantuvo en un nivel alto, registrando 16,157.87 soles. Noviembre reflejó una pequeña disminución con 14,715.72 soles, pero en diciembre las cargas alcanzaron su punto más alto del año, con un total de 18,256.19 soles.

Este análisis de los costos refleja una dinámica típica en proyectos de infraestructura como la construcción del Crucero 1420, donde los gastos tienden a fluctuar en función del avance de las obras y de las fases específicas del proyecto. Al cierre de 2023, el total de las cargas de personal y de obras civiles para Sotrami S.A. ascendió a 106,346.01 soles. De este monto, 103,264.63 soles correspondieron exclusivamente a obras civiles ejecutadas por la compañía, mientras que 3,081.38 soles fueron destinados a otras obras civiles relacionadas.

En el año 2024, las cargas de personal y de obras civiles continuaron acumulándose. En enero, se registró un total de 12,929.72 soles, seguido de un aumento en febrero, con 15,223.61 soles. En marzo, se observó una leve reducción, situándose en 14,932.08 soles, pero en abril, las cargas volvieron a crecer hasta los 18,205.02 soles, una tendencia que se mantuvo en mayo con 18,298.32 soles. En junio, se registró un total de 16,728.20 soles, lo que llevó el acumulado de las cargas del año 2024 a un total de 96,316.95 soles, todos ellos correspondientes a obras civiles realizadas por Sotrami S.A.

En términos generales, durante los años 2023 y 2024, las cargas de personal y obras civiles asociadas a la construcción del Crucero 1420, y otros proyectos relacionados, alcanzaron un total combinado de 202,662.96 soles. De este monto, la mayor parte, 199,581.58 soles, correspondió a obras civiles ejecutadas por Sotrami S.A., mientras que 3,081.38 soles se destinaron a otras obras

civiles, reflejando así el peso significativo de las obras del crucero en la estructura de costos de la empresa.

Tabla 29
Cargas De Personal

AÑO	MES	cargas de personal	Personal // Sotrami S.A	Obras Civiles // Sotrami S.A
2023	Ene			
	Feb			
	Mar	2130.32		2130.32
	Abr	138.51		138.51
	May	812.55		812.55
	Jun	10416.01	10416.01	
	Jul	13141.78	13141.78	
	Ago	16397.96	16397.96	
	Set	14179.1	14179.1	
	Oct	16157.87	16157.87	
	Nov	14715.72	14715.72	
	Dic	18256.19	18256.19	
Total 2023		106346.01	103264.63	3081.38
2024	Ene	12929.72	12929.72	
	Feb	15223.61	15223.61	
	Mar	14932.08	14932.08	
	Abr	18205.02	18205.02	
	May	18298.32	18298.32	
	Jun	16728.2	16728.2	
Total 2024		96316.95	96316.95	
Total general		202662.96	199581.58	3081.38

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2. Equipos Principales

Durante el transcurso del año 2023, se registraron costos importantes asociados a los equipos principales utilizados en los trabajos de infraestructura de Manemsa Perú S.A.C., específicamente durante el mes de abril, en el marco de la construcción del Crucero 1420. Estos costos reflejan la adquisición de equipos fundamentales para garantizar la operatividad y seguridad

de las instalaciones. Entre estos, destaca la compra de un transformador de 350 Kva, cuyo costo ascendió a 28,815 soles. Este transformador jugó un papel esencial en el suministro de energía para las operaciones involucradas en la ejecución del crucero.

Además, se realizaron otras adquisiciones clave que complementaron el sistema eléctrico del proyecto. La celda de protección, un componente vital para garantizar la seguridad y la estabilidad de las instalaciones eléctricas, tuvo un costo de 9,291 soles. A su vez, se adquirieron dos tableros eléctricos: el tablero número 01, con una capacidad de 460V, cuyo costo fue de 5,633 soles, y el tablero número 02, de 230V, que se adquirió por 4,854 soles. Estos tableros fueron indispensables para el control y distribución de la energía durante las fases de construcción del crucero.

Otro de los componentes esenciales en el sistema fue la celda de llegada -630a, que se valoró en 4,400 soles, la cual cumplió un rol relevante en la conexión y gestión de la energía dentro de la infraestructura eléctrica del proyecto. Adicionalmente, se adquirió una bandeja de derrame de aceite, con un costo de 4,287 soles, cuya función fue fundamental para evitar posibles contaminaciones por derrames durante el manejo de líquidos en los equipos. Finalmente, se incurrió en un gasto adicional de 350 soles en elementos diversos relacionados con el mantenimiento y operación de estos equipos.

Hasta el año 2024, no se reportaron nuevos gastos en lo que respecta a estos equipos principales, al menos hasta el mes de junio, lo que implica que el total acumulado de costos permaneció sin cambios desde el año anterior. Este detalle refleja una gestión eficiente de los recursos, ya que no se reportaron necesidades adicionales de adquisición o reposición de equipos durante este período.

En resumen, los costos generales de los equipos principales asociados a la construcción del Crucero 1420 durante los años 2023 y 2024 se distribuyeron de la siguiente manera: 28,815 soles para el transformador de 350 Kva, 9,291 soles para la celda de protección, 5,633 soles para el tablero número 01 de 460V, 4,854 soles para el tablero número 02 de 230V, 4,400 soles para la celda de llegada -63Oa, 4,287 soles para la bandeja de derrame de aceite y 350 soles para otros elementos diversos. Estos equipos, junto con su respectiva instalación y operación, formaron una parte integral de la infraestructura que sostuvo la construcción del Crucero 1420, asegurando que las operaciones avanzaran de manera segura y eficiente.

Tabla 30
Equipos Principales

AÑO	MES	Equipos Principales	Transformador 350Kva // Manemsa Perú S.A.C.	Celda De Protección // Manemsa Perú S.A.C.	Tablero Nro. 01-460V // Manemsa Perú S.A.C.	Tablero Nro. 02-230V // Manemsa Perú S.A.C.	Celda De Llegada -630A // Manemsa Perú S.A.C.	Bandeja De Derrame Aceite // Manemsa Perú S.A.C.
2023	Ene							
	Feb							
	Mar							
	Abr	28815	9291	5633	4854	4400	4287	350
	May							
	Jun							
	Jul							
	Ago							
	Set							
	Oct							
	Nov							
	Dic							
Total 2023		28815	9291	5633	4854	4400	4287	350
2024	Ene							
	Feb							
	Mar							
	Abr							
	May							
	Jun							
Total 2024								
Total general		28815	9291	5633	4854	4400	4287	350

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 1
Equipos Principales



Fuente: Elaboración Propia

4.5.3. Servicios Terceros

Durante el año 2023, en el contexto de la construcción del Crucero 1420, se realizaron una serie de inversiones significativas en servicios de terceros que fueron esenciales para asegurar el desarrollo continuo y eficiente del proyecto. Estos gastos se distribuyeron a lo largo de diversas categorías clave, incluyendo alimentación, servicios mineros, reparación de equipos, y otros servicios complementarios.

En enero, se destinó un total de 9,720.23 soles a la provisión de alimentación, un gasto gestionado por la empresa Facilities. Este servicio fue fundamental para garantizar que el personal involucrado en la construcción del crucero contara con las condiciones necesarias para mantener

su productividad. En febrero, el costo de alimentación disminuyó a 7,427.41 soles. Para marzo, además de 8,678.29 soles en alimentación, se incurrieron otros gastos notables, incluyendo 1,281.83 soles en servicios mineros del Sector IV y 7,396.46 soles en servicios mineros generales, los cuales jugaron un papel crucial en las operaciones mineras subterráneas durante el desarrollo del proyecto.

En abril, se reportó un gasto de 819.31 soles en la reparación de motores de la Locomotora, equipo esencial para el transporte en la mina. En mayo, se invirtieron 456.53 soles en la reparación del Muki FF Retráctil, llevado a cabo por la empresa Resemin S.A., mientras que los gastos en alimentación se redujeron a 348.84 soles. Ese mismo mes también se registraron 107.69 soles destinados a exámenes médicos del personal, gestionados por S.G. Natclar S.A.C., lo que subraya la importancia de mantener la salud y seguridad del equipo durante la construcción del crucero.

En junio, los servicios mineros continuaron siendo una prioridad, con un gasto de 1,824.73 soles. En julio, el gasto en alimentación fue de 1,682.39 soles, mientras que los servicios mineros representaron un costo de 1,650.19 soles, además de 32.2 soles destinados a la reparación de motores. En agosto y septiembre, los gastos en alimentación fueron iguales, alcanzando los 1,291.67 soles en ambos meses. Octubre reflejó un incremento en los costos, con 1,850.31 soles en alimentación y 1,745.40 soles en servicios mineros, junto con un gasto adicional de 104.91 soles por la extracción de ruedas, gestionado por Muñoz Segura.

El mes de noviembre presentó un gasto de 1,839.42 soles en alimentación, mientras que diciembre cerró el año con un desembolso más elevado de 4,464.57 soles en este rubro, junto con 1,731.26 soles en servicios mineros, 2,470 soles en la extracción de ruedas, y 263.31 soles en otros servicios.

En el año 2024, el gasto en servicios de terceros continuó siendo un componente esencial de la gestión de la construcción del crucero. En enero, se registraron 1,793.96 soles en alimentación y 1,741.68 soles en servicios mineros, con un pequeño gasto adicional de 52.28 soles en otros servicios. Durante febrero, los gastos en alimentación disminuyeron a 1,716.02 soles, y los servicios mineros representaron un costo de 1,663.86 soles, con otros servicios alcanzando los 52.16 soles. En marzo, los costos se incrementaron de manera significativa con 8,051.82 soles en alimentación, 1,725.61 soles en servicios mineros, 6,273 soles en reparación de motores, y 53.21 soles en otros servicios. En abril, se gastaron 1,747.19 soles en alimentación, mientras que, en mayo, los costos en este rubro ascendieron a 1,830.41 soles, acompañados de 1,777.78 soles en servicios mineros y 52.63 soles en otros servicios. Finalmente, en junio, el gasto en alimentación fue de 1,843.17 soles, y en servicios mineros se desembolsaron 1,824.34 soles, con un gasto menor de 18.83 soles en otros servicios.

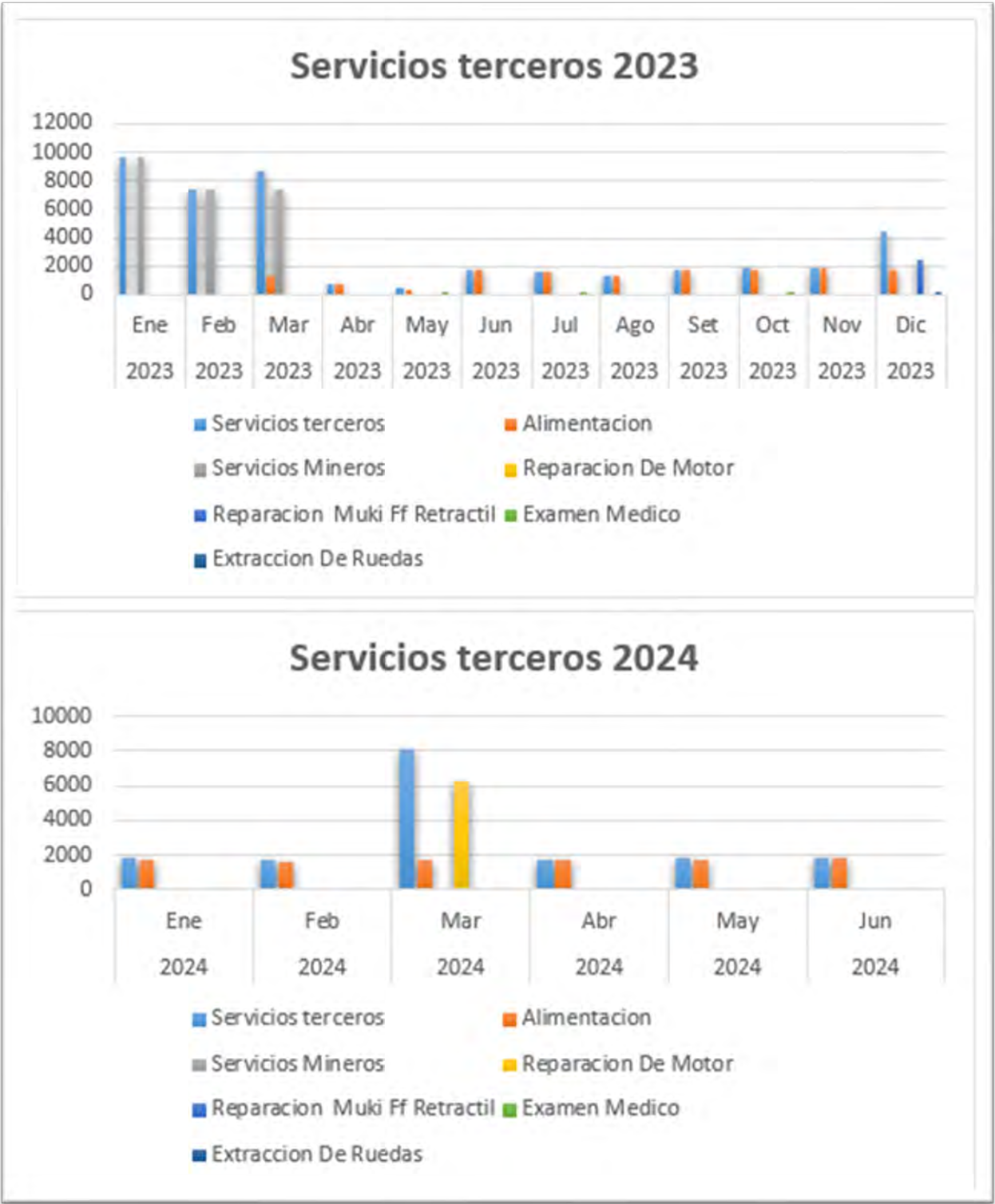
En total, el gasto general en servicios de terceros durante los años 2023 y 2024 ascendió a 58,722.71 soles. De esta cifra, 24,698.39 soles correspondieron a alimentación, un rubro esencial para el bienestar del personal que trabajaba en la construcción del Crucero 1420. Los servicios mineros, que fueron clave para la ejecución de las operaciones subterráneas, representaron un costo de 24,544.10 soles. Adicionalmente, 6,273 soles se destinaron a la reparación de motores, 2,470 soles a la extracción de ruedas, y 473.91 soles a otros servicios diversos, con un gasto adicional de 263.31 soles registrado en 2023.

Tabla 31
Servicios terceros

AÑO	MES	Servicios terceros	Alimentación // Facilities	Servicios Mineros // Sector IV	Reparación De Motor// Locomotora // Servicios Mineros S A	Reparación Muki FF Retráctil // Resemin S.A.	Examen Médico // S.G Natclar S.A.C	Extracción De Ruedas // Locomotora // Muños Segura
2023	Ene	9720.23		9720.23				
	Feb	7427.41		7427.41				
	Mar	8678.29	1281.83	7396.46				
	Abr	819.31	819.31					
	May	456.53	348.84				107.69	
	Jun	1824.73	1824.73					
	Jul	1682.39	1650.19				32.2	
	Ago	1291.67	1291.67					
	Set	1685.28	1685.28					
	Oct	1850.31	1745.4				104.91	
	Nov	1839.42	1839.42					
	Dic	4464.57	1731.26			2470		263.31
Total 2023		41740.14	14217.93	24544.1		2470	244.8	263.31
2024	Ene	1793.96	1741.68				52.28	
	Feb	1716.02	1663.86				52.16	
	Mar	8051.82	1725.61		6273		53.21	
	Abr	1747.19	1747.19					
	May	1830.41	1777.78				52.63	
	Jun	1843.17	1824.34				18.83	
Total 2024		16982.57	10480.46		6273		229.11	
Total general		58722.71	24698.39	24544.1	6273	2470	473.91	263.31

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 2
Servicios terceros



Fuente: Elaboración Propia

4.5.4. Suministros

Durante el año 2023, Sotrami S.A. incurrió en diversos gastos relacionados con suministros y la clasificación de insumos, fundamentales para el avance de proyectos como la construcción del Crucero 1420. En enero, el gasto en suministros de almacén fue relativamente bajo, con un total de 769.24 soles, sin ninguna clasificación adicional de insumos y materiales. En febrero, este gasto ascendió a 1,314.59 soles, manteniéndose igual para la clasificación de insumos y materiales.

En marzo, hubo un incremento significativo en los costos asociados al almacén, alcanzando los 25,009.57 soles. De este monto, 1,869.80 soles fueron destinados a la reclasificación de insumos y materiales, mientras que los restantes 23,139.77 soles se distribuyeron en otras categorías de suministros. Este aumento refleja la necesidad de equipar adecuadamente el proyecto durante las fases más intensas de la construcción del crucero.

Durante abril, el gasto en almacén fue de 6,054.46 soles. En mayo, se registró un salto notable, con un total de 36,327.53 soles, seguido por otro incremento en junio, cuando los gastos alcanzaron los 39,183.62 soles. Estos meses representaron un periodo clave para la adquisición de materiales esenciales para el desarrollo del proyecto. En julio, el gasto en suministros fue de 26,166.12 soles y en agosto de 27,532.50 soles, reflejando la constante necesidad de insumos para el avance del crucero. Sin embargo, en septiembre se observó una reducción, con un gasto de 7,412.03 soles.

En octubre, el costo en suministros aumentó nuevamente a 32,166.06 soles, de los cuales 15,381.83 soles fueron destinados a la reclasificación de insumos y materiales, y 16,784.23 soles a otras categorías de suministros. En noviembre, se reportó un gasto de 31,646.77 soles y en diciembre de 28,828.69 soles. Al final de 2023, el gasto total en suministros fue de 262,411.18

soles, con 220,403.35 soles correspondientes al almacén y 42,007.83 soles a la reclasificación de insumos y materiales.

Para el año 2024, los gastos siguieron distribuyéndose exclusivamente en suministros de almacén. En enero, se registraron 22,206.40 soles; en febrero, 28,620.95 soles; en marzo, 16,092.57 soles; en abril, 17,558.40 soles; en mayo, 17,277.19 soles; y en junio, 10,307.75 soles. Estos gastos reflejan la continuidad en la provisión de insumos esenciales para la operación y mantenimiento del crucero. El total acumulado de gastos en 2024 ascendió a 112,063.26 soles, exclusivamente en suministros del almacén.

En resumen, el gasto total en suministros para los años 2023 y 2024 fue de 374,474.44 soles. De este monto, 332,466.61 soles correspondieron a suministros del almacén, mientras que 42,007.83 soles se destinaron a la reclasificación de insumos y materiales. Estos gastos fueron esenciales para garantizar el adecuado suministro y clasificación de los recursos necesarios para la construcción y operación del Crucero 1420.

Tabla 32
Suministros

AÑO	MES	suministros	Almacén // Sotrami S.A	Reclasif. Insumos Y Mat. // Sotrami S.A
2023	Ene	769.24		769.24
	Feb	1314.59		1314.59
	Mar	25009.57	1869.8	23139.77
	Abr	6054.46	6054.46	
	May	36327.53	36327.53	
	Jun	39183.62	39183.62	
	Jul	26166.12	26166.12	
	Ago	27532.5	27532.5	
	Set	7412.03	7412.03	
	Oct	32166.06	15381.83	16784.23
	Nov	31646.77	31646.77	
	Dic	28828.69	28828.69	
Total 2023		262411.18	220403.35	42007.83
2024	Ene	22206.4	22206.4	
	Feb	28620.95	28620.95	
	Mar	16092.57	16092.57	
	Abr	17558.4	17558.4	
	May	17277.19	17277.19	
	Jun	10307.75	10307.75	
Total 2024		112063.26	112063.26	
Total general		374474.44	332466.61	42007.83

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3
Suministros



Fuente: Elaboración Propia

4.5.5. Uso de Equipos

Durante el año 2023, Sotrami S.A. asumió diversos gastos relacionados con el uso de equipos críticos para la construcción del Crucero 1420, incluyendo depreciación, consumo de energía, seguros y mantenimiento. En marzo, los costos asociados al uso de estos equipos fueron de 8,737.39 soles, con un enfoque en la depreciación del equipo Muki FF Retráctil, que ascendió a 6,722.73 soles, mientras que otros gastos sumaron 1,926.34 soles. En abril, los costos aumentaron significativamente, alcanzando los 16,085.97 soles, desglosados en 6,981.52 soles por depreciación del Muki FF Retráctil, 2,986.05 soles por consumo de energía del mismo equipo y 1,600.81 soles en depreciación del Schopf SFL 35, además de gastos menores en mantenimiento y otros conceptos.

En mayo, el total se elevó a 16,611.91 soles, con 7,051.68 soles en depreciación del Muki FF Retráctil y 16,693.83 soles en otros consumos y mantenimientos. Durante junio, los costos alcanzaron los 23,738.66 soles, incluyendo 7,146.79 soles por depreciación del Muki FF Retráctil, 4,383.69 soles por depreciación del Schopf SFL 35, y otros gastos de mantenimiento y consumo. En julio, el gasto total fue de 20,348.07 soles, destacando la depreciación del Muki FF Retráctil con 7,184.36 soles, además de otros costos asociados.

El mes de agosto registró un gasto elevado de 31,354.16 soles, impulsado por 7,019.27 soles en depreciación del Muki FF Retráctil, 9,337.90 soles en consumo de varios equipos, y 1,395.71 soles en otros conceptos. En septiembre, los costos disminuyeron a 19,866.05 soles, con 6,838.11 soles en depreciación del Muki FF Retráctil. Octubre vio un gasto de 26,041.33 soles, con una porción de 6,812.86 soles correspondiente a la depreciación del Muki FF Retráctil. En noviembre, el gasto fue de 24,310.84 soles, incluyendo 7,000.54 soles en depreciación del Muki

FF Retráctil, mientras que en diciembre, los costos cerraron el año en 22,099.71 soles, destacando 6,476.54 soles en depreciación del Muki FF Retráctil y 2,470 soles en seguros.

Para el año 2024, los gastos totales alcanzaron los 166,259.24 soles. En enero, se registraron 27,556.73 soles, con 6,775.62 soles en depreciación del Muki FF Retráctil. En febrero, el gasto fue de 33,023.65 soles, con 6,775.62 soles en depreciación y 7,715.17 soles en consumo. Marzo registró 25,244.93 soles en gastos, mientras que abril y mayo sumaron 26,048.83 y 27,961.01 soles, respectivamente, con una cantidad constante en depreciación del equipo Muki FF Retráctil. En junio, el gasto total fue de 26,424.09 soles.

En resumen, los gastos totales en el uso de equipos para los años 2023 y 2024 ascendieron a 375,453.33 soles. De este monto, 109,888.12 soles fueron destinados a la depreciación del Muki FF Retráctil, 69,772.55 soles al consumo de energía de equipos como el Schopf SFL 35, 54,764.44 soles a la depreciación de otros equipos, y 53,774.68 soles a seguros y mantenimiento. Otros costos incluyeron 17,805.84 soles en consumo y 13,992.13 soles en depreciación adicional y seguros. Estos gastos reflejan el compromiso con el mantenimiento y operación de los equipos necesarios para asegurar el éxito en la construcción del Crucero 1420.

Tabla 33
Uso de equipos

AÑO	MES	Uso de equipos	Depreciac ion // Muki Ff Retractil	Consumo // Muki Ff Retractil	Depreciac ion // Schopf Sfl 35	Consumo // Schopf Sfl 35	Consumo // Locomoto ra Clayton 4.5Tn 223	Depreciac ion // Locomoto ra Serminsa 4Tn 20Hp 223	Depreciac ion // Locomoto ra Serminsa 4Tn 20Hp Sm.299	Seguros // Muki Ff Retractil	Manten imiento // Muki Ff Retractil	Consumo // Locomoto ra Serminsa 4Tn 20Hp 223	Consumo // Locomoto ra Serminsa 4Tn 20Hp Sm.299	Depreciac ion // Schopf Sfl	Depreciac ion // Locomoto ra Clayton 4.5Tn 223	Consumo // Lanzador a	Consumo // L4/ Locomoto ra 4Tn 20Hp Serminsa	Consumo // Pc-01 Pala Cargador a Eimco	Seguros // L4/ Locomoto ra 4Tn 20Hp Serminsa	Seguros // Schopf Sfl 35	Depreciac ion // L1/ Locomoto ra Goodman 1.5Tn	Consumo // L1/ Locomoto ra Goodman 1.5Tn	Prensado // Muki Ff Retractil	Parchado De Llanta // Schopf Sfl	
2023	Ene																								
	Feb																								
	Mar	8737.39	6722.73	88.32						1926.34															
	Abr	16085.97	6981.52	2986.05		1600.81		296.33		458.92		208.75				2672.42		154.36		726.81					
	May	16611.91	7051.68	1693.83		2044.17		299.3		474.22		229.14		4325.36				475.76							18.45
	Jun	23738.66	7146.79	2783.87	4383.69	3413.64	3891.44	1388.98		458.92		28.91			225.34			17.08							
	Jul	20348.07	7184.36	3566.77	4406.74	2513.47	500.08	1396.28		474.22		57.9			226.53			21.72							
	Ago	31354.16	7019.27	9337.9	4305.48	5195.23	151.02	1364.19		1272.81		1395.71			704.68			32.48		575.39					
	Set	19866.05	6838.11	5243.55	4194.35	772.67	331.03	1328.99		13.61		752.78			686.49			20.01		-315.54					
	Oct	26041.33	6812.86	3194.33	4145.23	8009.77	63.26	1313.42	980.12	445.89		288.99	12.7		678.45			96.31							
Total 2023	Nov	24310.84	7000.54	6471.98	4259.42	2795.93	79.1	1349.6	1007.12	431.51		174.87	7.35		697.14			36.28							
	Dic	22099.71	6476.54	4510.05	4152.79	3058.98	1142.09	1313.76	1018.84	445.89		287.53	15		-412.34			90.58							
		209194.09	69234.4	39876.65	29847.7	29404.67	6158.02	10050.85	3006.08	6402.33		3424.58	35.05	4325.36	2806.29	2672.42		944.58		986.66					18.45
	Ene	27556.73	6775.62	3135.07	4152.79	2930.9	6443.77	1313.76	1018.84	432.21		188.11	667.26		498.4										
	Feb	33023.65	6775.62	7715.17	4152.79	4646.38	4912.85	1313.76	1018.84	402.73		1445.04	130.05		498.4			12.02							
	Mar	25244.93	6775.62	3819.8	4152.79	6715.95	291.2	1313.76	1018.84	459.57		43.69	109.47		498.4			45.84							
	Abr	26048.83	6775.62	5889.31	4152.79	4260.28			2831	431.51			1661.02					47.3							
	May	27961.01	6775.62	7990.64	4152.79	3837.11			2831	445.89			1846.56											81.4	
	Jun	26424.09	6775.62	1345.91	4152.79	1979.39				431.51	8342.93						1750.23		1039.67			507.12	98.92		
	Total 2024		166259.24	40653.72	29895.9	24916.74	24370.01	11647.82	3941.28	8718.52	2603.42	8342.93	1676.84	4414.36		1495.2		1750.23	105.16	1039.67			507.12	98.92	81.4
Total general		375453.33	109888.12	69772.55	54764.44	53774.68	17805.84	13992.13	11724.6	9005.75	8342.93	5101.42	4449.41	4325.36	4301.49	2672.42	1750.23	1049.74	1039.67	986.66		507.12	98.92	81.4	18.45

Fuente: Elaboración Propia

4.5.6. Costos Totales

Durante el año 2023, Sotrami S.A. enfrentó una serie de gastos clave relacionados con la construcción del Crucero 1420 y el uso de recursos esenciales como personal, equipos principales, servicios de terceros, suministros y equipos. En enero, los costos totales alcanzaron los 10,489.47 soles, con 9,720.23 soles destinados a servicios de terceros y 769.24 soles a suministros. En febrero, el total fue de 8,742 soles, desglosado en 7,427.41 soles en servicios de terceros y 1,314.59 soles en suministros.

En marzo, el gasto total ascendió a 44,555.57 soles, con 2,130.32 soles en cargas de personal, 8,678.29 soles en servicios de terceros, 25,009.57 soles en suministros y 8,737.39 soles en uso de equipos. Durante abril, los costos aumentaron a 51,913.25 soles, con una asignación destacada de 28,815 soles para equipos principales, 6,054.46 soles en suministros y 16,085.97 soles en uso de equipos. En mayo, el gasto total fue de 54,208.52 soles, de los cuales 45,653 soles correspondieron a suministros y 16,611.91 soles al uso de equipos.

En junio, los costos alcanzaron los 75,163.02 soles, con una distribución entre 10,416.01 soles en cargas de personal, 39,183.62 soles en suministros y 23,738.66 soles en uso de equipos. Julio mostró un gasto total de 61,338.36 soles, destacando 26,166.12 soles en suministros y 20,348.07 soles en uso de equipos. En agosto, el gasto ascendió a 76,576.29 soles, mientras que en septiembre se redujo a 43,142.46 soles, con 19,866.05 soles destinados al uso de equipos.

Para los últimos meses del año 2023, los gastos se mantuvieron elevados: octubre registró 76,215.57 soles, noviembre 72,512.75 soles y diciembre 73,649.16 soles. En estos meses, se observaron gastos consistentes en el uso de equipos y suministros, esenciales para el avance del proyecto.

En el año 2024, los costos totales fueron de 391,622.02 soles. En enero, se reportaron 64,486.81 soles, con 22,206.40 soles destinados a suministros. En febrero, los costos aumentaron a 78,584.23 soles, con 28,620.95 soles en suministros, mientras que en marzo se registraron 64,321.40 soles en gastos totales. En abril, los costos llegaron a 63,559.44 soles, seguidos por mayo con 65,366.93 soles y junio con 55,303.21 soles.

El total de gastos para los años 2023 y 2024 ascendió a 1,040,128.44 soles. De este monto, 202,662.96 soles correspondieron a cargas de personal, 28,815 soles a equipos principales, 58,722.71 soles a servicios de terceros, 374,474.44 soles a suministros y 375,453.33 soles al uso de equipos. Estos gastos reflejan el esfuerzo continuo y la inversión necesaria para completar la construcción del Crucero 1420 de manera eficiente y segura.

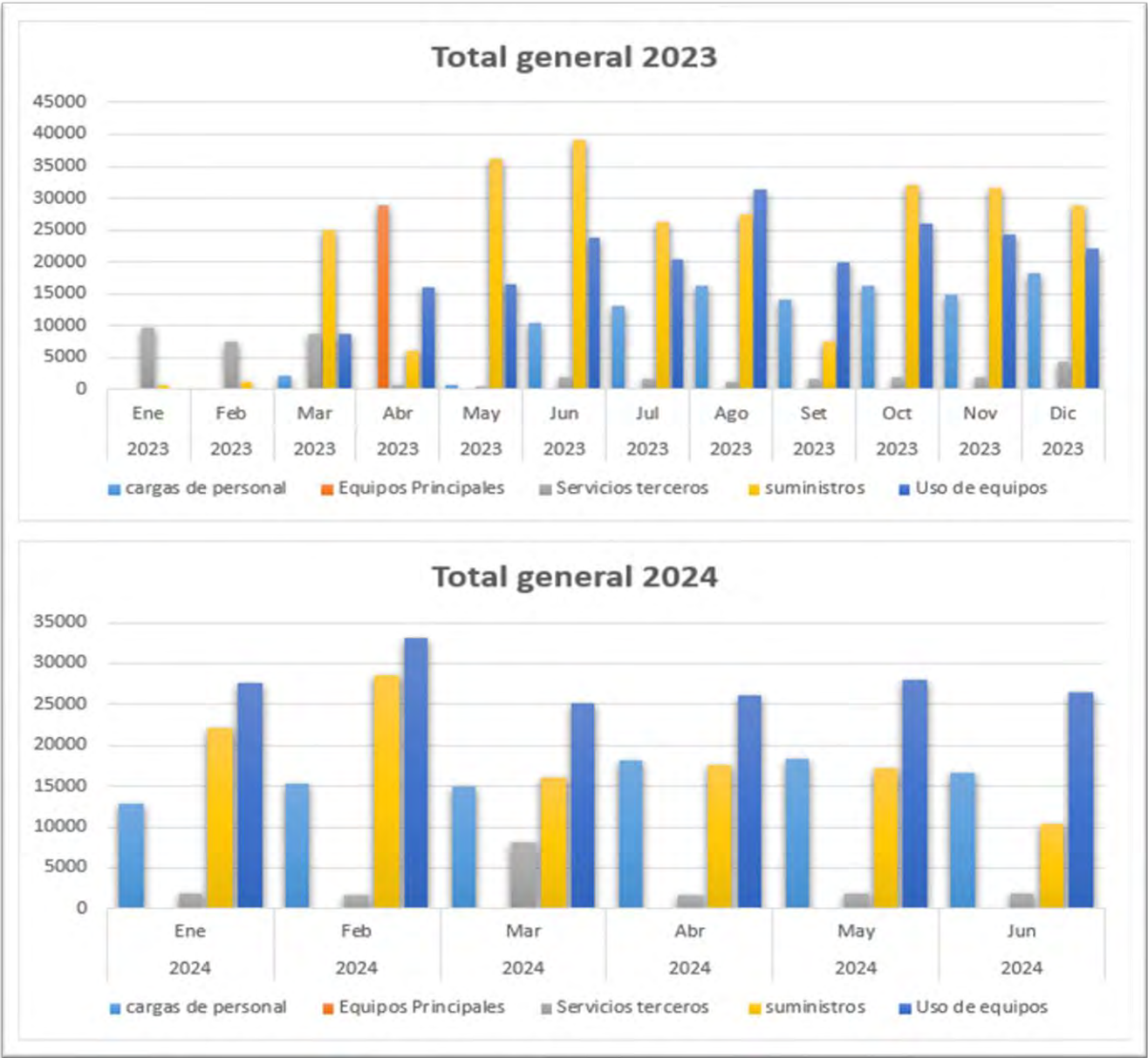
Tabla 34
Costos Totales

AÑO	MES	cargas de personal	Equipos Principales	Servicios terceros	suministros	Uso de equipos	Total general
2023	Ene			9720.23	769.24		10489.47
	Feb			7427.41	1314.59		8742
	Mar	2130.32		8678.29	25009.57	8737.39	44555.57
	Abr	138.51	28815	819.31	6054.46	16085.97	51913.25
	May	812.55		456.53	36327.53	16611.91	54208.52
	Jun	10416.01		1824.73	39183.62	23738.66	75163.02
	Jul	13141.78		1682.39	26166.12	20348.07	61338.36
	Ago	16397.96		1291.67	27532.5	31354.16	76576.29
	Set	14179.1		1685.28	7412.03	19866.05	43142.46
	Oct	16157.87		1850.31	32166.06	26041.33	76215.57
	Nov	14715.72		1839.42	31646.77	24310.84	72512.75
	Dic	18256.19		4464.57	28828.69	22099.71	73649.16
Total 2023		106346.01	28815	41740.14	262411.18	209194.09	648506.42
2024	Ene	12929.72		1793.96	22206.4	27556.73	64486.81
	Feb	15223.61		1716.02	28620.95	33023.65	78584.23
	Mar	14932.08		8051.82	16092.57	25244.93	64321.4
	Abr	18205.02		1747.19	17558.4	26048.83	63559.44
	May	18298.32		1830.41	17277.19	27961.01	65366.93

	Jun	16728.2		1843.17	10307.75	26424.09	55303.21
Total 2024		96316.95		16982.57	112063.26	166259.24	391622.02
Total general		202662.96	28815	58722.71	374474.44	375453.33	1040128.44

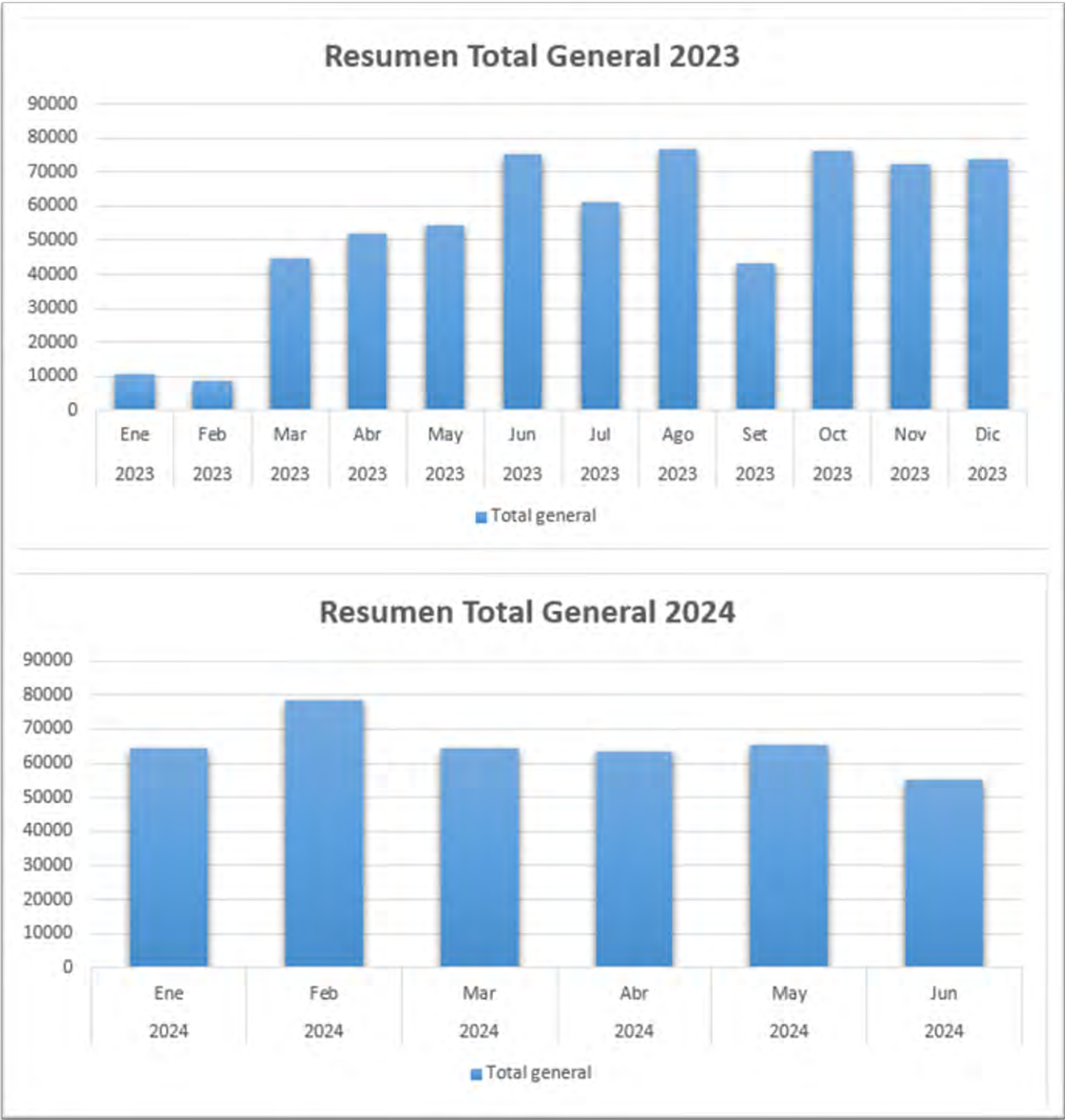
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 4
Total General



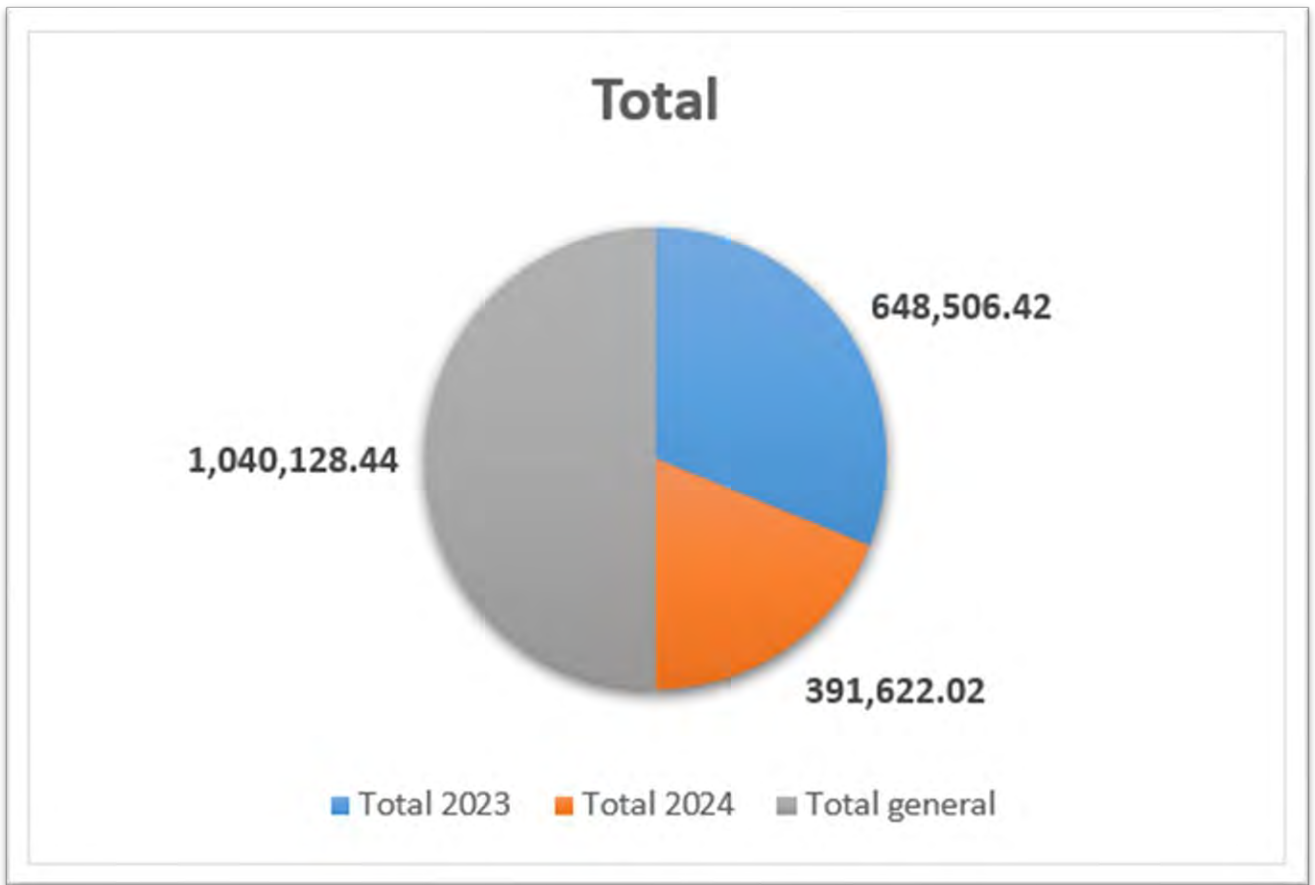
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 5
Resumen Total General



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 6
Total



Fuente: Elaboración Propia

4.6. Incremento de Producción

La producción de manera histórico en la empresa Minera Sotrami durante el año 2023 se ha mantenido en 4,500 toneladas húmedas programadas mensualmente haciendo un total de 54,000 toneladas en el año, de las cuales en su mayoría se ha cumplido con la programación haciendo un total de 54,625.75 toneladas ejecutadas teniendo un 101% de cumplimiento anual.

Para el año 2024 después de su culminación de la construcción del crucero 1420 de a partir del mes de mayo se ha programado más 500 toneladas mensuales, haciendo un total de 58,000

toneladas programados; donde se han ejecutado un total de 58,995 toneladas húmedas de mineral, haciendo un cumplimiento de 102%, esto refleja claramente el aumento de la producción desde su culminación de la construcción del crucero 1420 que ha beneficiado aumentando 500 toneladas de mineral mensualmente.

Tabla 36
Resumen de producción de Minera Sotrami

PRODUCCIÓN MINERA SOTRAMI - 2023													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
PROGR.	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	54000
EJECU.	4490	4520	4530	4450	4526	4600	4550	4525	4580	4601	4651	4600	54626
CUMP.	100%	100%	101%	99%	101%	102%	101%	101%	102%	102%	103%	102%	101%

PRODUCCIÓN MINERA SOTRAMI - 2024													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
PROGR.	4500	4500	4500	4500	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	58000
EJECU.	4510	4515	4530	4455	5125	5050	5135	5100	5125	5080	5150	5220	58995
CUMP.	100%	100%	101%	99%	103%	101%	103%	102%	103%	102%	103%	104%	102%

Fuente: Departamento de Costos y Productividad de Minera Sotrami

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados

En este apartado se sintetizan los principales resultados obtenidos con el diseño y la construcción del crucero 1420 que comunica la Zona 23 con la Zona Santa Rosa en la Unidad Minera Santa Filomena de Minera Sotrami. Los resultados se organizan en torno a los tres ejes definidos en los objetivos específicos de la investigación: factores geomecánicos y diseño de sostenimiento, parámetros operativos del proceso constructivo y costos asociados, así como el impacto global en la productividad de la unidad.

En primer lugar, desde el punto de vista geométrico y volumétrico, la ejecución del proyecto permitió completar una longitud total de 899,5 m de crucero, con una excavación acumulada de 20 594,80 m³ de material. El avance promedio por disparo fue de 37,1 m³, coherente con la sección de la labor, cuya área efectiva se aproxima a los 22,9 m², y con una longitud media de avance de 2,5 m por disparo. El proyecto se ejecutó en 278 días calendario (aproximadamente nueve meses de trabajo), logrando un rendimiento cercano a los 100 m lineales por mes, lo que evidencia una adecuada programación y control del ciclo de minado.

En cuanto a las condiciones geomecánicas, el crucero se desarrolla en rocas intrusivas de diorita y granodiorita, con presencia local de diques andesíticos moderadamente alterados, a una altura litostática aproximada de 516 m respecto a superficie. La clasificación del macizo mediante el sistema RMR de Bieniawski ubicó la masa rocosa en la clase III-A, con valores en el rango de 61–70 puntos, lo que corresponde a una roca de calidad regular a buena, con presencia de discontinuidades que forman cuñas y una falla tipo cizalla que atraviesa el eje de la labor. Complementariamente, el análisis global de la labor arrojó un RMR representativo de 79 puntos y un RQD del 93%, indicando un macizo con bloques de buena competencia y alta proporción de roca sana. Estos parámetros permitieron definir un diseño de sostenimiento eficiente, con un factor de seguridad en el rango recomendado por la literatura especializada.

Con base en dichos resultados geomecánicos, se adoptó un esquema de sostenimiento compuesto principalmente por pernos helicoidales de 5 pies de longitud, con capacidad de carga de 16 toneladas, instalados en una malla regular y complementados con malla electrosoldada en sectores considerados críticos por la presencia de estructuras desfavorables. En total se instalaron 2 631 pernos de sostenimiento y 5 262 unidades de resina, configurando un sistema que garantizó la estabilidad de la sección del crucero durante y después de la excavación. El comportamiento observado en campo confirmó la pertinencia del diseño, al no registrarse eventos significativos de inestabilidad ni requerirse reforzamientos extraordinarios fuera de lo planificado.

En relación con los parámetros operativos, la construcción del crucero 1420 se llevó a cabo utilizando el explosivo tipo Emulnor 5000, con un consumo total de 96 698 unidades a lo largo de la obra. La perforación alcanzó una longitud efectiva promedio de 2,61 m por taladro, lo que permitió asegurar un avance lineal de 2,5 m por disparo, manteniendo un adecuado control de la sobreexcavación y de la estabilidad del contorno. El equipo principal de carguío y limpieza,

representado por el scoop, registró un consumo acumulado de 3 556,8 galones de combustible, lo que refleja una operación continua pero controlada, sin excesos de tiempos muertos ni retrabajos significativos.

El análisis integral del ciclo de minado (perforación–voladura–ventilación–limpieza–sostenimiento) mostró una eficiencia operativa del 95%, indicador que da cuenta del alto grado de cumplimiento del programa diario y de la adecuada coordinación entre frente de avance, servicios y logística de acarreo. Este nivel de eficiencia se logró gracias al control detallado de los tiempos por actividad y al seguimiento sistemático de la productividad de los equipos, lo que permitió realizar ajustes tácticos en la programación cuando fue necesario.

Desde el punto de vista económico, el costo total de la construcción del crucero 1420 ascendió a S/ 202 662,96, de los cuales S/ 199 581,58 correspondieron a obras civiles (excavación, sostenimiento y acabados) y el saldo a insumos y servicios de apoyo. Considerando la longitud total excavada, el costo unitario promedio se sitúa en el orden de S/ 225,30 por metro lineal, lo que resulta competitivo frente a referencias de proyectos similares desarrollados en roca de calidad comparable. A este monto se asocia el costo del sostenimiento instalado (pernos, resina y malla), así como el consumo de explosivos, aceros de perforación, combustible y mano de obra especializada.

Finalmente, en cuanto al impacto en la productividad de la Unidad Santa Filomena, la puesta en operación del crucero 1420 permitió incrementar la producción global en aproximadamente un 20% y mejorar la eficiencia de las operaciones de acarreo y ventilación. La nueva labor redujo tiempos de desplazamiento entre frentes de explotación, facilitó la circulación de equipos y personal, y mejoró la conectividad entre zonas con alta concentración de reservas. De esta manera, el crucero 1420 no solo cumplió con el objetivo de comunicar la Zona 23 con la

Zona Santa Rosa, sino que se consolidó como una infraestructura estratégica para el desarrollo futuro de nuevas labores y para el sostenimiento del plan de producción de la unidad.

5.2. Discusión de Resultados

La discusión de los resultados permite contrastar los hallazgos de la presente investigación con los antecedentes teóricos y empíricos revisados en el marco teórico, así como interpretar el alcance real del proyecto en términos de estabilidad geomecánica, eficiencia operativa, costos y productividad. De manera general, los resultados obtenidos confirman que el diseño y construcción del crucero 1420 constituyen una solución técnica y económicamente viable para mejorar la comunicación interna y la producción en minería subterránea, en línea con lo reportado por estudios previos sobre construcción de cruceros, optimización de perforación y voladura, y mejora de sistemas de acarreo.

En primer lugar, en relación con los factores geomecánicos y el diseño de sostenimiento, el RMR global en el rango de 61–70 puntos y el RQD del 93% indican un macizo rocoso de calidad intermedia a buena, con predominio de roca competente pero afectada por estructuras que generan cuñas y zonas de potencial inestabilidad. La decisión de utilizar pernos helicoidales de 5 pies con capacidad de 16 toneladas, combinados con malla electrosoldada en sectores críticos, es coherente con las recomendaciones de la clasificación RMR para excavaciones en túneles y labores subterráneas similares. La ausencia de fallas estructurales significativas durante la excavación y el comportamiento estable de la labor a lo largo del tiempo corroboran la pertinencia del diseño de sostenimiento y confirman que el análisis geomecánico previo se realizó con el nivel de detalle requerido.

Estos resultados son consistentes con los antecedentes nacionales revisados, como la tesis de Martínez Meneses (2014) sobre la construcción del crucero CX-532 NW, donde se resalta que

el estudio detallado del macizo rocoso y la adecuada selección del sostenimiento son condiciones indispensables para habilitar labores destinadas al transporte de mineral mediante locomotoras y carros mineros. Al igual que en ese estudio, en el crucero 1420 la caracterización geomecánica fue la base sobre la cual se definieron la sección de la labor, los tipos de pernos y la configuración de la malla de sostenimiento, lo que permitió garantizar niveles aceptables de seguridad y durabilidad de la infraestructura.

En segundo lugar, respecto a los parámetros operativos de perforación y voladura, el avance promedio de 2,5 m por disparo y la perforación efectiva de 2,61 m por taladro muestran que la malla de perforación fue correctamente dimensionada para las condiciones del macizo y para la sección del crucero. El consumo específico de explosivo (96 698 unidades de Emulnor 5000) se mantuvo dentro de rangos razonables, evitando tanto subcargas que pudieran generar re-perforaciones como sobrecargas que incrementaran la sobreexcavación o el daño en la roca remanente. Esta situación guarda similitud con los resultados de Sánchez Villareal (2012), quien reportó reducciones del número de perforaciones por disparo y de la sobreexcavación mediante el ajuste de la malla de perforación a las características físico-mecánicas del macizo, logrando menores tiempos de avance y disminución de costos de perforación y tronadura. En la presente investigación, si bien el objetivo principal no fue la optimización exclusiva del ciclo de perforación y voladura, la adecuada definición de los parámetros operativos permitió alcanzar rendimientos elevados y un control aceptable del contorno excavado, alineándose con las conclusiones de dicho antecedente.

En tercer lugar, los resultados relacionados con costos y productividad muestran que el costo total del proyecto (S/ 202 662,96) y el costo unitario estimado en torno a S/ 225,30 por metro lineal son competitivos cuando se comparan con referencias de proyectos de características

similares. La comparación con el antecedente de Bejar Luza (2024), donde el costo por metro de avance en un crucero construido en roca de calidad III-B alcanzó aproximadamente USD 481,92, evidencia que el proyecto del crucero 1420 logra costos unitarios más bajos, en parte gracias a una mayor vida útil de los aceros de perforación (rendimientos cercanos a 2 150 m/unidad) y al uso racional del combustible (3 556,8 galones en toda la obra). Estos resultados refuerzan la idea de que el control operativo y el seguimiento detallado del consumo de insumos permiten mejorar la eficiencia económica de las labores de desarrollo.

La eficiencia operativa del 95% y el incremento aproximado del 20% en la producción global de la unidad confirman que la construcción del crucero 1420 tuvo un impacto directo y positivo en la productividad minera. En este sentido, la experiencia coincide con lo reportado por Ortiz Álvarez (2024) en la construcción del crucero 3600, donde la habilitación de una nueva labor de conexión permitió reducir significativamente el costo de acarreo por tonelada y aumentar la producción mediante la disminución de distancias y tiempos de transporte. Aunque las condiciones geológicas y operativas no son idénticas, ambos estudios demuestran que la apertura de cruceros estratégicamente ubicados se traduce en mejoras sustanciales en el sistema de acarreo y en los indicadores de producción.

Asimismo, los resultados muestran coincidencias metodológicas con los antecedentes revisados: en todos ellos, la evaluación geomecánica inicial constituye el pilar para definir el sostenimiento y prevenir sobrecostos, y se emplean sistemas de clasificación como RMR y RQD para caracterizar el macizo rocoso. En la presente investigación, este enfoque se reforzó mediante la incorporación de herramientas adicionales, como la estimación del GSI y el uso de ensayos complementarios, lo que permitió un diagnóstico más robusto de las condiciones de la roca y, en consecuencia, un diseño más ajustado de la sección y del tipo de sostenimiento.

No obstante, también se identifican divergencias y aportes específicos de este trabajo frente a los antecedentes. Mientras que en otros estudios la mejora de resultados se atribuye principalmente a la capacitación del personal o a la mecanización intensiva de las operaciones, en el crucero 1420 el impacto principal proviene de la integración de la ingeniería de detalle en todas las etapas del proyecto. Esto incluye el diseño adaptativo de la sección y del sostenimiento según la zonificación litológica, el monitoreo continuo del consumo de insumos para retroalimentar decisiones operativas y la planificación del sostenimiento orientada a minimizar mantenimientos correctivos a largo plazo. Además, a diferencia de varios antecedentes que se centran en los resultados inmediatos de la obra, esta investigación incorpora una evaluación de la sostenibilidad de la mejora, considerando la capacidad futura de acarreo, los costos de mantenimiento del crucero y su contribución al plan de producción de mediano plazo.

Finalmente, los resultados confirman que la construcción del crucero 1420 permitió acceder a nuevas zonas mineralizadas y consolidar reservas, lo que respalda el incremento observado en la producción y se alinea conceptualmente con la evidencia aportada por estudios como el de Sánchez Villareal y los antecedentes nacionales sobre cruceros de conexión y rampas de desarrollo. En conjunto, la comparación con la literatura revisada muestra que la presente investigación no solo ratifica los beneficios de diseñar y construir cruceros en base a criterios geomecánicos y económicos rigurosos, sino que aporta evidencia adicional sobre la importancia de integrar la ingeniería de detalle, el control de consumo de insumos y el monitoreo de indicadores operativos como elementos clave para maximizar la eficiencia y la rentabilidad de este tipo de proyectos en minería subterránea.

CONCLUSIONES

Se concluye que el estudio técnico del diseño y la construcción del crucero 1420 entre la Zona 23 y la Zona Santa Rosa ha tenido implicancias altamente positivas en las operaciones de explotación de la Unidad Minera Santa Filomena, mejorando significativamente los niveles de producción, eficiencia operativa y conectividad interna. La implementación del crucero permitió una excavación total de 20,594.80 m³ y un avance lineal de 899.5 metros en 278 días calendario, con un rendimiento promedio de 37.1 m³ por disparo. Estas cifras reflejan una optimización del ciclo operativo diario, reduciendo los tiempos de acarreo y facilitando la circulación de equipos, personal y mineral entre zonas claves de producción. La eficiencia operativa alcanzó un 95%, consolidando la viabilidad técnica del proyecto y superando las proyecciones iniciales. Además, la obra generó una mejora directa en los indicadores de productividad minera, permitiendo un incremento sostenido del 20% en la producción global de la unidad. Este resultado valida que el diseño geomecánico, el tipo de sostenimiento seleccionado y la planificación del proceso constructivo fueron adecuados y sostenibles, confirmando que el crucero 1420 no solo resolvió

una necesidad estructural y logística, sino que también fortaleció estratégicamente la operación de la unidad minera, cumpliendo a cabalidad con los objetivos planteados en la investigación.

Relacionado con los factores geomecánicos para la selección del sostenimiento, el análisis de la calidad del macizo rocoso, utilizando el RMR (79 puntos) y el RQD (93%), confirmó la necesidad de un sostenimiento con pernos helicoidales de 5 pies con una capacidad de carga de 16 toneladas. Este sistema se complementó con el uso de malla electrosoldada en zonas críticas, asegurando una estabilidad adecuada del crucero a lo largo del tiempo. El factor de seguridad, basado en las condiciones geomecánicas, se mantuvo dentro del rango óptimo (61-70 en la escala de Bieniawski), lo que permitió mitigar los riesgos de inestabilidad.

Sobre los parámetros operativos implicados en la construcción, se utilizaron 96,698 unidades del explosivo Emulnor 5000, logrando una perforación efectiva de 2.61 metros por disparo y un avance de 2.5 metros por disparo, con un consumo de combustible de 3,556.8 galones para el equipo Scoop. El tiempo total de ejecución del proyecto fue de 278 días, extendido a lo largo de nueve meses. Estos parámetros operativos garantizaron una gestión eficiente de los recursos y la minimización de tiempos improductivos, lo que permitió cumplir con el cronograma establecido.

El costo total de la construcción alcanzó los 202,662.96 soles, de los cuales 199,581.58 soles se destinaron a obras civiles. Este costo incluyó el uso de materiales como 2,631 pernos de sostenimiento y 5,262 unidades de resina, reflejando una inversión significativa que ha sido recuperada a través del incremento en la producción minera, estimado en un 20%. Estos resultados confirman la viabilidad económica del proyecto.

RECOMENDACIONES

Para mejorar el impacto del diseño y construcción del crucero 1420 en la Zona 23 y Zona Santa Rosa, se recomienda continuar con un monitoreo periódico del rendimiento de la infraestructura, asegurando que las proyecciones de productividad sigan alineadas con los objetivos planteados. Además, se sugiere implementar tecnología de análisis de datos en tiempo real para optimizar el proceso de extracción, lo que podría generar un incremento adicional del 5-10% en la producción minera y reducir los costos operativos.

En relación a los factores geomecánicos, se recomienda realizar estudios geomecánicos adicionales en áreas adyacentes al crucero 1420, para anticipar posibles cambios en las condiciones del macizo rocoso a medida que las excavaciones avanzan. Esto permitirá adaptar el sostenimiento a tiempo y evitar riesgos de inestabilidad. También sería beneficioso considerar el uso de nuevas tecnologías en sostenimiento, como pernos autoperforantes, para mejorar la seguridad y reducir el tiempo de instalación.

En cuanto a los parámetros operativos, se sugiere optimizar el uso de equipos mediante el análisis de ciclos operativos y consumo de combustible. La implementación de un sistema de

mantenimiento predictivo para el equipo utilizado, como el Scoop y Jumbo, podría reducir el tiempo de inactividad en un 15%, lo que redundaría en una mayor eficiencia operativa. Además, el uso de explosivos de última generación con menor impacto ambiental podría mejorar la seguridad y reducir los costos de manejo de residuos.

Finalmente, para mejorar la gestión de costos en proyectos similares, se recomienda una planificación financiera más detallada que contemple contingencias adicionales y la variación de precios de insumos. Incluir una auditoría trimestral de los costos permitirá ajustar el presupuesto en tiempo real, minimizando desviaciones. También se podría explorar la adquisición de materiales a granel para reducir los costos unitarios, particularmente en insumos clave como los pernos y resina, lo que podría generar ahorros del 5-7%.

BIBLIOGRAFÍA

- Instituto de Cemento y Hormigon de Chile. (2015). *Shotcrete-guia chilena del hormigon proyectado*.
- 506R-05, ACI. (2005). *guide to shotcrete*.
- Aragon Quispe, M. Á., & Cornejo Mamani, M. P. (2017). *"Influencia de las fibras en el shotcrete en su capacidad de absorción de energía y resistencia a la flexión"*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Arequipa.
- Araya Jofré, M. (2015). *Diseño de un sistema de control de gestión para una empresa de servicios a la minería*. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería de Minas, Santiago de Chile.
- Bejar Luza, Y. E. (2024). *Diseño y construcción del crucero 501- NW para optimizar las operaciones de explotación en la unidad minera luna de oro, Camaná- Arequipa*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Escuela profesional de ingeniería de minas, Cusco.
- Beresovsky de las Casas. (2018). *"Estudio Experimental del comportamiento por desempeño de concreto lanzado reforzado con fibras metálicas"*. Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima.
- Convenio de Colaboración Entre la Secretaría de Estado de Energía del Ministerio de Industria, energía y turismo y la Universidad Politécnica de Madrid(laboratorio oficial j.m. madariaga- lom). (2015). *Guía sobre el control geotécnico en minería subterránea*.
- Cosme Camarena, F. M. (2016). *Optimización del sostenimiento con shotcrete vía húmeda con fines de minimizar costos y mejorar la producción de lanzado de la E.E. Robocon s.a.c. en la*

- Mina San Cristobal - Cia Minera Volcan s.a.a.[tesis de graduacion]*. Univesidad Nacional del Centro del Peru, Huancayo-Peru, Huancayo.
- Dignacion ASTM, C 94/C 94M -03a. (2003). *Espepecificaciones normalizadas para el hormigon premezclado*.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). Ciudad de Mexico, México: Mc Graw Hull Education.
- Laurente Paredes, R. G. (2017). *"Uso de Shotcrete vía húmeda con fibra metálica y su influencia en la caída de rocas en Sociedad Minera Corona S.A. - Yauricocha"*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería de Minas, Huancayo.
- Martinez Menezes, C. J. (2014). *Construcción del crucero cx-532 NW en el nivel 1890, area Ishihuinca y area Cordova , empresa Inversiones Mineras del Sur S.A.* Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga, Escuela profesional de ingeniería de minas, Ayacucho.
- Martinez Vargas, J. A. (2011). *"Análisis del Concreto Lanzado como revestimiento definitivo para Túneles"*. Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Peru. (2016). *manual de carreteras: tuneles, muros y obras complementaria*.
- Neira Perez, G. N. (2018). *"Evaluación del Uso de Fibra Sintética versus fibra metálica en el sostenimiento con shotcrete vía húmeda en la galería 651, Nv. 100 Unidad Minera Raura"*. 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.
- Ortiz Alvarez, J. A. (2024). *Incremento de la produccion mediante la construcción del crucero 3600 en la unidad minera patay uno – Tarma - Junin*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Escuela profesional de ingeniería de minas, Cusco.
- Rey, A. (2006). *Hormigon proyectado dosificacion, fabricacion y puesta en obra*.
- Sanchez Vilarreal, Y. (2012). *Optimización en los procesos de Perforación y Voladura en el avance de la Rampa en la Mina Bethzabeth*. Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Santana, R. A. (2013). *Caracterizacion a cortante de hormigon proyectado[tesis de master, escola de camins]*. Base den datos.
- Tenorio Rojas, J. G. (2016). *Propuesta de criterios de aceptación o rechazo de testigos deb hormigon proyectadoi utilizado en fortificacion de tuneles mineros y civiles [tesis de graduacion]*. Universidad Andres Bello, Santiago-Chile.
- Vargas Niquin, E. (2016). *Optimizacion del sostenimiento con shocrete usando desmonte zarandeado como agragado, en la construccion de la rampa principal-MARSA [tesis de graduacion,.* Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo-Peru.

ANEXOS

ANEXO 1

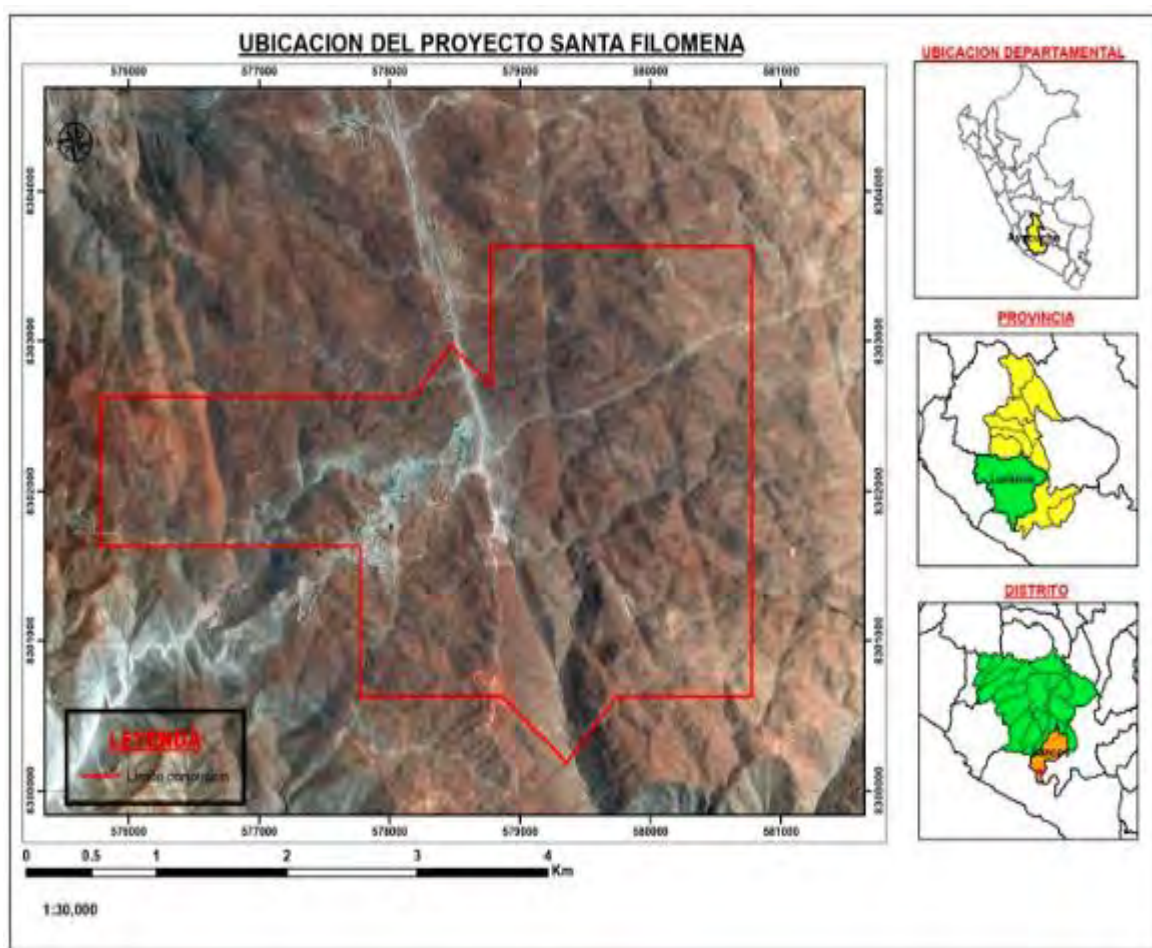
1.1. Descripción de Minera Sotrami S.A.

1.2. Ubicación Geográfica.

La unidad minera Sotrami se encuentra a una altitud de 2400msnm, ubicada políticamente en la región de Ayacucho, provincia de Lucanas, distrito de Sancos y Centro Poblado de Santa Filomena.

Figura 18:

Plano de ubicación de la Minera Sotrami S.A.



Fuente: Departamento de Planeamiento de Minera Sotrami - 2025

Tabla 37
Coordenadas de ubicación

CONSECIÓN SANTA FILOMENA		
VERTICES	ESTE	NORTE
1	576000	8303000
2	579000	8303000
3	579000	8304000
4	581000	8304000
5	581000	8301000
6	578000	8301000
7	578000	8302000
8	576000	8302000

Fuente: Departamento de Planeamiento de Minera Sotrami

1.3. Accesibilidad

Para acceder a la unidad Santa Filomena a partir de la ciudad de Lima es un total de 9 horas y media en bus, las principales vías de acceso se detallan a continuación.

Tabla 38
Accesibilidad

TRAMO	DISTANCIA	TIPO DE VIA	TIEMPO
Lima-Yauca	680 km	Asfaltada	8 horas
Yauca-Jaquí	25 km	Asfaltada	0.5 horas
Jaquí-Laytaruma	12 km	Afirmada	0.5 horas
Laytaruma-Filomena	13 kl	Afirmada	1 hora
TOTAL	730 km		10 horas

Fuente: Página Web de Minera Sotrami

1.4. Clima y Meteorología

El clima de Sancos es un clima estepa local. A lo largo del año se presentan pocas precipitaciones. Este clima es considerado BSk según la clasificación climática de Köppen (BS). La temperatura promedio en Sancos es 12.7 °C. Entre 32 los meses más secos y más húmedos, la diferencia en las precipitaciones es 96 mm. Las temperaturas medias varían durante el año en un 3.9°C. El clima en la concesión minera de “Santa Filomena se caracteriza por ser árido a templado,

con temperaturas medias anuales que fluctúan entre 16°C y 28°C; la zona es carente de lluvias por lo que se tiene una precipitación media anual de 2.1mm. Presentando los siguientes comportamientos durante el año: de diciembre a marzo, época en donde garúa con poca precipitación con temperaturas que fluctúan entre 17 °C y 25 °C, de abril a julio, días con ligera sensación de frio que llegan a temperaturas entre 15 °C y 22 °C (SENAMHI, 2021).

1.5. Recursos

1.5.1. Flora y Fauna.

El distrito presenta gran diversidad ecológica, en este lugar la vegetación natural está dada por el “ichu”, entre otras especies como la retama, el aliso, el mutuy, la tara, la cantuta, la cabuya, sauco, molle, eucalipto, pino y ciprés, así como varios tipos de cactáceas como la tuna, el sanqui, la jacana, el huyo.

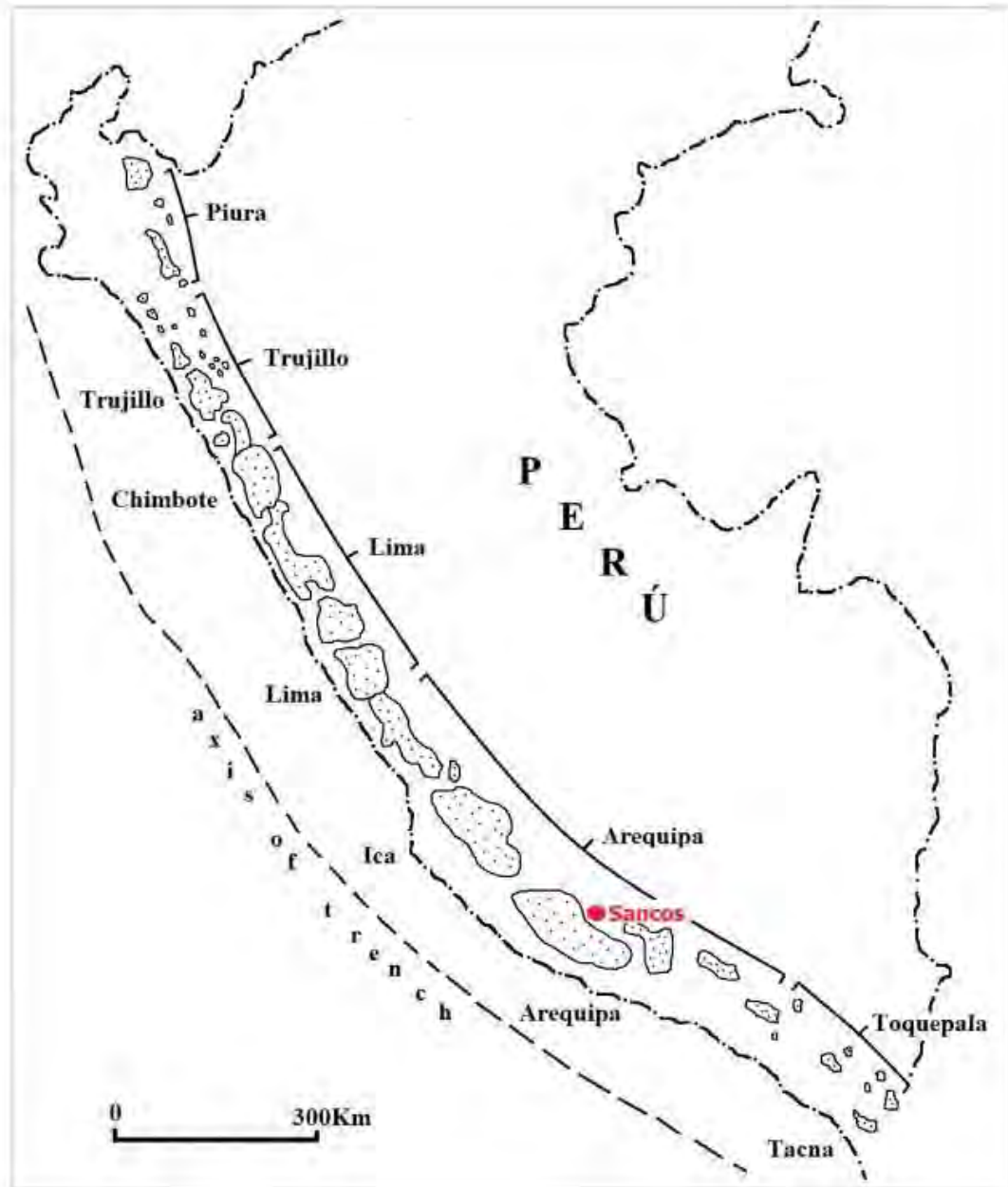
1.6. Geología

1.6.1. Geología Regional

El batolito de la costa está constituido por cientos de plutones individuales, agrupados en un número limitado de súper-unidades (pitcher, 1974). Geográficamente está dividido a lo largo del eje del batolito en 5 grandes segmentos, caracterizado cada súper-unidad por un ensamble litológico particular (Cobbing et al.,1977); el segmento de mayor longitud es el de Arequipa con 900 km. de largo, el orden de emplazamiento de los plutones en el segmento de Arequipa está dada de la siguiente manera: (1) gabros tempranos y dioritas, (2) súper-unidad Linga (Stewart, 1968), (3) súper-unidad Pampahuasi el nombre corresponde a una localidad al este de Ica, (4) súper-unidad Incahuasi, localidad al norte de pisco, (5) súper-unidad Tiabaya (Jenks, 1948; Jenks y Harris, 1953). Todas estas ocurrencias intrusivas están enmarcadas dentro de un conjunto de súper unidades que describiremos a continuación.

Figura 19:

Geología Regional



Fuente: Departamento de Geología de Minera Sotrami S.A. - 2025

1.6.2. *Secuencia Estratigráfica*

1.6.2.1. Complejo Bella Unión

La litología es muy variada dentro del complejo Bella Unión, se caracteriza por ser una brecha de intrusión de naturaleza andesítica o dacítica, en bloques angulosos y subangulosos, también se observan otros cuerpos de composición básica, como diabasa porfirítica gris verdosas, este complejo está cortado por diques de andesita porfirítica. Se extiende a lo largo de faja de dirección E-O a NO-SE, limitado por grandes lineamientos estructurales que posiblemente controlen su emplazamiento.

1.6.2.2. Dacita Molles

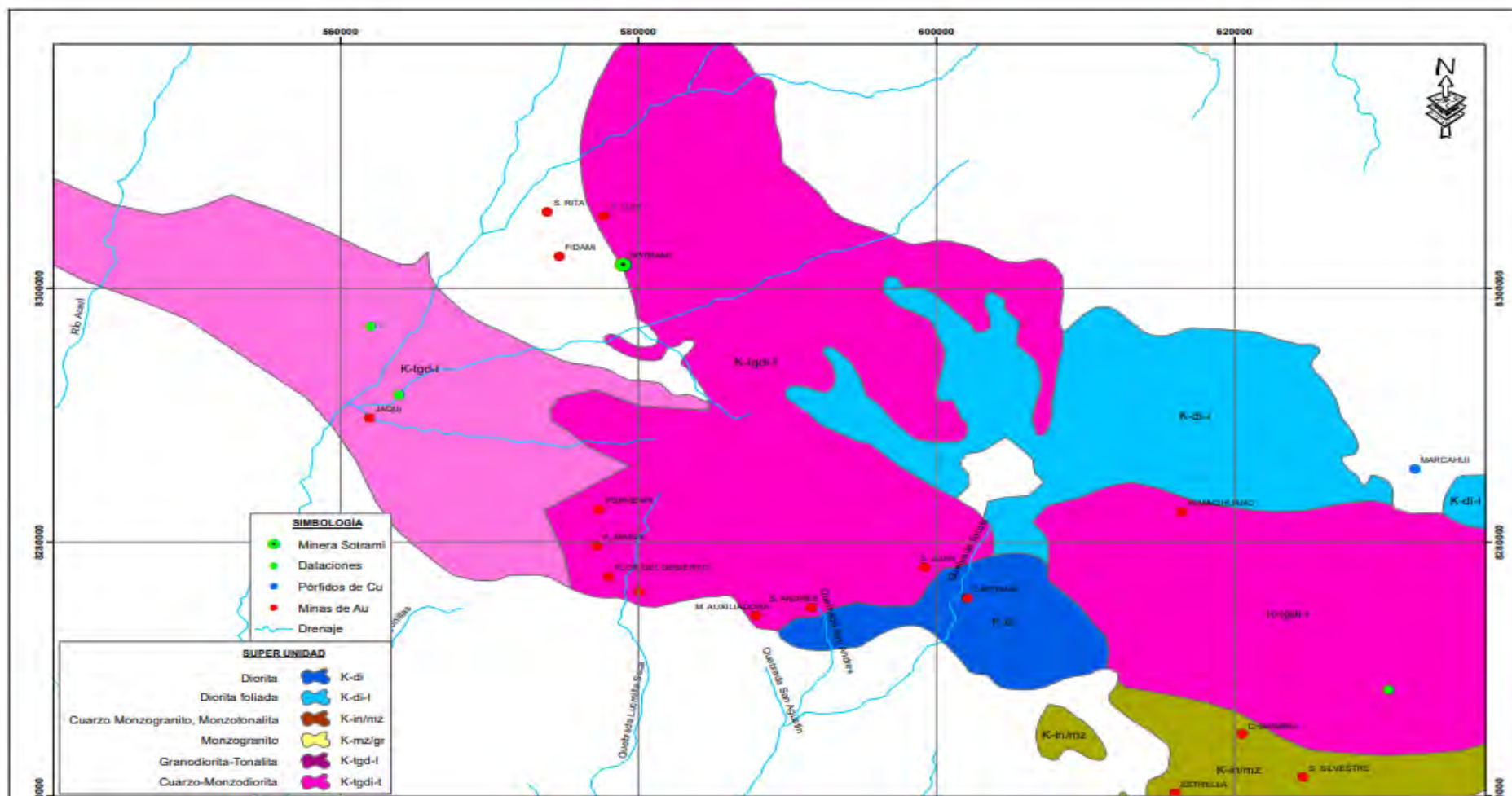
Se conoce con este nombre a una dacita hipabisales que aflora en el sector norte del cuadrángulo de Jaqui, a lo largo de una falla longitudinal NO (Andino). Estos afloramientos presentan una textura porfirítica, con fenocristales de plagioclasas y granos grandes de cuarzo en una matriz afanítica grisácea, la edad de emplazamiento entre 102 MA, hasta 80 MA .

1.6.2.3. Gabros

Los gabros pertenecen a la Súper-unidad Patap y tienen una edad de emplazamiento de 107 Ma (Cobbing E. et al., 1977). Los segmentos de Arequipa y Lima son litológicamente bastante similares, caracterizados por gabros horbléndicos melanócratas con variaciones a otras 9 rocas de carácter básico como leucogabros y dioritas horbléndicas. Este tipo de rocas son observadas en afloramiento en áreas muy limitadas. Los contactos entre rocas similares se dan gradaciones, por zonas de brecha miento por dioritas tardías, parches irregulares de pegmatitas horbléndicas en zonas de contacto.

Figura 20:

Secuencia Estratigráfica



Fuente: Departamento de Geología de Minera Sotrami S.A. - 2025

1.6.3. Geología Local

1.6.3.1. Estratigrafía Local

En minera Sotrami y alrededores afloran diferentes tipos de roca intrusiva las cuales son parte del batolito de la costa.

1.6.3.1.1. Complejo Santa Rosa

Al Oeste de la mina, aflora el Complejo Santa Rita, con distribución NO-SE y está constituido por rocas metamórficas de contacto desarrollado por la intrusión de las súper unidades Linga y Tiabaya, son de coloración gris oscuro algo esquistosa de aspecto lustroso, están constituidas principalmente de dioritas piroxénicas - cuarcíferas y andesitas; estas rocas presentan mineralización sobre todo cerca al contacto con las dioritas y granodioritas de la súper unidad Tiabaya, las vetas de la mina Santa Rita se emplazaron en este tipo de litología.

1.6.3.1.2. Super Unidad Tiabaya

En su mayoría los afloramientos rocosos corresponden a dioritas y granodioritas de la súper unidad Tiabaya, estas rocas presentan una textura de grano medio a fino y como componentes se distinguen: feldespatos, biotita de gran tamaño y hornblenda. Por el contenido de biotita se puede decir que es una diorita biotítica, en este tipo de roca se emplaza el mayor número de estructuras mineralizadas que actualmente se encuentran en producción (veta Filomena, veta Santa Rosa y ramales); Asimismo, existen afloramientos de tonalitas-granodioritas en el lado norte de la concesión al igual que las dioritas y granodioritas de la súper-unidad Tiabaya conforman el grupo de rocas encajonantes favorables para el emplazamiento de vetas hidrotermales de oro y plata, entre ellas veta Bonita, veta Española, veta Lady, veta Raúl, veta Silvana, veta Torrez, veta Santa Ana, veta Filomena y Santa Rosa, estas dos últimas estructuras son las más importantes, las cuales

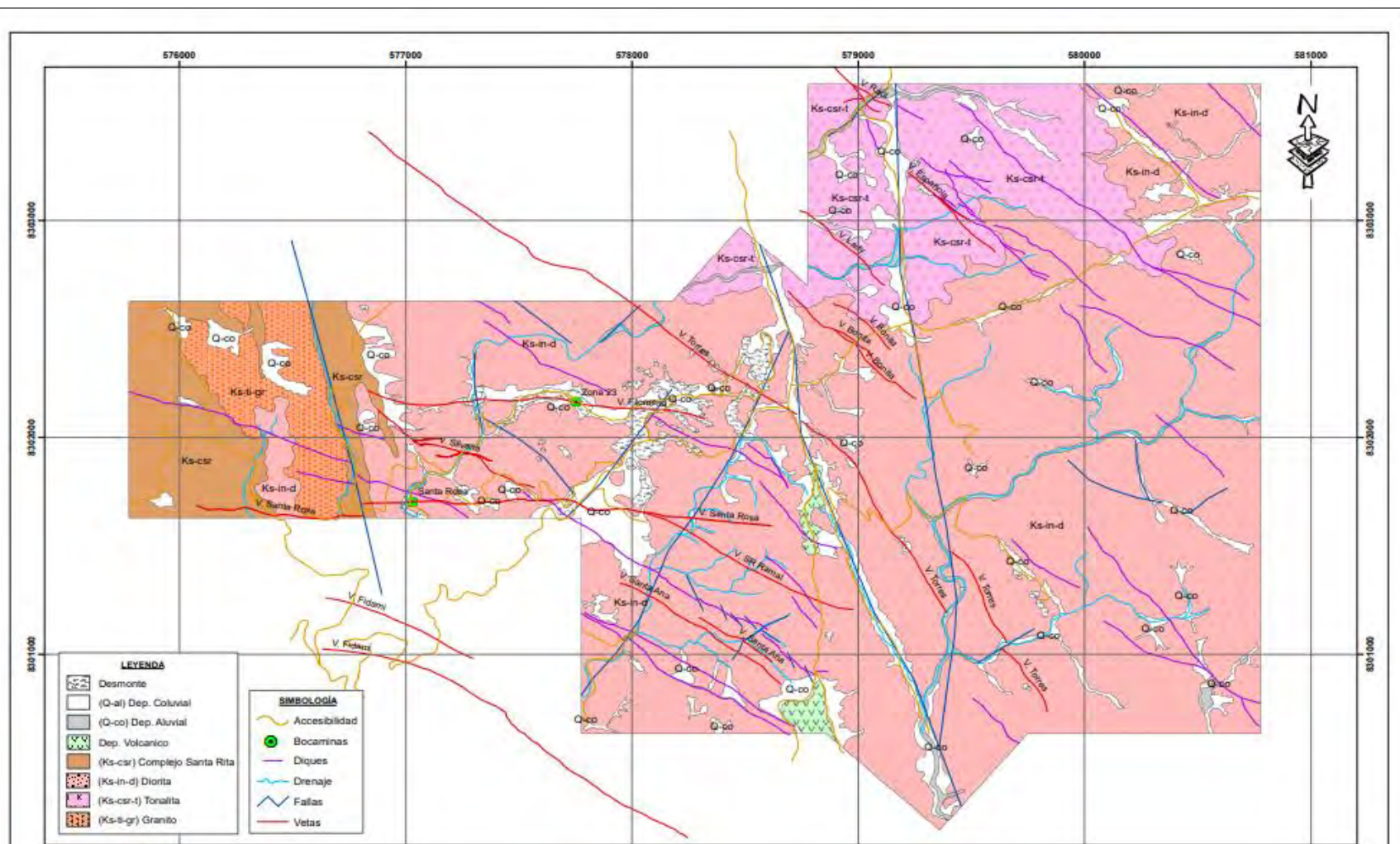
se encuentran en etapa de exploración y producción, guardan cierto paralelismo y sus afloramientos en superficie se encuentran separados por una distancia aproximada de 450.00 metros. Existen otras vetas de rumbo andino algunas de estas son ramales propios de veta Santa Rosa y veta Filomena, y otras estructuras mineralizadas de considerable valor económico

1.6.3.1.3. Diques

Cortando las dioritas y granodioritas se evidencia una serie de diques de composición andesítica, textura afanítica a fanerítica y coloración gris verdosa, cuyos afloramientos presentan de 4 a 8 metros de espesor con dirección promedio de N 305° a N 310° y un buzamiento promedio de entre 60° a 70°, como diques principales tenemos: a dique Santa Ana, dique Santa Rosa y dique Filomena.

Figura 21:

Estratigrafía Local



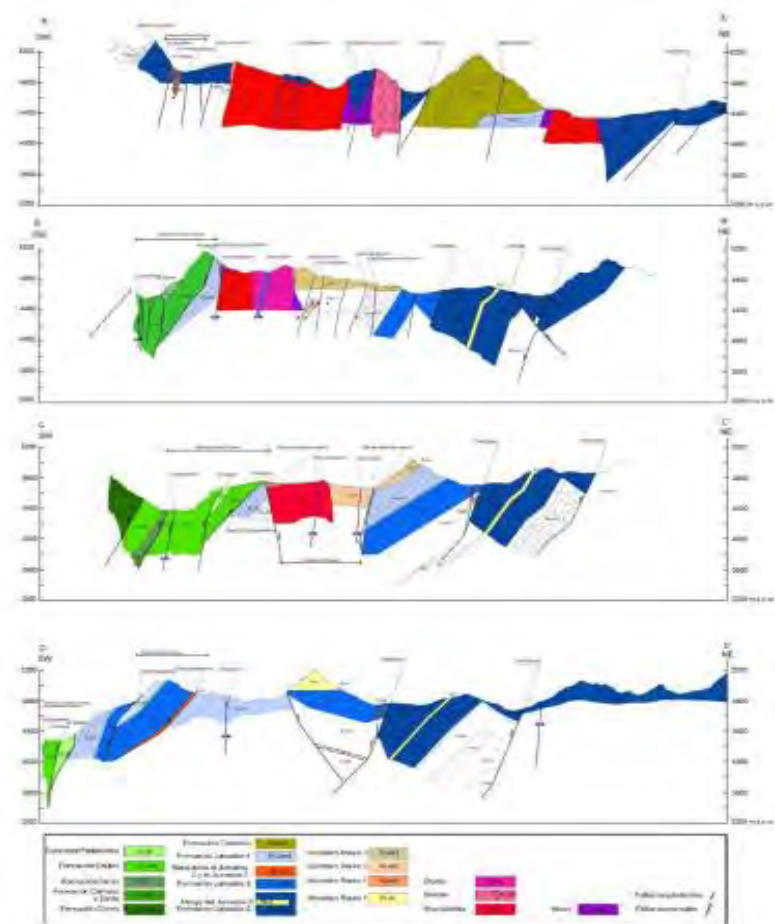
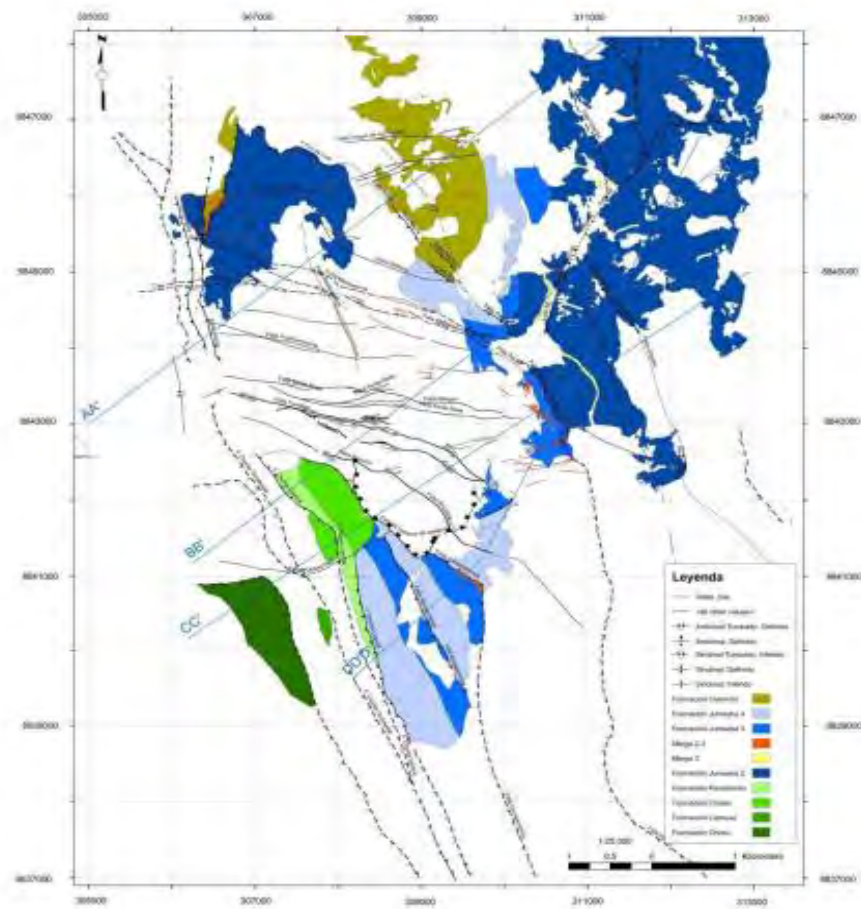
Fuente: Departamento de Geología de Minera Sotrami S.A. - 2025

1.6.4. Geología Estructural

Las estructuras de la región están relacionadas principalmente con los movimientos tectónicos del ciclo andino y las principales zonas estructurales se han diferenciado según la magnitud y el estilo de deformación que han sufrido las rocas debido a su distinta naturaleza y a la variada intensidad de los esfuerzos que han actuado, generando pliegues, fallas y diaclasas. En base a lo mencionado, la región se ha dividido de oeste a este en varias zonas con características estructurales propias, así tenemos: Zona de fallamiento en bloques, zona de emplazamiento del batolito, zona plegada, y zona poco deformada. (Boletín N° 34 serie A - Ingemmet). La unidad minera Santa Filomena se encuentra dentro de una zona de fallamiento en bloques, entre dos fallas de rumbo y de alcance regional, la falla Gliden al éste y la falla Santa Rita al oeste generando un bloque, entre estas fallas se ubican las vetas que conforman la mina Santa Filomena. La falla Gliden según los sondajes diamantinos realizados presenta anchos de hasta 8.0m, también se han observado diversos sistemas de fallas de orden local y están caracterizadas por fallas de rumbo N10°-30°W y buzamientos de 60°-75°NE, con anchos variables de hasta 1.0 m, a este grupo de fallas se les denomina fallas de primer orden. Existe otro grupo de fallas clasificadas de segundo orden, falla Enriqueta, Filomena, Ecuador y otras de rumbo N30°-60°E, que fueron desplazados por reactivaciones de las fallas de primer orden, cuyos saltos se observan en campo desde 2 hasta 10 m y son de naturaleza sinistral y dextral. Las vetas se manifiestan en estructuras bien definidas, sus afloramientos son de considerable longitud, llegando a manifestarse hasta en tramos de 1.50 km de forma continua; Las vetas son relleno de fallas y presentan reactivaciones, las mismas están controlados por dos (2) sistemas estructurales principales.

Figura 22:

Geología Estructural



Fuente: Departamento de Geología de Minera Sotrami S.A. - 2025

1.6.5. Geología Económica y Mineralización

Las vetas auríferas ubicadas en la zona están clasificadas genéticamente como vetas hidrotermales de cuarzo-oro, siendo el cuarzo el mineral principal, seguido por pirita, arsenopirita y oro nativo.

1.6.5.1. Mineralización en Vetos

Las vetas muestran comúnmente zonas bandeadas crustificadas, con brechamientos puntuales con limitadas aureolas de alteración argílica, silicificación y propilitación de roca caja. Las vetas contienen principalmente relleno de cuarzo hialino y en algunos casos porosos, es notoria la presencia de sílice tipo vuggy con óxidos de hierro (boxwork). Se tiene presencia de sulfuros en superficie que mayormente se encuentran lixiviados; los principales minerales observados son: pirita, calcopirita de forma puntual, bornita, covelita, cuarzo en tres generaciones (blanco, hialino y gris).

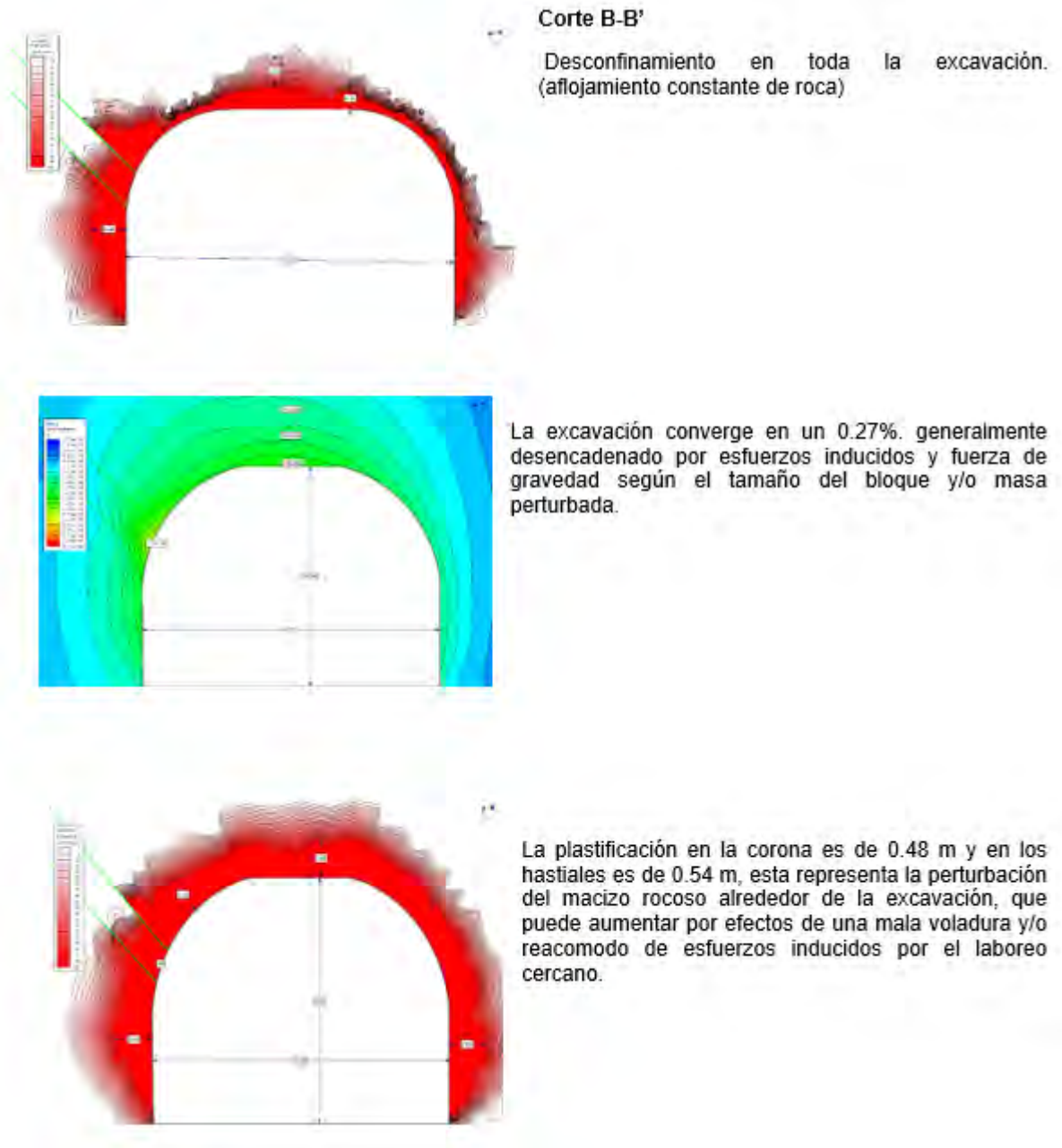
1.6.5.2. Franja Aurífera Nasca - Ocoña

La franja Nasca-Ocoña con mineralización oro-cobre-hierro, comprende el segmento Arequipa del batolito de la costa (Pitcher et al. 1985), se localiza en la costa sur media del Perú. Por la presencia de nuevos prospectos auríferos, dicha franja se extiende por el Norte hasta Ica y por el Sur hasta La Joya (Arequipa). Esta franja se ha explotado intermitentemente desde el siglo XVII, habiéndose ubicado a la fecha más de un centenar de depósitos de oro, cuyas características son principalmente del tipo filoniano y de origen hidrotermal. Las ocurrencias son minadas por oro-plata- cobre

ANEXO 2

Figura 23:

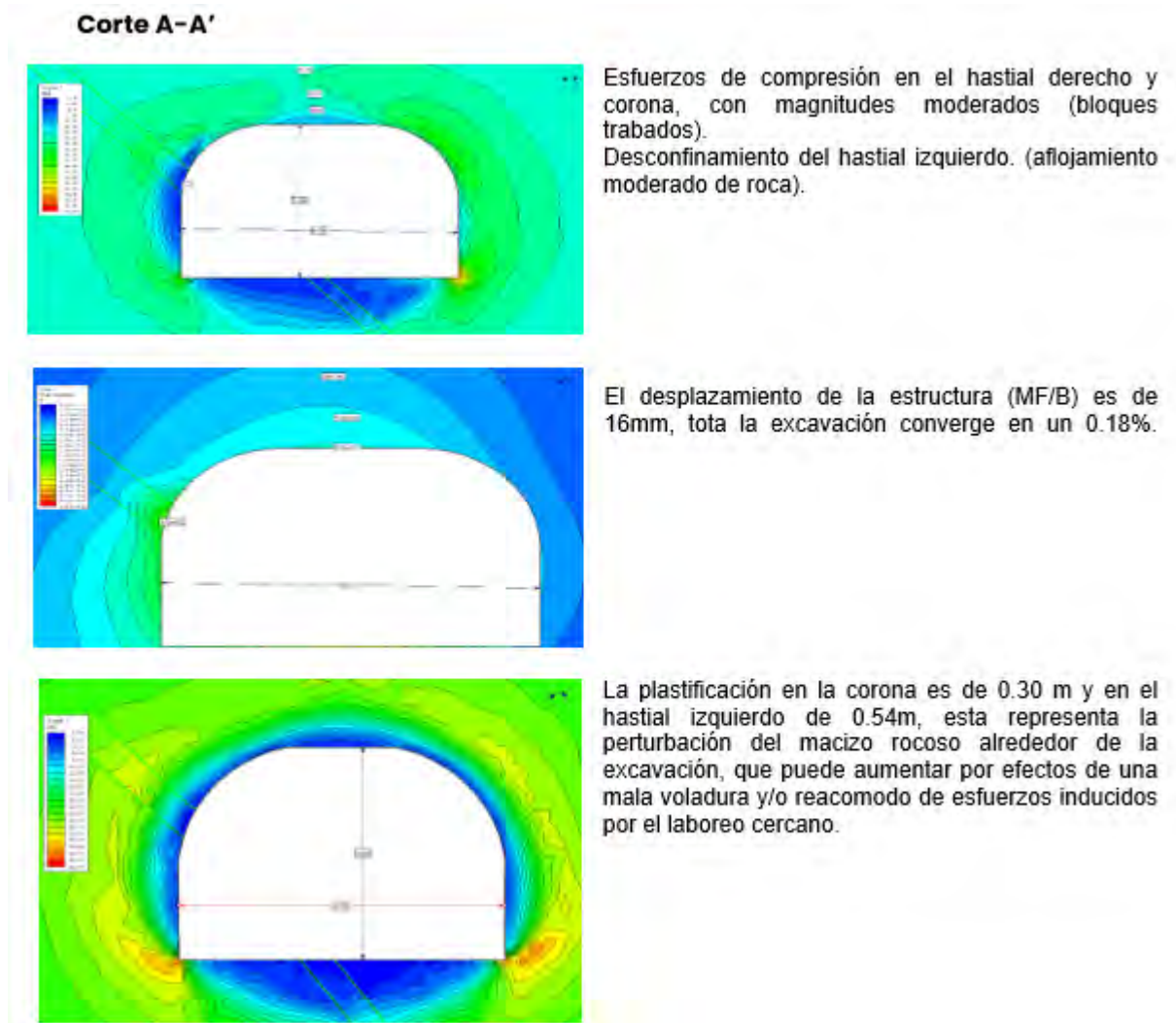
Análisis geomecánico - 1



Fuente: Elaboración Propia

Figura 24:

Análisis geomecánico – 2

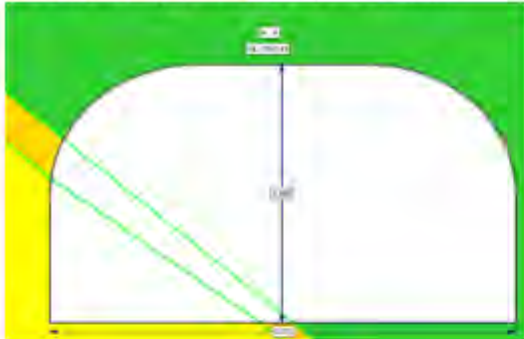


Fuente: Elaboración Propia

Figura 25:

Análisis geomecánico – 3

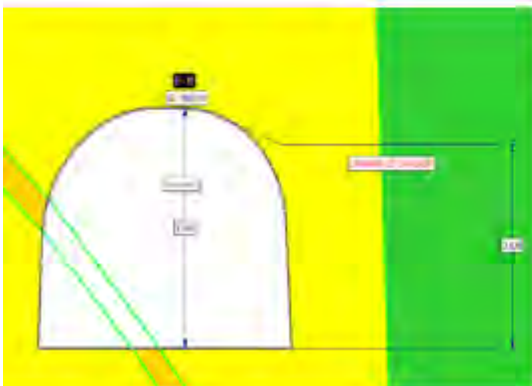
Geometría y tamaños de sección



Corte A-A':
Secc real 5.0 x 3.2 m; desproporción ancha/altura. (corona plana)



Corte B-B':
secc. Típica 3.0x3.0m.
Secc real 4.3 x 3.0 m; sobre rotura hastial izquierdo. (corona plana)



Corte B-B':
secc. Típica 3.0x3.0m.
Proyección 4.3 x 3.5 m; proporción ancho/altura (corona en arco)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 26:

Fotos de campo – 1



Fuente: Elaboración Propia

Figura 27:

Fotos de campo – 2



Fuente: Elaboración Propia