

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



Tesis

Evaluación y selección de aceros de perforación para la reducción de costos de consumo de brocas, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. - 2024

Presentado por:

Jose Carlos Ramirez Talaverano

Para optar el título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

Evaluación y selección de aceros de perforación para la reducción de costos de consumo de brocas, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. - 2024

Presentado por **Jose Carlos Ramirez Talaverano**, para optar el título de Ingeniero de Minas

Sustentado y aprobado el 20 de febrero de 2025 ante el jurado evaluador:

Presidente:

Dr. Pablo Rubén Zuloaga Candia

Primer miembro:

Mtro. José Adolfo Cárdenas Catalán

Segundo miembro:

Mag. Oscar Eugenio Álvarez Gamarra

Asesor:

Mtro. Darío Dante Sánchez Castillo





CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 063-2025

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada: "**Evaluación y selección de aceros de perforación para la reducción de costos de consumo de brocas, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. - 2024**", presentado por el Bach: **Jose Carlos Ramirez Talaverano**, Para optar el Título de **Ingeniero de Minas**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud **ACEPTABLE de (20%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 13 de febrero del 2025


UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
DE APURIMAC
Dr. Lintol Comreras Salas
DIRECTOR(E) DE LA UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERIA

C. c.
Archivo
REG. N°183



Agradecimiento

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi alma mater, la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, y en especial a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, por haberme brindado la formación integral que me permitió crecer tanto profesional como personalmente. Agradezco de manera especial a todos mis docentes, quienes, con dedicación y compromiso, compartieron sus valiosos conocimientos, preparándome para enfrentar los desafíos del mundo laboral con confianza y capacidad. Sin su apoyo y enseñanza, este logro no hubiera sido posible.



Dedicatoria

Dedico este trabajo con todo mi cariño y gratitud a mis adorados padres, quienes, a pesar de las dificultades de la vida, siempre me brindaron su apoyo incondicional a lo largo de mi etapa universitaria y, especialmente, durante la realización de este trabajo de investigación. Su amor, esfuerzo y sacrificio han sido fundamentales para llegar hasta aquí, y sin ellos, este logro no habría sido posible.



Evaluación y selección de aceros de perforación para la reducción de costos de consumo de brocas, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A.- 2024
Línea de investigación, Minería y Procesamiento de Minerales

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
CAPÍTULO I	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 Descripción Del Problema	5
1.2 Enunciado Del Problema	6
1.2.1 Problema General	6
1.2.2 Problema específico	6
1.3 Justificación de la Investigación	6
CAPÍTULO II	9
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	9
2.1 Objetivos De La Investigación	9
2.1.1 Objetivo general	9
2.1.2 Objetivo específico	9
2.2 Hipótesis de la investigación	9
2.2.1 General	9
2.2.2 Específico	9
2.3 Operacionalización de variables	10
CAPITULO III	11
MARCO TEÓRICO	11
3.1 Antecedentes de la investigación	11
3.1.1 Antecedentes internacionales	11
3.1.2 Antecedentes nacionales	13
3.1.3 Antecedente local	15
3.2 Marco referencial	16
3.2.1 Ubicación y accesibilidad	16
3.2.2 Perforabilidad	17
3.2.3 Principios de la perforación de rocas	19
3.2.4 Aceros de perforación	21
3.2.5 Análisis de costos	23
3.3 Definición de términos	26



CAPITULO IV	29
DISEÑO METODOLÓGICO	29
4.1 Tipo y diseño de la investigación	29
4.1.1 Tipo de investigación	29
4.1.2 Diseño de la investigación	29
4.2 Población y muestra	30
4.2.1 Población	30
4.2.2 Muestra	30
4.3 Procedimiento de la investigación	30
4.4 Material de investigación	30
4.5 Plan de tratamiento de datos	31
CAPÍTULO V	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
5.1 Resultados	32
5.1.1 Estudios Geomecánicos MARSA	32
5.1.2. Variación en el costo por metro perforado	52
5.1.3. Vida útil de las brocas	63
5.1.4. Rendimiento de las brocas	65
5.2. Discusión	69
CAPÍTULO VI	71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
6.1 Conclusiones	71
6.2. Recomendaciones	72
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	73
ANEXOS	75



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Operacionalización de variables	10
Tabla 2 — Perforabilidad y desgaste de algunas rocas comunes	19
Tabla 3 — Sistema de discontinuidades estructuras menores (sistema de diaclasas). Dirección de buzamiento / buzamiento	35
Tabla 4 — Sistema de discontinuidades estructuras mayores compósito de fallas	36
Tabla 5 — Rangos de clasificación RMR y colores establecidos en MARSA	50
Tabla 6 — Resumen de calidad RMR de la masa rocosa - mina MARSA	51
Tabla 7 — Constante K, E	54
Tabla 8 — Característica de la broca Sandvik	56
Tabla 9 — Tiempo de vida de la broca Sandvik	57
Tabla 10 — Característica de la broca Atlas Copco	60
Tabla 11 — Tiempo de vida de la broca Atlas Copco	61
Tabla 12 — Resumen de resultados	68
Tabla 13 — Matriz de Consistencia	76



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Ubicación	16
Figura 2 — Broca de botones	23
Figura 3 — Contorneo estadístico de la concentración de polos del compósito de estructuras menores asociadas al dominio estructural veta Cabana (1.5 % del área de la superficie del hemisferio)	37
Figura 4 — Representación de los planos principales del compósito de estructuras menores, asociados al dominio estructural de la veta Cabana	38
Figura 5 — Contorneo estadístico de la concentración de polos del compósito de estructuras menores (1.5 - 2% del área de la superficie del hemisferio)	39
Figura 6 — Representación de los planos principales del compósito de estructuras menores	41
Figura 7 — Contorneo estadístico de la concentración de polos del compósito de fallas (2% del área de la superficie del hemisferio)	42
Figura 8 — Representación de los planos principales del compósito de fallas	44
Figura 9 — Diagramas de rosetas del compósito de fallas	45
Figura 10 — Histograma de frecuencias espaciamiento dominio estructural veta Caban	49
Figura 11 — Histograma de frecuencias tipo relleno dominio estructural veta Cabana	50
Figura 12 — Broca SANDVIK	58
Figura 13 — Broca Atlas Copco	62
Figura 14 — Medición para colocodo de sostenimiento con puntal	77
Figura 15 — Marcación con la varilla de madera (atacador) la perpendicularidad entre el puntal y la caja techo, considerando una superficie plana de contacto	77
Figura 16 — Trabajos de perforación y voladura	78
Figura 17 — Diseño de malla de perforación	78
Figura 18 — Martillo neumático Jackleg	79
Figura 19 — Carguío de taladros para la voladura	79
Figura 20 — Carguío de taladros en frente de perforación	80
Figura 21 — Plano de avance tajo 559 subnivel 2746 N	81

INTRODUCCIÓN

La minería es un pilar fundamental en la economía global, nacional y regional, proporcionando materias primas esenciales para diversas industrias. En este contexto, las empresas mineras enfrentan el desafío constante de mejorar su eficiencia operativa y reducir costos, especialmente en un entorno caracterizado por una creciente competencia, regulaciones ambientales más estrictas y la volatilidad en los precios de los minerales. La perforación es una de las etapas más críticas en la operación minera, ya que influye directamente en la productividad, los costos operativos y la sostenibilidad del negocio.

Uno de los factores clave para optimizar la eficiencia en la perforación es la selección del acero utilizado en la fabricación de brocas. La calidad del acero impacta en su durabilidad, resistencia al desgaste y capacidad de penetración en distintos tipos de formaciones rocosas. Una elección inadecuada puede aumentar significativamente los costos operativos debido al desgaste prematuro de las brocas, la necesidad de reemplazo frecuente y la disminución del rendimiento en las perforaciones. A nivel global, la industria minera está adoptando nuevas tecnologías y materiales avanzados para extender la vida útil de sus herramientas, mientras que, en el ámbito nacional y regional, la optimización del consumo de insumos es clave para mantener la competitividad de las operaciones.

En este contexto, el presente trabajo de tesis, titulado "Evaluación y selección de aceros de perforación para la reducción de costos de consumo de brocas en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. - 2024", tiene como objetivo analizar y comparar distintos tipos de acero utilizados en la perforación del tajo en estudio, con el fin de identificar las opciones que ofrecen un mejor rendimiento y menores costos operativos. Para ello, se aplicará un enfoque cuantitativo basado en la recopilación y análisis de datos sobre la durabilidad y eficiencia de las brocas, considerando variables como la velocidad de perforación, el consumo de materiales y la frecuencia de reposición.

Más allá de proporcionar información técnica para la toma de decisiones en la selección de aceros, este estudio busca contribuir a la optimización de los procesos en Minera Aurífera Retamas. Mediante una evaluación detallada, se pretende generar recomendaciones que



permitan mejorar la competitividad de la empresa, reducir costos y promover prácticas más sostenibles en sus operaciones. En un contexto donde la presión por maximizar la eficiencia y minimizar costos es cada vez mayor, esta investigación se alinea con las tendencias internacionales en el desarrollo de materiales más eficientes y estrategias que optimicen el uso de recursos en la industria minera.

Además, el estudio responde a una necesidad local de mejorar los procesos en Minera Aurífera Retamas, asegurando una gestión eficiente de los recursos y la implementación de soluciones innovadoras en la perforación minera. De esta manera, se espera generar un impacto positivo tanto en el desempeño económico de la empresa como en la seguridad y sostenibilidad de sus operaciones, contribuyendo a la adopción de mejores prácticas en el sector minero a nivel nacional e internacional.



RESUMEN

En el presente estudio se evaluó la selección de aceros de perforación con el objetivo de reducir los costos asociados al consumo de brocas en el tajo 559 - subnivel 2746N de Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024. La problemática identificada radica en la variabilidad de los costos operativos debido a las diferencias en el desempeño de las brocas utilizadas, lo que impacta directamente en la rentabilidad y eficiencia del proceso de perforación.

Para abordar esta situación, se analizaron diferentes tipos de brocas, específicamente Sandvik y Atlas Copco, comparando su costo por metro perforado, vida útil y rendimiento en la operación minera. Se determinó que la diferencia en los costos por metro perforado entre ambas marcas es mínima, con valores de 0.33 USD/m para Sandvik y 0.31 USD/m para Atlas Copco. Asimismo, la vida útil promedio de las brocas es similar, con 109.1 taladros por broca para Sandvik y 108.3 para Atlas Copco, lo que indica que ambas opciones ofrecen un rendimiento comparable bajo las condiciones del subnivel evaluado.

Uno de los factores clave identificados en la investigación fue la variabilidad en la dureza del macizo rocoso, la cual influye en la longitud perforada con cada broca. La litología presenta alteraciones que afectan el proceso de perforación, generando diferencias en el desempeño de las herramientas utilizadas. Este aspecto resalta la importancia de considerar no solo el tipo de broca, sino también las características geomecánicas del terreno al momento de evaluar la eficiencia operativa.

Se determinó que la adecuada selección de aceros de perforación contribuye a la optimización de costos operativos sin afectar significativamente el rendimiento. Sin embargo, dado que las diferencias entre ambas marcas de brocas son mínimas, se recomienda realizar un seguimiento continuo de los parámetros de perforación, así como explorar alternativas tecnológicas que permitan mejorar la eficiencia y durabilidad de las brocas utilizadas en la operación minera.

Palabras clave: *Aceros de perforación, costo por metro perforado, vida útil de las brocas, rendimiento de perforación, optimización de costos.*



ABSTRACT

In this study, the selection of drilling steels was evaluated with the aim of reducing the costs associated with the consumption of drill bits in Pit 559 - Sublevel 2746N of Minera Aurífera Retamas S.A. - 2024. The problem identified lies in the variability of operating costs due to the differences in the performance of the drill bits used, which directly impacts the profitability and efficiency of the drilling process.

To address this situation, different types of drill bits were analyzed, specifically Sandvik and Atlas Copco, comparing their cost per meter drilled, useful life and performance in the mining operation. It was determined that the difference in costs per meter drilled between both brands is minimal, with values of 0.33 USD/m for Sandvik and 0.31 USD/m for Atlas Copco. The average lifespan of the drill bits is similar, with 109.1 drills per bit for Sandvik and 108.3 for Atlas Copco, indicating that both options offer comparable performance under the conditions of the sublevel evaluated.

One of the key factors identified in the research was the variability in the hardness of the rock mass, which influences the length drilled with each bit. The lithology presents alterations that affect the drilling process, generating differences in the performance of the tools used. This aspect highlights the importance of considering not only the type of bit, but also the geomechanical characteristics of the terrain when evaluating operational efficiency.

It was determined that the proper selection of drilling steels contributes to the optimization of operating costs without significantly affecting performance. However, since the differences between both brands of drill bits are minimal, it is recommended to continuously monitor the drilling parameters, as well as explore technological alternatives that allow improving the efficiency and durability of the drill bits used in the mining operation.

Keywords: *Drilling steels, cost per meter drilled, drill bit life, drilling performance, cost optimization.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1 Descripción Del Problema

Se centra en la creciente preocupación por los costos operativos asociados al consumo de brocas en las operaciones mineras. En el contexto de la Minera Aurífera Retamas, se ha observado que el desgaste de las brocas y la necesidad de reemplazo frecuente generan gastos significativos que impactan en la rentabilidad de la empresa.

La variabilidad en la calidad y características de los aceros de perforación disponibles en el mercado puede influir en la durabilidad y el rendimiento de las brocas. Sin embargo, la selección inadecuada del tipo de acero puede resultar en un aumento de los costos operativos, ya que brocas de menor calidad pueden requerir un reemplazo más frecuente, además de afectar la eficiencia del proceso de perforación y, por ende, la productividad general.

A pesar de la importancia de este aspecto, existe una falta de información específica y análisis detallados sobre el rendimiento de diferentes tipos de aceros en condiciones reales de perforación en el tajo 559 - subnivel, 2746N. Esto limita la capacidad de la Minera Aurífera Retamas para tomar decisiones informadas sobre la selección de aceros que optimicen el consumo de brocas y reduzcan los costos asociados.

Por lo tanto, el problema radica en la necesidad de realizar una evaluación exhaustiva de los diferentes aceros de perforación disponibles, analizando su impacto en la durabilidad y el costo del consumo de brocas, con el objetivo de identificar las opciones más eficientes y económicas para la operación minera. Esta investigación busca abordar esta brecha de conocimiento y proporcionar soluciones prácticas que permitan a la empresa mejorar su desempeño operativo y reducir costos de manera sostenible.



1.2 Enunciado Del Problema

1.2.1 Problema General

¿Cómo la Evaluación y selección de aceros de perforación permitirá la reducción de costos del consumo de brocas, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024?

1.2.2 Problema específico

- ¿En qué medida la Evaluación y selección de aceros de perforación determinara la variación en el costo por metro perforado al comparar diferentes tipos de broca, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A.– 2024?
- ¿Cómo la Evaluación y selección de aceros de perforación optimizará la vida útil de las brocas, en el tajo 559, subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A.– 2024?
- ¿En qué medida la Evaluación y selección de aceros de perforación determinará el rendimiento de las brocas, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A.– 2024?

1.3 Justificación de la investigación

La optimización de los procesos mineros es clave para garantizar la sostenibilidad y competitividad de las operaciones, especialmente en entornos de alto costo operativo como el tajo 559 - subnivel 2746N de la Minera Aurífera Retamas. En este contexto, la perforación es un factor determinante en la productividad y rentabilidad de la operación, ya que el uso eficiente de los aceros de perforación puede generar mejoras significativas en el rendimiento y la reducción de costos.

El presente estudio es relevante porque permitirá evaluar y seleccionar los aceros de perforación más adecuados, reduciendo el desgaste prematuro de las brocas y las ineficiencias operativas que elevan los costos. A través de la optimización de materiales, se espera prolongar la vida útil de las brocas, disminuir la frecuencia de reemplazo y mejorar la eficiencia en los ciclos de



perforación, lo que contribuirá a un uso más racional de los recursos y a la disminución del tiempo improductivo.

La minería es una actividad que genera empleo y desarrollo económico a nivel local, regional y nacional. Sin embargo, su sostenibilidad depende en gran medida de la eficiencia de sus operaciones. La reducción de costos en la perforación permitirá mejorar la rentabilidad de la empresa y, en consecuencia, mantener la estabilidad laboral y económica de las comunidades que dependen de esta actividad. Además, el uso optimizado de los aceros de perforación disminuirá el consumo de insumos y reducirá la cantidad de residuos generados, contribuyendo a una minería más sostenible y con menor impacto ambiental. Esto es especialmente importante en un contexto donde las exigencias ambientales y sociales sobre la industria minera son cada vez más estrictas.

Desde el punto de vista metodológico, esta investigación es relevante porque aplicará un enfoque cuantitativo, basado en la recopilación y análisis de datos sobre la durabilidad, resistencia y rendimiento de los distintos tipos de aceros de perforación utilizados en el tajo 559. El estudio permitirá generar un análisis comparativo que servirá como referencia para futuras investigaciones en la optimización del consumo de brocas. Asimismo, los resultados obtenidos contribuirán a la construcción de un marco metodológico replicable en otras unidades mineras con características geológicas y operativas similares.

Desde una perspectiva académica, esta investigación aporta nuevo conocimiento en el área de perforación y voladura en minería, proporcionando datos y criterios técnicos que pueden ser utilizados por otros investigadores, profesionales y empresas mineras. El análisis detallado sobre la selección de aceros de perforación permitirá establecer parámetros óptimos de desempeño, lo que contribuirá a la formación de futuros ingenieros de minas y a la actualización de conocimientos en el sector. Además, la investigación puede servir como base para estudios posteriores sobre innovación en herramientas de perforación y eficiencia en procesos mineros.



Esta investigación es un requisito fundamental para la obtención del título profesional de Ingeniero de Minas, ya que permite aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación universitaria en un contexto real y práctico dentro de la industria minera. El desarrollo de este estudio refuerza habilidades técnicas y analíticas, tales como la selección de materiales, la optimización de procesos y el análisis de costos operativos, competencias esenciales para un profesional del sector minero. Además, la investigación demuestra la capacidad del estudiante para identificar problemas operativos y proponer soluciones innovadoras, contribuyendo así al avance de la minería en el país. Finalmente, la culminación exitosa de esta investigación validará la preparación del estudiante para desempeñarse como un ingeniero de minas altamente capacitado, capaz de tomar decisiones estratégicas en el ámbito de la perforación y voladura, optimizando recursos y mejorando la eficiencia de las operaciones mineras.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Determinar la relación de la Evaluación y selección de aceros de perforación, con la reducción de los costos del consumo de brocas, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024.

2.1.2 Objetivo específico

- Determinar la relación de la Evaluación y selección de aceros de perforación, con la variación en el costo por metro perforado al comparar diferentes tipos de broca, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024.
- Establecer la relación de la Evaluación y selección de aceros de perforación, con la vida útil de las brocas, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024.
- Determinar la Evaluación y selección de aceros de perforación, con el rendimiento de las brocas, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 General

Existirá una relación de la Evaluación y selección de aceros de perforación, con la reducción de los costos de consumo de brocas, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024.

2.2.2 Específico

- Se encontró una relación de la Evaluación y selección de aceros de perforación, con el costo por metro perforado al comparar diferentes tipos de brocas, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024.



- La Relación de la Evaluación y selección de aceros de perforación, influye en la vida útil de las brocas, en el tajo 559 – subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024.
- La Evaluación y selección de aceros de perforación, tiene una relación directa con el rendimiento de las brocas, en el tajo 559 – subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024.

2.3 Operacionalización de variables

Tabla 1 — Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE
Variable independiente	Evaluación y selección de aceros de perforación	Resistencia a la fatiga y fractura de los aceros de perforación	Resistencia ante posibles fracturas o fallas durante el proceso de perforación	MPa
		Eficiencia de la Perforación	Velocidad de penetración y la precisión en la perforación lograda con diferentes tipos de acero	m/min
		Adaptabilidad al Tipo de Roca: Geomecánica	Desempeño del acero en distintos tipos de formaciones rocosas	%
Variable dependiente	Reducción de costos del consumo de brocas	Costo por metro perforado	Costo de broca por metro perforado	\$/broca
		Vida útil de las brocas	Longitud total perforado por broca	m/broca
		Rendimiento de las brocas	Produccion total por broca.	toneladas /broca



CAPITULO III MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de la investigación

3.1.1 Antecedentes internacionales

Según (CAGUANA, Y OTROS, 2023) En su trabajo de tesis, se menciona que la voladura es un campo que ha sido objeto de un extenso estudio en la actualidad, siendo aplicada para múltiples propósitos. De igual manera, Caguama destaca una mejora en los parámetros de perforación y voladura que se utilizan en la cantera Las Victorias, con el objetivo de fragmentar la roca para su posterior comercialización. Los parámetros propuestos se basan en el análisis de diversas metodologías de cálculo, que incluyen: El método de proporcionalidad, el método sugerido por López-Jimeno, el método de Langefords, el método sueco y el método de Konya, así como el modelo Kuz-Ram para estimar las dimensiones de la fragmentación resultante de la voladura. En este contexto, se llegó a la conclusión de que el método propuesto por López-Jimeno es el más adecuado para calcular una de voladura eficiente.

Según (GARRIDO, 2007), En su tesis doctoral “Diagnóstico y Optimización de Disparos en Desarrollo Horizontal Mina El Teniente”, el autor llevó a cabo un análisis técnico exhaustivo sobre las operaciones de perforación y voladura en los desarrollos horizontales de la "Mina Reservas Norte" de Codelco Chile, específicamente en el Nivel de Producción (Teniente Sub-6). Para ello, se realizó una evaluación detallada mediante la captura y digitalización de imágenes antes y después de cada voladura, utilizando el software 2DFace, además de un monitoreo de las vibraciones generadas por las explosiones con el objetivo de analizar su impacto en la estabilidad del macizo rocoso y la seguridad de las operaciones. Entre los principales hallazgos, se logró una reducción del 10% en la cantidad de perforaciones por disparo, lo que contribuyó a una mayor eficiencia en el uso de los recursos. Asimismo, la sobre excavación disminuyó considerablemente, pasando del 24% al 6%, lo que



permitió una reducción significativa en el desperdicio de material y en la alteración del perfil del túnel. Este enfoque optimizado no solo mejoró la seguridad en la mina al reducir el riesgo de desprendimientos y caídas de rocas, sino que también optimizó los tiempos de trabajo y disminuyó los costos operacionales directos asociados a las actividades de perforación y voladura, lo que se tradujo en una mayor eficiencia y sostenibilidad del proceso minero.

De acuerdo con GUAMAN (2016) En su trabajo de tesis, enfocado en la optimización de los procesos de perforación y voladura en el túnel fase A-B del proyecto hidroeléctrico Sopladora, se identificó que la implementación de Explogel Amón como carga de fondo en combinación con ANFO como carga de columna permitió una reducción sustancial en los costos de explosivos, logrando un ahorro del 66% por voladura. Esta estrategia no solo disminuyó los costos operativos, sino que también optimizó la eficiencia del proceso al mejorar la distribución de la energía de la explosión. Adicionalmente, la incorporación de la perforadora Jumbo contribuyó significativamente a la reducción de los tiempos de perforación en un 50%, aumentando la productividad y agilizando las fases de excavación. Un factor clave en la optimización del proceso fue la correcta planificación y distribución del carguío en los taladros, lo que mejoró notablemente la eficiencia de la voladura al asegurar una fragmentación más homogénea del material y minimizar la generación de sobre tamaños. En conclusión, la aplicación de estas estrategias innovadoras no solo redujo costos y tiempos operativos, sino que también optimizó los resultados de las voladuras, mejorando la seguridad y eficiencia en la ejecución del proyecto hidroeléctrico.

De acuerdo con AGUIRRE (2016) En la conclusión del estudio, se evidenció que la implementación de nuevas estrategias permitió una reducción significativa en el uso de explosivos de alta energía, logrando un balance global favorable al adoptar una alternativa más eficiente y sostenible. Las medidas aplicadas no solo optimizaron el rendimiento del proceso minero, sino que también incrementaron su rentabilidad al reducir los costos asociados a la tronadura y minimizar los impactos negativos sobre la estabilidad del macizo rocoso. Adicionalmente, el uso más eficiente de los explosivos contribuyó a

mejorar la fragmentación del material, lo que facilitó las siguientes etapas del proceso, como la carga y el transporte del mineral, aumentando la productividad general de la operación. Estas mejoras permitieron alcanzar los objetivos planteados inicialmente, asegurando un mejor desempeño en términos de seguridad, eficiencia y sostenibilidad, aspectos fundamentales para la optimización continua de los procesos mineros.

3.1.2 Antecedentes nacionales

(JAUREGUI, 2009), presentó la tesis titulada “Reducción de los Costos Operativos en Mina mediante la Optimización de los Estándares de las Operaciones Unitarias de Perforación y Voladura”. El objetivo principal de esta investigación fue disminuir los costos operativos de la empresa minera a través de la implementación de estándares de trabajo óptimos en las operaciones unitarias de perforación y voladura.

(CAYLLAHUA, 2018) En su tesis, se señala que la Unidad Minera Las Águilas, dedicada a la extracción de minerales polimetálicos, se localiza en el distrito de Ocuwiri, provincia de Lampa, en la región de Puno. El estudio se enfocó en analizar y solucionar los problemas operativos relacionados con la perforación y voladura en las galerías de exploración GL 910 SW y GL 885 SW, ubicadas en el nivel 4280 de la mina, los cuales generaban costos elevados en la ejecución de este proceso. El objetivo principal de la investigación fue reducir los costos operacionales mediante el diseño e implementación de una nueva malla de perforación, optimizando así el uso de explosivos y mejorando la eficiencia del proceso. Para ello, se aplicó una metodología basada en la recolección y análisis de datos operativos, permitiendo evaluar los resultados obtenidos y estandarizar la nueva malla de perforación y voladura. Como resultado, la optimización permitió reducir el número de taladros de 32 a 28, lo que a su vez generó una disminución significativa en el costo de perforación, pasando de 125.7 \$/m a 111.6 \$/m. Además, se logró una reducción total de 14.10 \$/m en los costos de perforación y voladura, optimizando el uso de explosivos y accesorios, cuyo costo disminuyó de 34.9 \$/m a 31.1 \$/m. Esta mejora también se vio reflejada en una reducción en el factor de carga, ajustado en función de los parámetros geotécnicos GSI (Geological Strength Index) y RQD (Rock Quality Designation), lo que contribuyó a un uso más eficiente de

los recursos y a una mejora en la estabilidad del macizo rocoso. En conclusión, la implementación de la nueva malla no solo permitió una reducción en los costos operativos, sino que también optimizó el rendimiento y la eficiencia de las operaciones de perforación y voladura en la Unidad Minera Las Águilas, contribuyendo a una explotación más segura y rentable.

En su tesis, CHAMBI (2019) El estudio se centra en la optimización de los procesos de perforación y voladura en la mina Tambomayo, con el propósito de mejorar la rentabilidad en la minería subterránea. Dado que los costos operativos mensuales en estas actividades suelen incrementarse debido a diversas ineficiencias, como pérdidas durante el carguío y errores operativos, se hace necesario implementar estrategias para reducir gastos y maximizar la eficiencia. En la operación de Tambomayo, la perforación se lleva a cabo utilizando el equipo Simba S7D, mientras que las voladuras se ejecutan con el uso de ANFO y emulsiones. Sin embargo, para mejorar la rentabilidad del proceso extractivo, es fundamental optimizar estas operaciones y reducir los costos por tonelada de mineral extraído. Aunque los precios de los metales en el mercado internacional son variables e incontrolables, sí es posible gestionar de manera eficiente los costos de producción, permitiendo así una mejor competitividad y sostenibilidad del proyecto. El estudio inicia con la identificación y clasificación de los costos de producción, con el objetivo de detectar las áreas de mayor gasto y desarrollar estrategias para reducirlos. Como parte de la optimización, se plantea un nuevo diseño de perforación, el cual disminuye la cantidad de taladros y optimiza los costos por metro perforado, logrando una mejora significativa en la eficiencia del proceso. A futuro, se recomienda mantener un control riguroso y continuo sobre las operaciones de perforación y voladura, asegurando que los resultados estén alineados con la política de optimización de costos de la empresa. De esta manera, se garantiza una explotación más eficiente y rentable, contribuyendo al éxito y sostenibilidad de la mina Tambomayo.

OCAMPO (2018) La investigación se enfoca en la reducción de costos en perforación y voladura dentro del proyecto Chavimochic, mediante la optimización de la malla de perforación de doble espiral. Se identificó que el



diseño original presentaba un exceso de taladros y un factor de carga elevado, lo que generaba costos innecesarios sin mejorar la eficiencia de las voladuras. Para corregir esta problemática, se propuso la implementación del método de Holmberg, ajustando los parámetros de la malla para reducir la cantidad de taladros y optimizar la distribución de los explosivos. Los resultados mostraron una disminución significativa en los costos de perforación y voladura en ambos tipos de roca presentes en la zona (tipo II y tipo III), sin comprometer la calidad del proceso. La reducción del número de taladros y la optimización del factor de carga mejoraron la eficiencia operativa, generando un impacto positivo en la rentabilidad del proyecto. En conclusión, la optimización de la malla de perforación se presenta como una estrategia eficaz para reducir costos y aumentar la productividad en proyectos de excavación de túneles, asegurando operaciones más eficientes y sostenibles sin afectar la calidad de la excavación.

3.1.3 Antecedente local

Según (PEÑA, Y OTROS, 2022) En su tesis titulada “Incremento de avance en las labores horizontales con el cambio de accesorios de perforación y voladura, en la Unidad Minera San Andrés Minera Aurífera Retamas S.A.-2018”, se concluye que la modificación de los accesorios utilizados en la perforación permitió optimizar el avance en las labores horizontales de la Unidad Minera San Andrés, propiedad de Minera Aurífera Retamas S.A.. Como resultado, se evidenció un incremento en el volumen de material por disparo, pasando de 10.25 m³ a 12.85 m³, lo que representó un aumento en la cantidad de toneladas por disparo, elevándose de 27.66 Tn a 34.70 Tn. Este resultado demuestra que la optimización en la selección y uso de los accesorios de perforación y voladura puede mejorar significativamente la eficiencia del proceso minero, incrementando la productividad y reduciendo costos operativos.

De acuerdo con (MENDOZA, 2024) En su trabajo de tesis titulado “Optimización de parámetros de perforación y voladura de la galería 10316 para controlar la dilución de mineral, empresa contratista Minera Tauro S.A.C., La Libertad”, se concluye que la implementación de parámetros optimizados en las operaciones de perforación y voladura permitió una reducción significativa en los costos operativos. En el escenario actual, el costo total por tonelada se estimó en 84.5 \$/ton, mientras que con la optimización se logró

disminuir a 75.9 \$/ton, lo que representa un ahorro de 8.6 \$ por metro de avance. Estos resultados evidencian que la aplicación de estrategias de mejora en los parámetros de perforación y voladura no solo contribuye a reducir la dilución del mineral, sino que también optimiza la rentabilidad y eficiencia del proceso minero en la galería 10316 de Minera Tauro S.A.C.

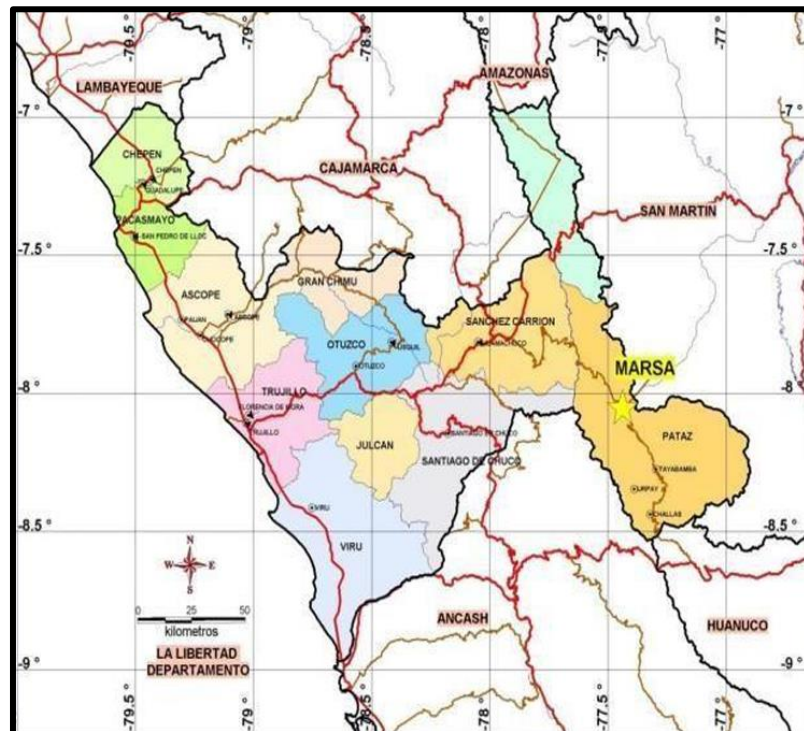
3.2 Marco referencial.

3.2.1 Ubicación y accesibilidad

3.2.1.1 Ubicación

La minera MARSA está ubicada en la sierra de la Región La Libertad, específicamente en la Provincia de Pataz, una zona caracterizada por su relieve montañoso y su riqueza en yacimientos auríferos. Esta región ha sido históricamente reconocida por su actividad minera, desempeñando un papel clave en la economía local y nacional.

La unidad minera está ubicada a gran altitud, lo que presenta desafíos logísticos y operativos, pero también ofrece un gran potencial para la extracción de minerales. Su ubicación permite desarrollar operaciones mineras subterráneas eficientes, respetando altos estándares de seguridad y sostenibilidad.



FUENTE: Minera Marza
Figura 1 — Ubicación



3.2.1.2 Accesibilidad

El acceso desde la capital, Lima, puede realizarse por dos vías:

A. Vía terrestre:

- Lima – Trujillo: Aproximadamente 560 km por la carretera Panamericana Norte.
- Trujillo – Pataz: Alrededor de 370 km por carretera, en un trayecto que atraviesa diversas localidades de la sierra liberteña.
- Pataz – Mina MARSÁ: Un tramo final de aproximadamente 30 km, que conecta la provincia con la unidad minera.

B. Vía aérea:

- Lima – Trujillo: Mediante vuelos comerciales con una duración aproximada de 1 hora.
- Trujillo – Mina MARSÁ: Se cuenta con acceso aéreo mediante vuelos privados, reduciendo significativamente el tiempo de viaje.

3.2.2 Perforabilidad

De acuerdo con (GAMARRA, 2011) En su tesis, se establece que la perforabilidad de una roca se define como su facilidad para ser atravesada por un equipo de perforación, y está influenciada por diversos factores geológicos y físicos, esta característica está determinada, entre otros aspectos, por la dureza de los minerales que componen la roca y por el tamaño de sus granos. La interacción de estos factores afecta directamente la eficiencia de los equipos de perforación y el desgaste de los materiales de corte, como las brocas y los aceros de perforación.

Uno de los minerales con mayor influencia en la perforabilidad de las rocas es el cuarzo (sílice), debido a su elevada dureza (7 en la escala de Mohs). Las rocas con alto contenido de cuarzo, como el granito o la cuarcita, presentan una resistencia superior a la perforación, lo que genera una mayor tasa de desgaste en las brocas y un aumento en el consumo de energía y tiempo para completar el proceso. En contraste, las rocas con mayor proporción de caliza o arcillas

suelen ser más blandas y fáciles de perforar, lo que reduce significativamente el desgaste de los equipos y permite una operación más eficiente.

Además de la composición mineralógica, el tamaño de los granos influye en la perforabilidad. Las rocas de grano fino y compacto, como algunas lutitas o basaltos, tienden a ser más difíciles de perforar debido a su mayor cohesión interna. Por el contrario, las rocas de grano grueso y estructura porosa pueden facilitar la penetración de la broca, permitiendo una mayor velocidad de perforación.

Otro factor relevante es la estructura geológica de la roca, que abarca aspectos como la presencia de fracturas, fisuras y estratificación. Las rocas masivas y homogéneas, como algunas variedades de granito, pueden ser más resistentes al avance de la perforación, mientras que las rocas con fisuras o zonas de debilidad permiten un avance más rápido, aunque pueden generar problemas de estabilidad y desviaciones en la perforación.

Desde un punto de vista operativo, comprender la perforabilidad de la roca es esencial para seleccionar adecuadamente los aceros de perforación y el tipo de broca, optimizando así los costos y la eficiencia del proceso minero. Un análisis detallado de las características de la roca permite ajustar parámetros como la presión de avance, la velocidad de rotación y el tipo de fluido de perforación, lo que contribuye a maximizar la vida útil de las brocas y reducir los tiempos improductivos en la operación minera.

Tabla 2 — Perforabilidad y desgaste de algunas rocas comunes

Tipo de roca	Perforabilidad	Desgaste
Granito	Normal de perforar	Mucho desgaste en la broca y el varillaje
Basalto (rocas eruptivas)	Normal de perforar	Menos desgaste en el varillaje
Diorita (rocas eruptivas)	Normal de perforar	Desgaste normal en el varillaje
Anfibolita (roca metamórfica)	Difícil de perforar	Produce un fuerte desgaste Debido al contenido de cuarzo
Génesis (roca metamórfica)	Más Difícil de perforar debido a la granulación fina	Produce un fuerte desgaste
Pizarra (roca sedimentaria)	Fácil de perforar	Poco desgaste en los aceros
Piedra caliza (roca sedimentaria)	Fácil de perforar	Poco desgaste en los aceros
Arenisca (roca sedimentaria)	Fácil de perforar	Produce un fuerte desgaste por la presencia del cuarzo
Cuarcita	Difícil de perforar por la presencia del SiO ₂	Produce un elevado desgaste de los aceros

FUENTE: Gamarra, 2011. Optimización del uso de aceros de perforación

Es poco común que una formación geológica esté compuesta exclusivamente por un solo tipo de roca, lo que dificulta la previsión de si la roca será fácil o difícil de perforar. La verdadera respuesta solo se obtiene una vez que se ha comenzado la perforación. La matriz presentada en esta tabla es de gran relevancia para prever la perforabilidad y el desgaste. Si utilizamos adecuadamente este cuadro, podremos analizar el rendimiento de las perforaciones, así como la vida útil de nuestros aceros de perforación, lo que a su vez contribuirá a mejorar nuestras operaciones de perforación.

3.2.3 Principios de la perforación de rocas

3.2.3.1 Perforación por Percusión

(BERNAOLA, Y OTROS, 2013) En una publicación de la Universidad Politécnica de Madrid, se describen las técnicas de perforación en las que la fragmentación de la roca se lleva a cabo principalmente mediante el impacto de herramientas con filos afilados. Aún se utilizan sistemas de percusión simple en algunos equipos de perforación antiguos, como las perforadoras de cable para

pozos de agua. Este método consiste en un trépano en forma de cuchilla con un filo inferior agudo que se deja caer sobre el fondo del pozo desde un cable suspendido. Los fragmentos de roca generados se retiran periódicamente del fondo utilizando una herramienta especial, conocida como cuchara, que los recoge junto con una cantidad de agua para facilitar la operación. Sin embargo, este método es considerado completamente obsoleto en la actualidad.

Los sistemas de perforación contemporáneos, que se examinan en este capítulo, son rotoperkusivos, donde; además de la percusión, la herramienta de corte también recibe un movimiento de rotación y una fuerza de empuje relativamente pequeña para una transmisión de energía más eficiente. En estos sistemas, la velocidad de perforación es proporcional a la potencia de percusión, que es el producto de la energía de impacto y la frecuencia de los golpes. En contraste, la rotación y el empuje son acciones auxiliares que tienen una influencia mínima en la velocidad de perforación, siempre que se superen ciertos valores mínimos necesarios para espaciar adecuadamente los puntos de impacto y mantener la herramienta en contacto con la roca. El martillo es el componente que proporciona la percusión mediante el movimiento alternativo de una pieza de choque, el pistón, que golpea repetidamente el equipo de perforación. Este pistón puede ser impulsado por aire comprimido en el caso de la perforación neumática, o por aceite hidráulico en la perforación hidráulica.

3.2.3.2 Rotación y Trituración

(GAMARRA, 2011) En su tesis, se menciona que el método de rotación y trituración, que se utilizaba originalmente para la perforación de pozos de petróleo, se aplica actualmente para perforar barrenos en chimeneas y galerías de túneles. Este método ha demostrado ser práctico y eficiente para llevar a cabo perforaciones en estas aplicaciones.

3.2.3.3 Rotura de la Roca Percusión y Trituración:

(GAMARRA, 2011) En su tesis, se detalla que, en el proceso de perforación por percusión y trituración, la fractura de la roca ocurre debido a la alta fuerza (o presión) que un botón o plaquita de carburo cementado ejerce sobre ella. Esta fuerza genera tensiones en la roca circundante al punto de contacto, las cuales aumentan conforme se incrementa la carga. El material directamente debajo del botón se pulveriza (produciendo polvo de perforación), mientras que en las cercanías del inserto se crea una zona triturada. Si el botón está diseñado con un ángulo de incidencia adecuado, la tensión aumenta progresivamente hasta que la roca se quiebra y se fragmenta en trozos. En ese momento, la carga detrás del inserto desaparece temporalmente, ya que el contacto entre el botón y la roca se reduce o cesa por completo. No obstante, la fuerza de avance o empuje permite que la broca siga penetrando, repitiendo rápidamente el ciclo de trituración. Con el aumento de la profundidad de penetración, también incrementa el tamaño de los fragmentos de roca, lo que conlleva a una mayor necesidad de fuerza para provocar la fractura.

3.2.4 Aceros de perforación

(INACAP, 2015) En la minería, la primera fase de las operaciones es la perforación, que implica taladrar las rocas. Estas perforaciones se realizan utilizando aceros de perforación, que son herramientas diseñadas específicamente para penetrar el material rocoso. Los aceros de perforación se fabrican con materiales altamente resistentes y se presentan en diversas formas y tamaños, dependiendo de las características del terreno y del tipo de operación minera. Su diseño permite optimizar el proceso de perforación, asegurando la eficacia en la fragmentación de la roca y contribuyendo al éxito de las siguientes etapas en el ciclo minero, los aceros constan de los siguientes componentes:

- Barras
- Brocas
- Coplas
- Barras adicionales.



Para realizar un trabajo de perforación eficiente, es esencial seleccionar correctamente los accesorios adecuados, considerando diversos factores técnicos y operativos que influyen en el desempeño y la rentabilidad del proceso. Entre los aspectos clave a evaluar en la selección de los componentes de perforación se incluyen el diámetro y la longitud de los barrenos, la estructura y resistencia de las rocas, así como su abrasividad, ya que estas características determinan la durabilidad y eficiencia de los accesorios utilizados. Además, es crucial considerar el tamaño y la potencia de la perforadora, ya que estos parámetros influyen directamente en la velocidad y precisión del proceso. Asimismo, la experiencia previa en operaciones similares puede proporcionar información valiosa para la elección óptima de los accesorios.

En cuanto a los materiales empleados en las herramientas de perforación, se utilizan compuestos de alta resistencia y durabilidad, como el diamante, el nitruro de boro, los cerámicos, el carburo de tungsteno, diversos materiales duros y los aceros rápidos, cada uno de los cuales ofrece propiedades específicas en términos de dureza, resistencia al desgaste y capacidad de corte, asegurando así una mayor eficiencia y productividad en las operaciones de perforación.

3.2.4.1 Broca de botones

(TAISHAN, 2012) En su página se indica que las brocas de perforación están fabricadas con barras de acero de alta calidad y aleaciones especiales, además de incorporar carburos de tungsteno, lo que les otorga una gran resistencia y durabilidad. Estas brocas personalizadas están diseñadas para perforar diversos tipos de rocas, incluyendo rocas blandas, piedra medianamente suelta y piedra dura, permitiendo una mayor eficiencia en diferentes condiciones geológicas. Entre los modelos más utilizados en el proceso de perforación se encuentran las brocas de botones, las cuales destacan por su versatilidad y alto rendimiento. Estas brocas están disponibles en tres diseños principales, adaptados a distintas necesidades

operativas y tipos de terreno, garantizando un mayor control, precisión y productividad en las labores de perforación.



FUENTE: TAISHAN 2012, Taishan Rock Tools

Figura 2 — Broca de botones

De acuerdo a las condiciones geomecánicas del macizo roco de marsa, la broca adecuada para los trabajos de perforación es la CAPP 52, por temas de económicos y de eficiencia.

3.2.5 Análisis de costos.

De acuerdo con (RIQUELME, 2022) En su publicación, indica que el análisis de costos es una herramienta fundamental dentro de la Contabilidad de Gestión, ya que permite evaluar, controlar y optimizar los gastos asociados a la producción y operación de una empresa. Su propósito es proporcionar información detallada que facilite la toma de decisiones estratégicas, permitiendo a la gerencia mejorar la eficiencia operativa y maximizar la rentabilidad.

A diferencia de la Contabilidad Financiera, que se enfoca en la presentación de informes para agentes externos y sigue el Plan General Contable, la Contabilidad de Gestión abarca el control presupuestario, el análisis de costos y la contabilidad de costos. Su objetivo es calcular con precisión los costos generales de producción y operación, lo que permite una mejor planificación y control de recursos.

En el análisis de costos, es clave la clasificación entre costos directos e indirectos. Los costos directos son aquellos que pueden asignarse



específicamente a un producto o servicio, mientras que los costos indirectos son compartidos entre varios productos o procesos y requieren métodos de asignación. Determinar correctamente estos costos es esencial para establecer precios de venta competitivos y rentables.

En definitiva, la Contabilidad de Gestión y el análisis de costos son disciplinas complementarias que brindan información clave para la toma de decisiones. Comprender y gestionar los costos de manera eficiente permite a las empresas mejorar su rentabilidad, optimizar el uso de recursos y fortalecer su posición en el mercado.

La cantidad de gastos que se dan lugar a un costo, son:

- Aquellos que de alguna manera forman parte de la actividad habitual y propia de la empresa.
- Aquellos que están estrechamente vinculados a la actividad productiva.
- Aquellos que son ineludibles para el desarrollo de la actividad productiva.

Para obtener el costeo de un producto o servicio específico, es fundamental comenzar con la clasificación de los costos. En este proceso, es crucial aplicar los criterios y definiciones relacionados con los costos directos e indirectos. Los costos directos son aquellos que pueden ser asignados de manera directa y clara a un producto o servicio, como las materias primas y la mano de obra directa. Por otro lado, los costos indirectos son aquellos que no se pueden asignar directamente a un producto, como los gastos generales de administración y los costos de mantenimiento. Esta clasificación permite a las empresas tener una visión más clara de los costos involucrados, facilitando así la toma de decisiones en cuanto a precios y rentabilidad.

3.2.5.1 Costos directos.

De acuerdo con RIQUELME (2017) En su publicación, se definen los costos directos como aquellos que están directamente relacionados con la producción de un producto, sin necesidad de realizar ningún tipo de distribución o prorrateo. Estos costos permiten establecer mecanismos de control que proporcionan una visión precisa sobre la



cantidad que representa el costo del producto o servicio. Comúnmente, se les conoce como costos de producción, ya que son esenciales para calcular el gasto real asociado a la fabricación y comercialización de un bien

Ejemplos de costos directos:

Las Materias Primas Directas son los recursos materiales que se incorporan en el proceso de producción, transformándose total o parcialmente para generar el Producto Final. Por ejemplo, incluyen la harina utilizada para hacer pan, la tela empleada en la confección de ropa, el oro destinado a la fabricación de anillos y la madera utilizada para crear muebles, entre otros.

Los Materiales Directos son bienes transformados que, aunque no forman parte del producto final, se comercializan junto a él. Ejemplos de estos materiales incluyen envases, envolturas, etiquetas y cajas de embalaje, así como accesorios y repuestos.

Por otro lado, la Mano de Obra Directa se refiere a la fuerza laboral utilizada para convertir la materia prima en el producto final. Esto incluye los salarios de los obreros, beneficios sociales, aportes a la seguridad social, así como primas por horas extra y bonos destinados a incentivar la productividad.

3.2.5.2 Costos indirectos.

Los costos indirectos son aquellos que, aunque se generan durante el proceso de producción, no pueden asignarse directamente al producto final. Debido a que son compartidos por varios productos o procesos, requieren un criterio de distribución para su correcta asignación dentro de los costos totales de producción. Estos costos también son conocidos como gastos de fabricación y juegan un papel fundamental en la estructura financiera de una empresa.

Entre los principales costos indirectos se encuentran:

- **Costos Indirectos de Producción:** Incluyen todos los gastos necesarios para el proceso productivo, como costos de aprovisionamiento, fabricación y mantenimiento de maquinaria.
- **Mano de Obra Indirecta:** Comprende los salarios y beneficios de supervisores, jefes de producción y gerentes de planta, así como costos asociados a seguridad social, pagos por horas extras y bonos por productividad.
- **Materiales Indirectos:** Son insumos que no forman parte del producto final, pero que resultan esenciales para la operación, como lubricantes, aceites, herramientas, útiles de limpieza y materiales de mantenimiento.
- **Elementos Físicos:** Incluyen los insumos requeridos para el funcionamiento de la planta, tales como energía eléctrica, agua, aire comprimido y refrigerantes.
- **Costos Indirectos Generales:** Se refieren a aquellos costos que, aunque no son esenciales para la producción, afectan el costo total del período productivo. Ejemplos incluyen gastos administrativos, costos de promoción, patentes, costos financieros y otros gastos operativos. Estos costos se evalúan al final del período y, en términos generales, no deben superar el 10% del costo directo para garantizar la rentabilidad del proceso.

3.3 Definición de términos.

- **Perforación y voladura**

La técnica de perforación y voladura es un método ampliamente utilizado en minería y construcción para extraer roca en terrenos donde los métodos mecánicos no son económicamente viables. Este proceso consiste en perforar la roca para insertar explosivos, los cuales, al detonar, fragmentan el macizo rocoso de manera controlada, facilitando la excavación y el transporte de grandes volúmenes de material. Su aplicación es esencial en proyectos de movimiento de tierras donde la excavación mecánica no resulta eficiente. (BERNAOLA, Y OTROS, 2013)



- **Perforación.**

La perforación es el primer paso en el proceso de voladura y consiste en realizar agujeros en la roca para alojar los explosivos y los mecanismos de iniciación. La correcta ejecución de esta fase es crucial, ya que influye directamente en la fragmentación deseada del macizo rocoso, optimizando la extracción del material. (LOZANO, 2012)

- **Voladura**

La voladura es el procedimiento mediante el cual se emplean explosivos para fragmentar materiales duros, como rocas o concreto. Al detonar, los explosivos liberan energía de manera rápida, lo que provoca la fractura del material en fragmentos más pequeños, facilitando su manejo y extracción. (LÓPEZ, 2004)

- **Espaciamiento.**

El espaciamiento se refiere a la distancia entre los agujeros perforados en la roca, diseñados para contener los explosivos. Su correcta distribución en la malla de perforación garantiza una fragmentación uniforme y controlada, optimizando la propagación de la energía explosiva y mejorando la eficiencia de la voladura. (CHIPAN, 2015)

- **Burden:**

El burden es la distancia más corta entre un agujero perforado y la cara libre de la roca. Es un parámetro clave en el diseño de voladuras, ya que influye en la eficiencia de la fragmentación. Su configuración se determina según factores como el tipo de roca, el diámetro del taladro y la potencia del explosivo utilizado, asegurando una distribución óptima de la energía explosiva para evitar sobre rotura o fragmentación insuficiente. (LARA, 2013)

- **Cara libre o taladro de alivio.**

El taladro de alivio tiene la función de mejorar la fragmentación de la roca al servir como punto de escape para las ondas de choque generadas por la explosión. Estos taladros adicionales permiten que la energía se disipe de manera más uniforme, reduciendo la presión en la zona de voladura y evitando sobrecargas en la cara libre. Esta técnica contribuye a una excavación más eficiente y minimiza daños estructurales en el entorno. (LARA, 2013)



- **Paralelismo:**

El paralelismo en la perforación minera se refiere a la alineación uniforme y recta de los taladros dentro de un área específica. Mantener una correcta alineación es crucial para garantizar que la energía de los explosivos se distribuya de manera homogénea, logrando una fragmentación controlada y evitando irregularidades en la excavación. (CHIPAN, 2015)

- **Costos.**

Los costos desempeñan un papel fundamental en cualquier actividad productiva, incluyendo la minería y la metalurgia. Un análisis preciso de los costos permite evaluar la rentabilidad de una operación, identificar áreas de mejora y optimizar procesos para maximizar la eficiencia. Además, el control de costos es clave para la competitividad en el mercado, permitiendo una adecuada planificación de inversiones y gestión de recursos. (CIRO, 2014)

- **Optimización.**

La optimización tiene como objetivo mejorar los procesos y la utilización de recursos para alcanzar los mejores resultados posibles. Este enfoque se basa en el análisis y ajuste de distintos factores operativos con el fin de aumentar la eficiencia, reducir costos y maximizar el rendimiento. La implementación de técnicas de optimización permite detectar oportunidades de mejora, solucionar problemas y garantizar el cumplimiento de los objetivos de manera más efectiva, haciendo que las operaciones sean más rentables y sostenibles. (GUERRA, 2015)

CAPITULO IV

DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y diseño de la investigación

4.1.1 Tipo de investigación.

De acuerdo con (HERNANDEZ, 2014) El tipo de investigación para el proyecto "Evaluación y selección de aceros de perforación para la reducción de costos de consumo de brocas, en el tajo 559 – subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. - 2024" sería una investigación tipo explicativa y cuantitativa.

- Explicativa: Porque trata de identificar y analizar las causas y efectos entre el tipo de acero seleccionado y los costos de consumo de brocas; buscando entender cómo las propiedades del acero pueden influir en el rendimiento y en los costos (ARIAS, 2012).
- Cuantitativa: Debido a que se enfocará en datos medibles, como la durabilidad de las brocas, la frecuencia de reposición, y el impacto en los costos, permitiendo realizar análisis numéricos y estadísticos para validar los resultados.

4.1.2 Diseño de la investigación.

De acuerdo con (M, 1997) El diseño de investigación para este trabajo de tesis es aplicada, porque permitirá identificar y seleccionar los tipos de acero de perforación que optimicen el consumo de brocas, enfocándose en la reducción de costos operativos. Esta investigación se centrará en datos cuantitativos para evaluar la durabilidad y eficiencia de diferentes aceros en condiciones reales, buscando una mejora directa en los procesos y en los costos asociados a la perforación en el tajo específico.

4.2 Población y muestra

4.2.1 Población

El universo poblacional está conformado por las operaciones de la Minera Aurífera Retamas S.A., en los tajos de sus diferentes niveles.

4.2.2 Muestra

Como muestra se toma de forma intencionada al tajo 559 - subnivel 2746N. Se considera muestra intencionada por experiencia y por qué no se cuenta con una nube de datos que requieran un muestreo probabilístico.

4.3 Procedimiento de la investigación

El procedimiento de la investigación comenzará con la identificación y selección de distintos tipos de acero de perforación utilizados en el tajo 559 Subnivel 2746N. Luego, se realizarán pruebas de perforación bajo condiciones controladas para medir la durabilidad, resistencia y consumo de brocas asociado a cada tipo de acero. Los datos obtenidos serán analizados estadísticamente para evaluar el rendimiento de cada acero en términos de costo-beneficio. Finalmente, se compararán los resultados para identificar el acero de perforación más eficiente y de menor costo, y se propondrán recomendaciones para su implementación en la operación minera.

4.4 Material de investigación

El material de investigación incluirá:

- Muestras de Aceros de Perforación: Diferentes tipos de acero seleccionados para evaluar sus propiedades mecánicas, como la dureza y la resistencia al desgaste.
- Brocas de Perforación: Brocas utilizadas en el tajo 559 - Subnivel 2746N para realizar las pruebas de perforación y medir su rendimiento con cada tipo de acero.
- Equipos de Perforación: Herramientas y maquinaria específicas empleadas para llevar a cabo las pruebas de perforación en condiciones controladas.
- Instrumentos de Medición: Dispositivos para medir la duración de las brocas, la profundidad de perforación, la velocidad de penetración y otros parámetros relevantes.
- Documentación Técnica: Información sobre especificaciones de los aceros, características de las brocas y datos históricos de costos operativos en la operación del tajo.



4.5 Plan de tratamiento de datos

El plan de tratamiento de datos, incluirá la recolección sistemática de información a través de las pruebas de perforación realizadas con diferentes tipos de acero, registrando parámetros como la durabilidad de las brocas, la velocidad de perforación y el consumo de materiales. Los datos serán organizados en hojas de cálculo para facilitar su análisis, y se aplicarán técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales para comparar el rendimiento de los aceros y su impacto en los costos operativos. Finalmente, se elaborarán gráficos y tablas que visualizarán las relaciones entre las variables estudiadas, permitiendo una interpretación clara de los resultados y la formulación de conclusiones y recomendaciones fundamentadas para la selección óptima de aceros de perforación



CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

5.1.1 Estudios Geomecánicos MARSA

La información geomecánica utilizada en este estudio, fue proporcionada por el Departamento de Geomecánica de la Minera Marsa, que se encarga de realizar los análisis y estudios pertinentes sobre las condiciones geotécnicas de la mina.

La caracterización geomecánica del macizo rocoso se ha llevado a cabo mediante el levantamiento geomecánico realizado en los diversos afloramientos rocosos expuestos en las excavaciones internas de la mina. Esta información ha sido proporcionada por el Departamento de Geomecánica de la Minera Marsa, que se encarga de los estudios y análisis geotécnicos en las instalaciones mineras (MINERA MARSA, 2023).

a) Registro de datos:

La recopilación de la información geomecánica se llevó a cabo mediante un exhaustivo mapeo geomecánico de la masa rocosa, expuesta en las labores subterráneas de la mina. Este mapeo se realizó utilizando el método directo por celdas de detalle, una técnica ampliamente empleada en estudios geomecánicos; debido a su precisión y capacidad para identificar y clasificar las condiciones del macizo rocoso con un alto nivel de detalle. El proceso consistió en la inspección y medición de las características físicas y mecánicas de las rocas en los diferentes puntos de exposición, como fracturas, discontinuidades, fisuras, y la orientación de las estructuras geológicas presentes en el macizo rocoso.

El método directo por celdas de detalle, se basa en dividir el área de estudio en pequeñas unidades o "celdas", lo que permite un análisis pormenorizado de cada sección del macizo rocoso. Cada celda se caracteriza por una observación minuciosa de parámetros clave como, el tipo de roca, la densidad de fracturas, la resistencia a la compresión, la cohesión y el ángulo

de fricción. Esta información es esencial para determinar el comportamiento del macizo rocoso en condiciones de carga y esfuerzo, lo que influye en la estabilidad de las excavaciones y en la planificación de las operaciones mineras a largo plazo.

b) Aspectos litológicos:

En la zona de estudio, las vetas mineralizadas se encuentran principalmente en el intrusivo del batolito de Pataz, que está compuesto principalmente por tonalitas con características porfíricas, así como tonalitas simples y microdioritas. Estas rocas se consideran un control litológico favorable para la mineralización, dado que presentan una mayor tendencia a albergar y concentrar minerales valiosos. En cambio, se observa una menor presencia de rocas más ácidas, como las cuarzo-monzonitas y los granitos, lo que sugiere que las vetas están asociadas más estrechamente a las tonalitas y microdioritas en términos de ubicación geológica y mineralización.

A lo largo del tiempo, las rocas en el área han experimentado diversos procesos de alteración hidrotermal y supérgena, los cuales han modificado de manera significativa sus propiedades físicas y mecánicas. La alteración hidrotermal, impulsada por la circulación de fluidos calientes en el sistema rocoso, ha producido una variedad de transformaciones minerales, como la formación de arcillas, cuarzo y otros minerales secundarios, lo que ha reducido la resistencia y la cohesión de las rocas. Además, la alteración supérgena, causada por procesos de meteorización superficial y la interacción con el agua de lluvia y otros agentes externos, ha contribuido a la descomposición de los minerales originales, generando cambios en la textura y estructura de las rocas.

Estos procesos de alteración han influido de manera directa en las características geomecánicas del macizo rocoso, variando los niveles de estabilidad física y mecánica en diferentes áreas de la mina. Durante la explotación de las estructuras mineralizadas, estas alteraciones han afectado la resistencia y la cohesión de las rocas, lo que ha tenido un impacto en la estabilidad de las excavaciones y en la seguridad de las operaciones mineras. Las zonas más alteradas, por ejemplo, presentan una mayor susceptibilidad

a la deformación y la falla, lo que requiere un análisis detallado y la implementación de medidas adecuadas de soporte y estabilización en las labores subterráneas.

c) Distribución de las discontinuidades:

Los datos correspondientes a las discontinuidades rocosas fueron procesados mediante técnicas estereográficas avanzadas, utilizando programas especializados como DIPS y E. Hoek, desarrollados por el grupo de Ingeniería de Rocas del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Toronto - Canadá. Estas herramientas permitieron un análisis detallado de la orientación, densidad y características de las fracturas y otras discontinuidades presentes en el macizo rocoso, facilitando la comprensión de la estructura geomecánica en el área de estudio.

Además, se llevó a cabo una interpretación exhaustiva de los datos estructurales obtenidos de los mapeos realizados tanto en los afloramientos rocosos como en las labores mineras. Estos mapeos geomecánicos fueron compilados y gestionados a través del Sistema Integrado de MARSAs (SIM), lo que permitió centralizar la información y hacerla accesible para el análisis y toma de decisiones. Este sistema integrado contribuyó a la organización eficiente de los datos geotécnicos y estructurales, permitiendo una interpretación más precisa y un modelo geomecánico más confiable.

En cuanto a los resultados obtenidos, se presenta un resumen detallado sobre las estructuras mayores y menores identificadas en el área de estudio, incluyendo un análisis estadístico de la distribución y características de las discontinuidades. Este análisis ha proporcionado una visión clara sobre los patrones de fracturación y la influencia de las estructuras geológicas en la estabilidad del macizo rocoso.

Particularmente, se realizó un análisis pormenorizado de los dominios estructurales menores asociados a las principales vetas mineralizadas, tales como la veta AA, BB, Cabana, Cachaco, Daniela, Esperanza, Shakira y Valeria. Estos dominios, que juegan un papel clave en la mineralización, fueron analizados para evaluar su impacto en la estabilidad y en el diseño de las excavaciones mineras, identificando posibles zonas de riesgo y



facilitando la planificación de medidas de soporte y estabilización adecuadas.

Tabla 3 — Sistema de discontinuidades estructuras menores (sistema de diaclasas). Dirección de buzamiento / buzamiento.

Dominio Estructural	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Veta BB	278/71	239/60	43/85	239/69
Veta Cabana	160/81	255/78	198/79	57/29
Veta Cachaco	265/81	245/64	201/74	235/25
Veta Daniela	156/86	242/61	68/18	207/68
Veta Esperanza	74/83	257/57		
Veta Shakira	28/53	209/82	102/16	
Veta Valeria	152/79	242/86	87/6	
Compósito	156/78	257/77	71/16	203/73
FUENTE: Departamento de Geomecánica Mina MARSA				

Este conjunto de datos, revela las orientaciones y ángulos de inclinación de los planos de discontinuidad para cada una de las vetas principales, lo que permite identificar los sistemas de fracturación predominantes y su posible interacción con la mineralización. El análisis de estos sistemas es crucial para entender las condiciones geomecánicas del macizo rocoso y evaluar su comportamiento bajo las condiciones de explotación.

Por ejemplo, se observa que la Veta AA tiene una fuerte inclinación en el Sistema 1 (157/76), mientras que la Veta BB muestra una combinación más variada de orientaciones en sus sistemas estructurales, lo que puede indicar una mayor complejidad en las fracturas y, por lo tanto, en el comportamiento geomecánico de esa zona. Del mismo modo, la Veta Cabana muestra una inclinación pronunciada en el Sistema 1 (160/81) y una diferente orientación en el Sistema 3 (198/79), lo que sugiere variabilidad en la geometría de las fracturas a lo largo de la veta.

En términos de estabilidad geomecánica, estos datos son fundamentales para predecir posibles problemas de estabilidad en las excavaciones, como la inclinación de las estructuras mineralizadas y la presencia de fracturas que puedan afectar la seguridad de las labores mineras. A través de un análisis

estadístico y la integración de estos datos en un modelo geomecánico, se pueden diseñar estrategias de soporte adecuadas y optimizar los métodos de explotación.

Tabla 4 — Sistema de discontinuidades estructuras mayores compósito de fallas

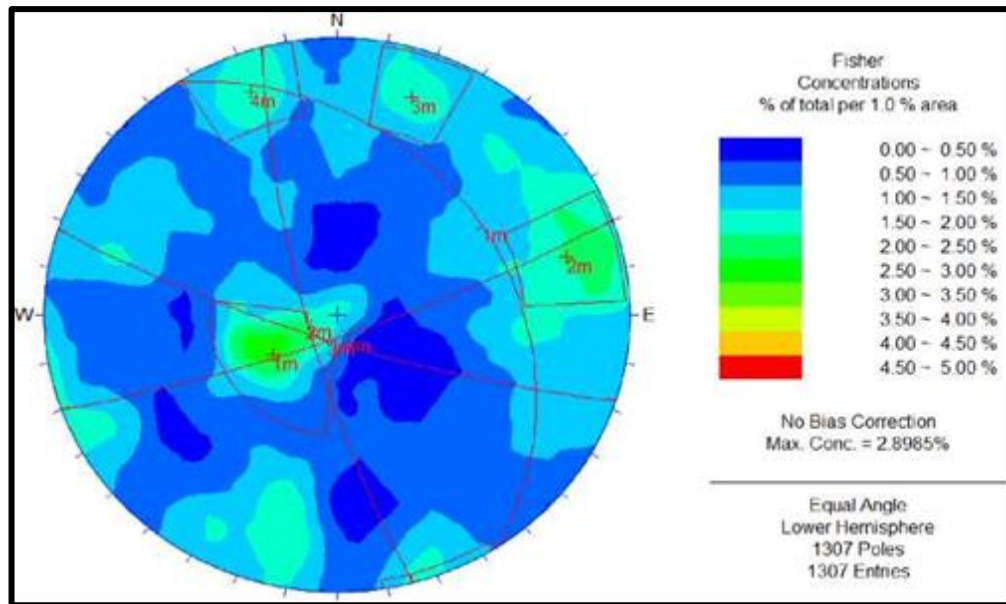
Descripción	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Dirección de Buz/Buz	71/23	248/79	113/73
Rumbo / Buzamiento	N19°W / 23°NE	N22°W / 79° SW	N23°E / 73°SE
FUENTE: Departamento de Geomecánica Mina MARSA.			

Sistema 1: El primer sistema estructural tiene una dirección de buzamiento de 71° y un buzamiento de 23° hacia el noreste (NE). El rumbo de la discontinuidad se orienta hacia el N19°W, con un buzamiento de 23° hacia el noreste (NE), lo que sugiere que las fracturas en este sistema tienen una inclinación moderada y están orientadas en una dirección relativamente este-oeste. Este sistema podría representar una fractura principal de control de la mineralización, lo que requeriría especial atención en su caracterización para evaluar la estabilidad de las excavaciones.

Sistema 2: El segundo sistema tiene una dirección de buzamiento de 248° y un buzamiento de 79° hacia el suroeste (SW), lo que indica un plano de discontinuidad muy inclinado. El rumbo se orienta hacia N22°W, con un buzamiento de 79° hacia el suroeste (SW), lo que sugiere una fractura casi vertical. Este sistema podría tener un impacto importante en la estabilidad de las estructuras mineras si las fracturas asociadas están bien desarrolladas, dado su alto ángulo de inclinación.

Sistema 3: El tercer sistema estructural presenta una dirección de buzamiento de 113° y un buzamiento de 73° hacia el sureste (SE), con un rumbo orientado hacia N23°E y un buzamiento de 73° hacia el sureste (SE). Este sistema también tiene una inclinación bastante pronunciada, lo que puede generar riesgos de inestabilidad si las fracturas asociadas se encuentran en áreas críticas de la mina. La orientación hacia el sureste sugiere que este sistema podría estar relacionado con zonas de mineralización o alteración hidrotermal.





FUENTE: Departamento de Geomecánica Mina MARSÁ.

Figura 3 — Contorneo estadístico de la concentración de polos del compuesto de estructuras menores asociadas al dominio estructural veta Cabana (1.5 % del área de la superficie del hemisferio)

La figura 2 representa un diagrama de densidad de polos en proyección estereográfica (hemisferio inferior), que es una herramienta clave en el análisis estructural.

Elementos claves de la figura:

A. Mapa de contornos de densidad:

- Se observa una escala de colores que va de azul oscuro a rojo, indicando la concentración relativa de polos en diferentes regiones de la proyección.
- Las zonas de mayor densidad de polos aparecen en colores cálidos (verde a rojo), lo que sugiere una acumulación de planos con orientaciones similares.
- En este caso, el valor máximo de concentración es 2.8985%, lo que indica que no hay una orientación extremadamente dominante, sino una distribución más dispersa.

B. Leyenda y escala de concentración:

- La escala de color a la derecha muestra que la concentración de polos varía entre 0.00% y 5.00% por unidad de área.

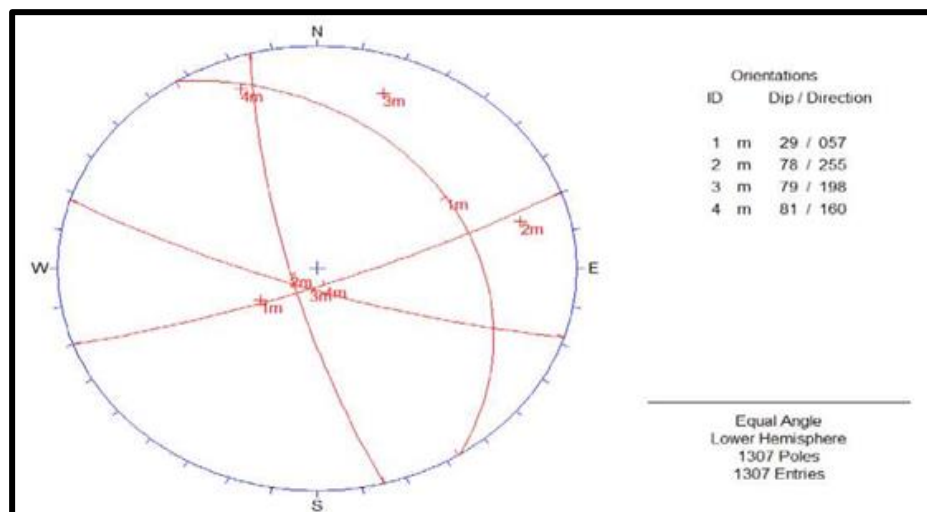


- Los valores más bajos (azul oscuro) representan regiones con menor densidad de polos, mientras que los valores más altos (verde-amarillo) indican zonas donde las estructuras tienen una orientación más frecuente.

C. Distribución de polos y estructuras menores:

- Se han analizado 1307 polos, lo que significa que esta figura es el resultado de un muestreo estructural extenso en el dominio de la veta Cabana.
- La presencia de líneas rojas y anotaciones como +1m, +2m, etc. puede estar relacionada con tendencias estructurales importantes, posiblemente pliegues o direcciones preferenciales de fallas.

v



FUENTE: Departamento de Geomecánica Mina MARSA.

Figura 4 — Representación de los planos principales del compuesto de estructuras menores, asociados al dominio estructural de la veta Cabana.

Esta figura 3 muestra una proyección estereográfica (hemisferio inferior) con la representación de los planos principales dentro del dominio estructural de la veta Cabana.

Elementos claves de la figura:

A. Proyección estereográfica

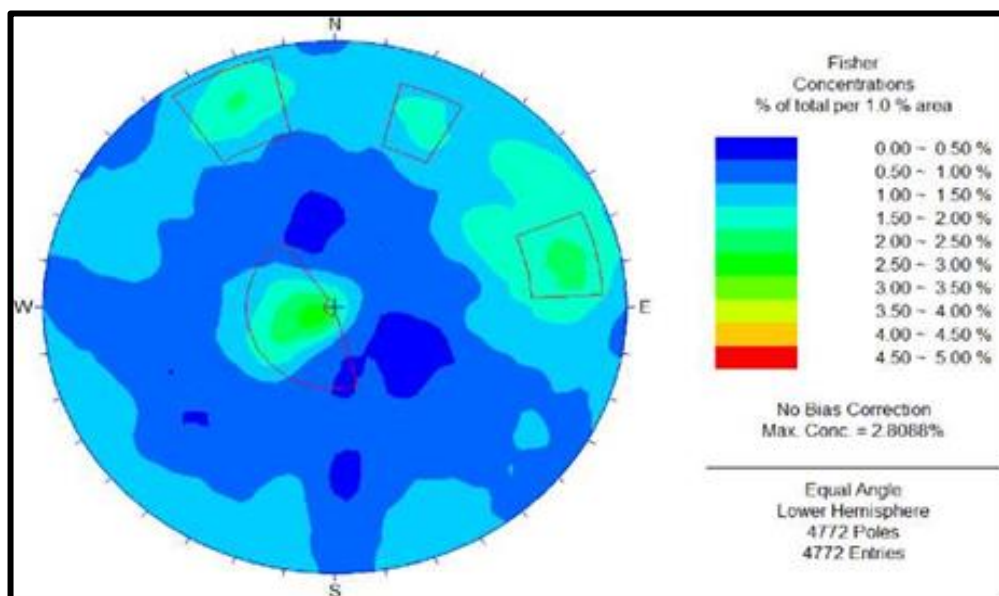
- Se trata de una proyección en ángulo igual que representa las orientaciones de estructuras menores en el hemisferio inferior.
- Las líneas rojas representan planos principales, mientras que el centro de la figura (+) indica la orientación de referencia.

B. Orientaciones principales

- En la parte derecha se listan los cuatro planos estructurales principales con sus respectivas inclinaciones (Dip) y direcciones (Direction):
 - **Plano 1:** $29^{\circ}/057^{\circ}29^{\circ}$ / $057^{\circ}29^{\circ}/057^{\circ}$
 - **Plano 2:** $78^{\circ}/255^{\circ}78^{\circ}$ / $255^{\circ}78^{\circ}/255^{\circ}$
 - **Plano 3:** $79^{\circ}/198^{\circ}79^{\circ}$ / $198^{\circ}79^{\circ}/198^{\circ}$
 - **Plano 4:** $81^{\circ}/160^{\circ}81^{\circ}$ / $160^{\circ}81^{\circ}/160^{\circ}$
- Estas orientaciones sugieren la presencia de fallas, planos de foliación o estructuras de deformación en la veta Cabana.
- La alta inclinación en los planos 3 y 4 ($79^{\circ}-81^{\circ}79^{\circ}$ - $81^{\circ}79^{\circ}-81^{\circ}$) indica estructuras prácticamente verticales, posiblemente fracturas o vetas subparalelas.

C. Distribución de datos

- Se han analizado 1307 polos, lo que indica un muestreo estructural considerable.
- Las anotaciones como +1m, +2m, etc. pueden representar medidas de desplazamiento, pliegues o jerarquización de estructuras.



FUENTE: Departamento de Geomecánica Mina MARSA.

Figura 5 — Contorneo estadístico de la concentración de polos del compuesto de estructuras menores (1.5 - 2% del área de la superficie del hemisferio)

Esta figura representa una proyección estereográfica en hemisferio inferior, mostrando la distribución estadística de la concentración de polos en el dominio estructural evaluado.

Elementos claves de la figura:

A. Mapa de densidad de polos

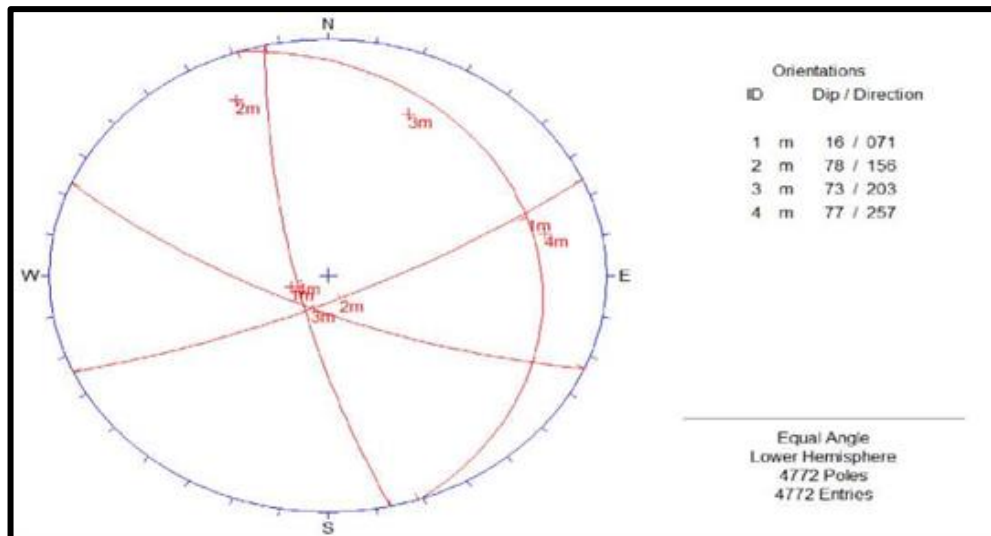
- La figura muestra un contorno estadístico, donde la escala de colores indica la concentración relativa de polos.
- Zonas en azul oscuro representan áreas con baja concentración de polos ($< 0.5\%$).
- Zonas en verde y amarillo indican concentraciones intermedias ($2\% - 3.5\%$).
- Zonas en rojo (si estuvieran presentes) representarían las máximas concentraciones ($4.5\% - 5\%$).
- La concentración máxima observada en esta figura es de 2.8088% , lo que indica una distribución dispersa de estructuras menores.

B. Número de datos analizados

- Se han analizado 4772 polos, lo que implica una base de datos amplia y representativa de las estructuras menores del dominio estructural.
- Esto sugiere que se realizó un muestreo detallado en la zona de estudio.

C. Estructuras destacadas

- Se observan concentraciones localizadas de polos, lo que puede indicar la existencia de familias de fracturas, planos de falla o estructuras de deformación dentro del área analizada.
- En el centro de la proyección se observa una zona de mayor densidad, lo que podría estar relacionado con una orientación estructural predominante en la zona.



FUENTE: Departamento de Geomecánica Mina MARSÁ.

Figura 6 — Representación de los planos principales del compuesto de estructuras menores.

Esta figura muestra una proyección estereográfica en hemisferio inferior, donde se han trazado los planos principales de las estructuras menores dentro del dominio estudiado.

Elementos claves de la figura:

A. Planos principales representados

- Se han identificado cuatro planos principales, cada uno con su rumbo e inclinación especificados en la tabla de la derecha.
- Estos planos pueden corresponder a fracturas, fallas menores o planos de foliación, dependiendo del contexto geológico del área.

B. Orientaciones estructurales

- La tabla muestra los valores de buzamiento (dip) y rumbo (direction) para cada plano:
 - **Plano 1:** 16° / 071°
 - **Plano 2:** 78° / 156°
 - **Plano 3:** 73° / 203°
 - **Plano 4:** 77° / 257°
- La distribución de estos planos sugiere la existencia de un patrón estructural bien definido, con algunas orientaciones dominantes que podrían estar controlando la geometría del sistema de fracturas.

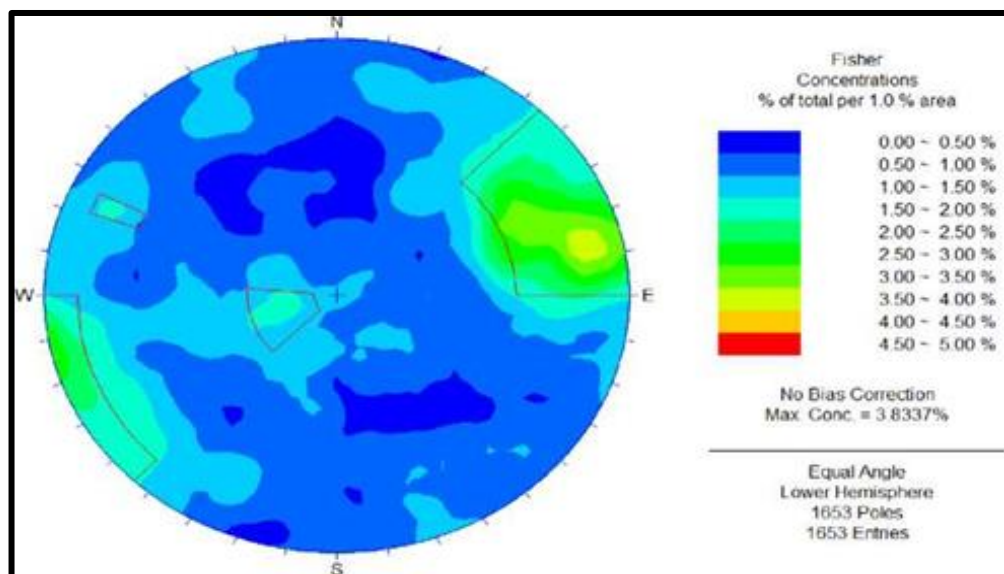
C. Número de datos analizados

- Se han procesado 4772 polos, lo que indica una base de datos sólida para caracterizar las estructuras del área.
- Este número significativo de entradas permite obtener una interpretación confiable sobre la distribución de los planos estructurales.

Interpretación geológica

La presencia de planos con altos ángulos de buzamiento ($73^\circ - 78^\circ$) sugiere que algunas de estas estructuras pueden corresponder a fracturas subverticales o fallas de alto ángulo, las cuales pueden influir en la estabilidad geotécnica de la zona.

La variabilidad en los rumbos sugiere la posible existencia de diferentes familias de fracturas, lo que puede ser clave para evaluar la orientación del esfuerzo principal en el área y su impacto en la explotación minera.



FUENTE: Departamento de Geomecánica Mina MARSÁ.

Figura 7 — Contorneo estadístico de la concentración de polos del compuesto de fallas (2% del área de la superficie del hemisferio)

Esta imagen representa una proyección estereográfica en hemisferio inferior, utilizada para analizar la distribución de polos correspondientes a estructuras de fallas dentro del área de estudio.

Elementos claves de la figura:

A. Distribución de polos y concentraciones

- La figura muestra la concentración estadística de polos en función de un mapa de colores.
- La escala de colores a la derecha indica el porcentaje de polos en cada área, con tonos de azul representando concentraciones bajas y tonos de verde a rojo representando mayores concentraciones.
- La máxima concentración de polos alcanzada es 3.8337%, lo que indica que no hay una única orientación dominante, sino una distribución moderadamente dispersa.

B. Interpretación de la distribución de fallas

- Se observan zonas de mayor concentración en las regiones este y oeste, lo que sugiere la presencia de familias principales de fallas con orientaciones similares.
- Esto podría indicar que el sistema de fallas en el área tiene una direccionalidad preferencial, lo que es clave para evaluar el comportamiento estructural del macizo rocoso.

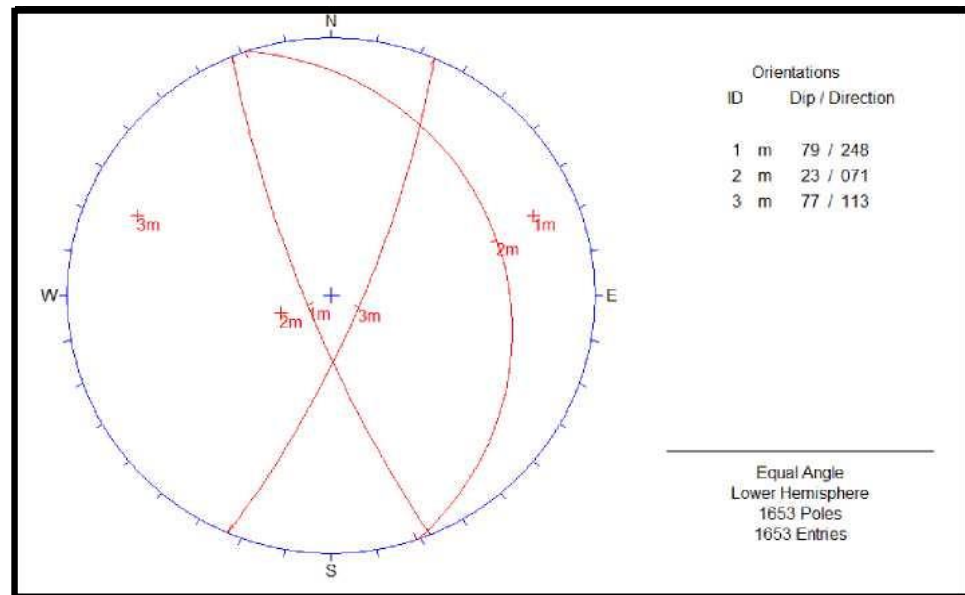
C. Número de datos analizados

- Se han procesado 1653 polos, lo que proporciona una base de datos suficiente para obtener una caracterización confiable de la distribución de fallas.

Interpretación geológica

La presencia de zonas de concentración de polos sugiere que ciertas fallas dentro del dominio estructural tienen una orientación preferencial, lo que puede influir en la estabilidad geotécnica y la propagación de esfuerzos dentro del macizo rocoso.

La distribución relativamente dispersa podría indicar que el sistema de fallas ha sido influenciado por múltiples fases tectónicas, generando una variedad de orientaciones.



FUENTE: Departamento de Geomecánica Mina MARSA.

Figura 8 — Representación de los planos principales del compuesto de fallas

Esta figura 8 muestra una proyección estereográfica en hemisferio inferior, utilizada para representar los planos estructurales principales asociados a un sistema de fallas dentro del área de estudio.

Elementos claves de la figura:

A. Orientaciones principales de los planos de falla

- La tabla en la parte derecha presenta las orientaciones de inmersión y rumbo de los principales planos de falla identificados en la base de datos:
 - **Plano 1:** Buzamiento de 79° en dirección 248° .
 - **Plano 2:** Buzamiento de 23° en dirección 71° .
 - **Plano 3:** Buzamiento de 77° en dirección 113° .
- Estos valores sugieren la presencia de fallas con inclinaciones altas, lo que indica estructuras potencialmente relacionadas con un sistema de fallas normales o inversas con una componente significativa de desplazamiento vertical.

B. Representación gráfica de los planos

- Los planos están trazados en rojo, representando sus proyecciones dentro de la esfera inferior.
- Se observa que dos planos tienen buzamientos superiores a 75° , lo que indica fallas con inclinaciones pronunciadas, mientras que el segundo

plano tiene un buzamiento más bajo (23°), lo que podría indicar una estructura de menor inclinación, posiblemente relacionada con una falla de deslizamiento o una estructura de cizalla.

C. Cantidad de datos analizados

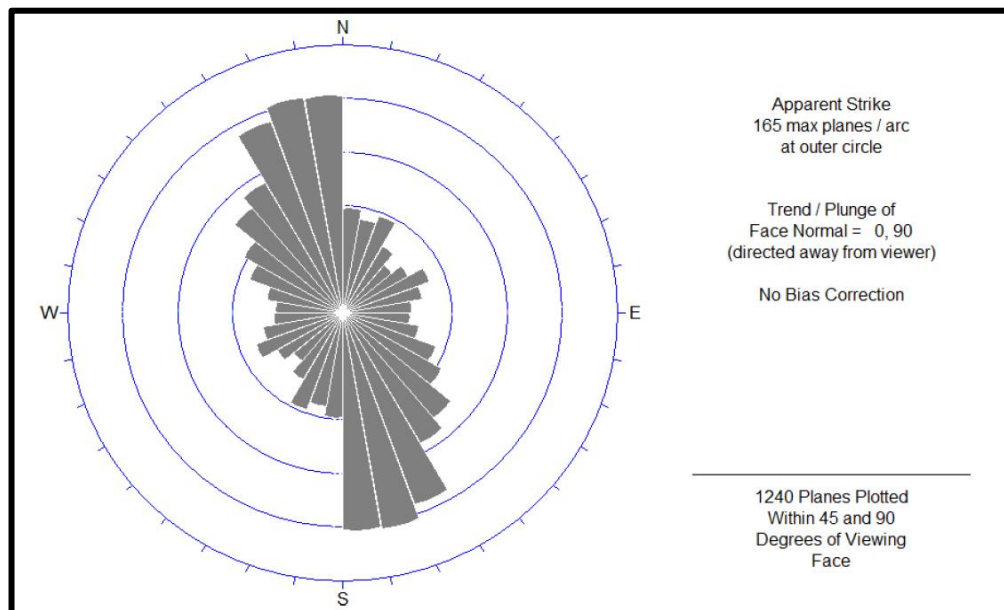
- Se han analizado 1653 polos, lo que proporciona una base de datos estructuralmente representativa para caracterizar el sistema de fallas.

Interpretación geológica

La disposición de estos planos de falla indica un sistema estructural que podría estar controlando la estabilidad del macizo rocoso en el área de estudio.

Las fallas con buzamientos altos pueden representar fracturas profundas y bien desarrolladas, lo que influye en la propagación de esfuerzos y en la planificación de excavaciones mineras.

La presencia de una falla con buzamiento bajo podría indicar una estructura secundaria o una zona de deslizamiento controlada por esfuerzos tectónicos .



FUENTE: Departamento de Geomecánica Mina MARSÁ.

Figura 9 — Diagramas de rosetas del compuesto de fallas

El diagrama de roseta es una herramienta utilizada en geología estructural para representar la orientación de fallas, fracturas o planos estructurales. En este caso, la figura muestra la distribución de las trazas de falla dentro del área de estudio, proporcionando información clave sobre las direcciones predominantes del sistema estructural.



Elementos claves de la figura:

A. Distribución de direcciones de las fallas

- Las barras grises representan la frecuencia de las orientaciones de los planos de falla.
- Se observa una tendencia clara con una fuerte concentración de planos alineados en una dirección principal.
- La mayoría de las estructuras tienen una orientación cercana al eje N-S, lo que sugiere un control estructural regional con una dirección dominante.

B. Máxima densidad de planos

- En la parte superior derecha, se menciona que el máximo de planos es de 165 por arco en el círculo exterior.
- Esto indica que hay una concentración significativa de estructuras en direcciones preferenciales, lo que sugiere la existencia de fallas principales bien definidas.

C. Normal del plano de observación

- El texto indica que la tendencia y plunge de la normal de la cara es 0, 90, lo que significa que la vista está proyectada directamente hacia abajo, perpendicular a la superficie observada.
- Esto permite una visualización clara de las tendencias estructurales sin sesgo direccional.

D. Cantidad de datos analizados

- Se han representado 1240 planos dentro de un ángulo de visualización entre 45° y 90°.
- Esto sugiere que la muestra de datos es robusta y permite una interpretación confiable del sistema de fallas.

Interpretación geológica

La fuerte alineación de las fallas en una dirección específica indica una posible influencia tectónica regional que ha controlado la fracturación del macizo rocoso.

Esta información es útil para determinar zonas de debilidad estructural, las cuales pueden afectar la estabilidad de taludes, excavaciones subterráneas y planificación minera.



La concentración de estructuras en una dirección sugiere la presencia de fallas principales bien definidas, que pueden influir en la hidrogeología y en la distribución de esfuerzos en la zona de estudio.

Se han clasificado como discontinuidades mayores a las fallas, debido a su gran persistencia y las características desfavorables que presentan para la estabilidad del macizo rocoso. Por otro lado, las discontinuidades menores corresponden a los sistemas de diaclasas, que son fracturas que no han experimentado desplazamientos significativos o que, en su defecto, han tenido desplazamientos muy pequeños.

Según el análisis realizado, el patrón estructural de la masa rocosa en relación con las labores de minado de MARSA presenta las siguientes características:

Respecto a las estructuras mayores:

A partir del registro de datos en los afloramientos y las excavaciones subterráneas, se han identificado tres sistemas de fallas predominantes, determinados por la mayor concentración de polos.

- El Sistema 1 presenta un rumbo aproximadamente paralelo a las estructuras mineralizadas (NW - SE) y un buzamiento que varía entre 10° y 40° hacia el noreste (NE). Este sistema actuó como un canal para la deposición de la mineralización.
- El Sistema 2, también con rumbo NW - SE, muestra un buzamiento promedio de 79° hacia el suroeste (SW). Este sistema se encuentra casi paralelo al rumbo de las estructuras mineralizadas, y debido a su pronunciado buzamiento, se infiere que contribuyó a la formación de cuñas en el techo de las excavaciones. Se puede asociar este sistema con la Falla Chilcas.
- Finalmente, el Sistema 3 está orientado en dirección NE - SW, perpendicular a la mineralización. Es importante destacar que las variaciones en el rumbo y el buzamiento observados en estos sistemas son el resultado de los esfuerzos tensionales y compresionales, que generaron plegamientos y fallas en la región.



Respecto a las estructuras menores:

Se han identificado hasta cuatro sistemas de discontinuidades, junto con algunos sistemas aleatorios de menor relevancia. De estos, el sistema más representativo y que se encuentra en todos los dominios litológicos, tiene un rumbo NW-SE y un buzamiento promedio de 79° hacia el suroeste (SW).

- En el dominio estructural de la veta AA, se han identificado tres sistemas de discontinuidades. Según el arreglo estructural, estos podrían generar bloques de tipo tetraédrico, específicamente con forma de cuña.
- En el dominio estructural de la veta BB, se han definido cuatro sistemas de discontinuidades, los cuales tienden a formar cuñas sesgadas en los hastiales, dependiendo de la orientación de las excavaciones. Los sistemas observados muestran diferencias con respecto al compósito, salvo en el caso del sistema 2. Una situación similar se presenta en la veta Cabana.
- Para el dominio estructural de la veta Cachaco, los sistemas de discontinuidades definidos presentan un rumbo NE-SW y suman un total de cuatro, con ligeras variaciones tanto en el rumbo como en el buzamiento. Estas variaciones son atribuibles a los eventos tectónicos ocurridos en el yacimiento.
- En el dominio estructural de la veta Daniela, el comportamiento es muy similar al del compósito, mostrando una mayor fracturación en el macizo rocoso. Se han identificado cuatro sistemas de discontinuidades, lo que indica un elevado grado de fracturamiento en esta estructura.
- El dominio estructural de la veta Esperanza tiene definidos dos sistemas de discontinuidades.
- En el dominio estructural de la veta Shakira, se identificaron tres sistemas de discontinuidades, de los cuales el sistema 1 y sistema 2 muestran diferencias con respecto al compósito.
- En el dominio estructural de la veta Valeria, los tres sistemas definidos coinciden en gran medida con el compósito. Sin embargo, no se consideró un sistema 4 debido a la baja concentración de polos, lo que indica que solo existen sistemas aleatorios en esa zona.

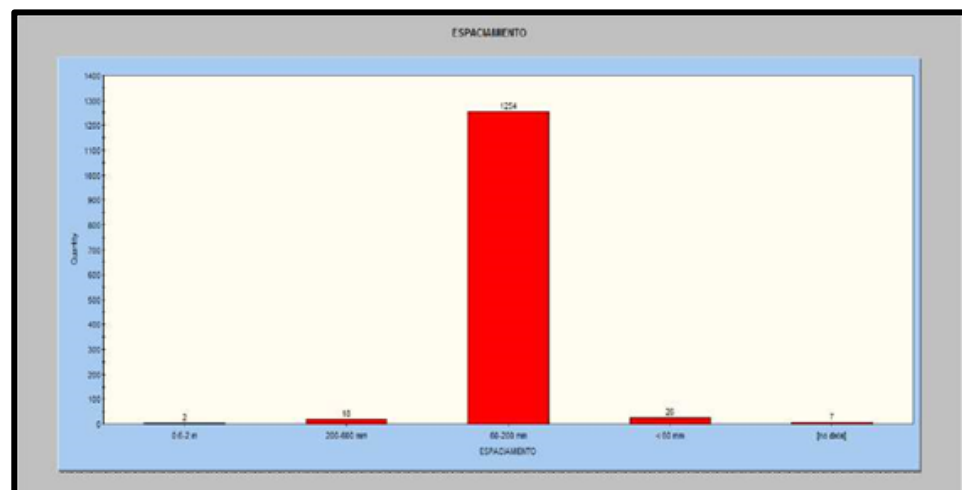


d) Características estructurales:

Las características estructurales tanto mayores como menores, se han establecido mediante el tratamiento estadístico de los mapeos geomecánicos, los cuales fueron posteriormente compatibles con las observaciones realizadas in situ. Con base en este análisis, se pueden identificar las principales características estructurales de las discontinuidades, tanto mayores como menores, en los diferentes dominios estructurales. A continuación, se detallan las características observadas en el dominio estructural de la veta Cabana:

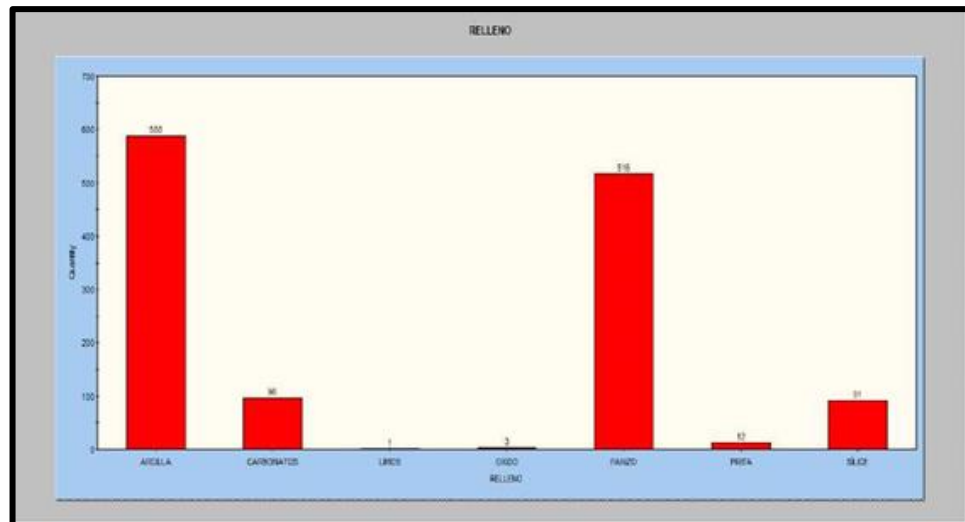
Discontinuidades en el dominio estructural de la veta Cabana:

En el dominio estructural asociado a la veta Cabana, se observa un predominio de discontinuidades con un espaciamiento que varía entre 6 y 20 cm. Estas discontinuidades suelen estar rellenas por materiales blandos, como panizo y arcilla, seguidos de depósitos de carbonatos. Este tipo de relleno sugiere una alteración hidrotermal significativa en la zona, lo que podría afectar la estabilidad del macizo rocoso, dependiendo de la cantidad y tipo de material presente en las fracturas.



FUENTE: Departamento de Geomecánica Mina MARSA.

Figura 10 — Histograma de frecuencias espaciamiento dominio estructural veta Cabana



FUENTE: Departamento de Geomecánica Mina MARSÁ.

Figura 11 — Histograma de frecuencias tipo de relleno dominio estructural veta Cabana

Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso

Los criterios utilizados para la clasificación del macizo rocoso, se detallan en las siguientes tablas, organizadas según los diferentes dominios geológicos (litológicos) de mayor relevancia que albergan la mineralización, tales como la tonalita, microdiorita, diorita, granodiorita y granito.

Tabla 5 — Rangos de clasificación RMR y colores establecidos en MARSÁ

	TIPO DE ROCA	RMR BIENIAWSKI	CLASIFICACION DE LA ROCA
II	II-A	71 - 80	BUENA "A"
	II-B	61 - 70	BUENA "B"
III	III-A	51 - 60	REGULAR "A"
	III-B	41 - 50	REGULAR "B"
IV	IV-A	31 - 40	MALA "A"
	IV-B	21 - 30	MALA "B"
V	V-A	0 - 20	MUY MALA

FUENTE: Departamento de Geomecánica Mina MARSÁ



Tabla 6 — Resumen de calidad RMR de la masa rocosa - mina MARSÁ

Tipo Roca	RMR	Calidad del Macizo Rocoso
Diorita	26 - 64	IIB, IIIA, IIIB, IVA y IVB
Granito	20 - 65	IIB, IIIA, IIIB, IVA, IVB y VA
Granodiorita	26 - 61	IIB, IIIA, IIIB, IVA y IVB
Microdiorita	16 - 69	IIB, IIIA, IIIB, IVA, IVB y VA
Tonalita	23 - 62	IIB, IIIA, IIIB, IVA y IVB

FUENTE: Departamento de Geomecánica Mina MARSÁ

- El rango de valores de clasificación varía desde rocas de tipo Buena (IIB) hasta Muy Mala (VA). Las rocas intrusivas generalmente presentan valores de calidad altos. Es importante destacar que estas características están influenciadas por las alteraciones causadas por la mineralización, ya que las rocas cercanas a la mineralización suelen presentar una menor calidad. Por el contrario, la calidad de las rocas mejora a medida que se alejan de la zona mineralizada.
- La calidad predominante de las rocas es IIIB, lo que está relacionado con la dirección de las labores subterráneas. Por razones técnicas, estas labores deben seguir una orientación paralela al sistema principal de discontinuidades, lo que justifica un ajuste a IVA. Este ajuste en la orientación de las discontinuidades será fundamental para determinar los parámetros adecuados en el diseño de las estructuras subterráneas.

Según los datos geomecánicos proporcionados anteriormente, el Departamento Geomecánica de MARSÁ ha indicado que los mismos parámetros obtenidos durante los análisis realizados en las diferentes vetas y dominios geológicos se replican de manera consistente en el tajo 559, específicamente en el subnivel 2746N. Esta replicación de los valores geomecánicos sugiere que las condiciones geológicas y estructurales en este sector del tajo son similares a las observadas en otras áreas previamente mapeadas y evaluadas.

5.1.2. Variación en el costo por metro perforado

El primer objetivo de este estudio consiste en evaluar y seleccionar los aceros de perforación más adecuados para determinar la variación en el costo por metro perforado al comparar diferentes tipos de broca en las labores de perforación del tajo 559 - subnivel 2746N, de la Minera Aurífera Retamas S.A. en el año 2024.

La perforación en minería es una de las actividades clave que impacta directamente en la productividad y en los costos operacionales de una mina. Uno de los principales factores que influye en el costo de perforación es el tipo de broca utilizada, ya que distintos aceros de perforación presentan rendimientos y durabilidades variables dependiendo de las características del macizo rocoso, como su dureza, fracturamiento y tipo de mineralización. En este sentido, la elección de la broca adecuada puede reducir significativamente los costos operativos y mejorar la eficiencia de las operaciones mineras.

El análisis se centrará en la comparación de diferentes tipos de brocas fabricadas con aceros especiales para perforación, con el fin de determinar cuál ofrece un costo más competitivo por metro perforado en las condiciones geomecánicas específicas del tajo 559 - subnivel 2746N.

Para ello, se realizarán cálculos detallados que incluirán:

- Costo de la broca: Se evaluará el costo de adquisición de cada tipo de broca y su vida útil estimada.
- Costo por metro perforado: A partir de los datos de la vida útil de la broca y el rendimiento por metro perforado, se determinará el costo de perforación en dólares por metro perforado para cada tipo de broca.
- Comparación de costos: Se compararán los costos de perforación asociados con cada tipo de broca en función de su rendimiento, vida útil y eficiencia en el terreno específico del tajo 559.

Los resultados de esta evaluación permitirán determinar la opción más rentable para las operaciones de perforación en el subnivel 2746N, lo que contribuirá a optimizar los costos operativos y mejorar la eficiencia del proceso de



perforación en la mina, generando un impacto positivo en la rentabilidad de la operación minera.

Variables de perforación

Para la evaluación de la perforación en el tajo 559 - subnivel 2746N, se ha utilizado un modelo empírico basado en la relación entre el número de taladros necesarios y las características del macizo rocoso, que incluye variables claves como el espacio de perforación y el esfuerzo de perforación. El modelo matemático propuesto es el siguiente:

Según (LÓPEZ, 1995) Determinación de número de taladros:

$$Nro. taladros = \frac{4\sqrt{S}}{E} + k * S$$

Donde:

- Nro. taladros: Número de taladros necesarios para realizar la perforación de acuerdo con las condiciones del terreno.
- S: Representa la sección o el espaciamiento de perforación, que se refiere al tamaño o área de la zona a perforar, asociado directamente con las propiedades geomecánicas del macizo rocoso.
- E: Esfuerzo requerido para realizar la perforación, un parámetro que refleja la dureza o resistencia de las rocas en el área de trabajo.
- k: Factor de proporcionalidad o constante empírica que ajusta el modelo según las condiciones específicas de la operación minera y las características geológicas.

Área = Ancho de labor * Altura de labor

En el caso del tajo 559 - subnivel 2746N, perteneciente a la Minera Aurífera Retamas, el tajeo se realiza de manera selectiva, lo que implica que se busca extraer únicamente los materiales de interés económico, minimizando la inclusión de estériles y maximizando la recuperación del mineral. Este enfoque selectivo permite una

optimización de los recursos, reduciendo costos operativos y mejorando la eficiencia del proceso de extracción. Sin embargo, a pesar de la aplicación de este método selectivo, la sección promedio de los tajos en la zona es de aproximadamente 1,2 metros de ancho por 3 metros de largo. Esta geometría de los tajos se establece en función de las condiciones geomecánicas del macizo rocoso, las características del mineral y los equipos utilizados, lo que asegura la estabilidad del tajo durante la operación minera. El tamaño de la sección también está determinado por las limitaciones operativas y las características del mineral, buscando siempre un equilibrio entre la seguridad, la eficiencia y la rentabilidad del proceso de extracción.

$$\text{Área} = 1.2 \text{ m} * 3.0 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 3.6 \text{ m}^2$$

Tabla 7 — Constante K, E

	E	k
Friable	0.7-0.75	1
intermedia	0.6-0.65	1.5
tenaz	0.5-0.55	2

FUENTE: Departamento de Geomecánica Mina MARSA

Entonces: E : 0.65

K : 1.5

$$\text{Nro. taladros} = \frac{4\sqrt{3.6}}{0.65} + 1.5 * 3.6$$

Nro. taladros cargados = 17 taladros

La razón por la cual solo se consideran 17 taladros en el tajeo de este caso específico es porque se ha hecho una distinción entre los diferentes tipos de taladros que se utilizan en el proceso de extracción minera. En este contexto, no se están considerando los taladros de alivio ni los de arranque. La principal razón para esto radica en que estos taladros trabajan sobre una cara libre ya generada, la cual puede ser una chimenea o una cara libre previamente creada por otro tajo ya explotado.

Considerando que la longitud del taladro es de 4 pies (equivalente a 1,22 metros) y que la eficiencia de perforación es del 90%, se puede calcular la longitud total perforada por frente.

$$\text{Long. perforación} = \text{Long. taladro} * \text{Eff. perf.} * \text{núm. taladros}$$

*Long. perforación por frente = 1,22 m * 0,90 * 17 taladros*

Long. perforación por frente = 18,67 m

En un frente de perforación, la longitud total perforada será de 18,67 metros considerando una eficiencia de perforación del 90%.

Comparación de Brocas Atlas Copco y Sandvik

En el análisis de perforación del tajo 559 - subnivel 2746N, se compararon dos marcas líderes en tecnología de perforación: Atlas Copco y Sandvik, con el objetivo de evaluar su rendimiento en las condiciones geomecánicas específicas de la mina. Ambas marcas ofrecen brocas con características técnicas y diseños especializados, lo que impacta directamente en el rendimiento de perforación, la durabilidad de las herramientas y los costos operativos.

Atlas Copco es conocida por su innovación en el desarrollo de brocas de alta resistencia y eficiencia energética, diseñadas para maximizar la productividad y minimizar el tiempo de inactividad durante las perforaciones en terrenos duros. Las brocas de esta marca han mostrado un buen desempeño en condiciones de roca dura y fracturada, siendo ideales para optimizar la perforación en zonas con altos niveles de alteración geotécnica.

Por otro lado, Sandvik ofrece brocas avanzadas con una tecnología centrada en la resistencia al desgaste y la eficiencia operativa. Las brocas Sandvik están diseñadas para proporcionar una perforación más eficiente, con un desgaste menor en terrenos menos agresivos y una vida útil prolongada, lo que reduce la frecuencia de reemplazo y los costos asociados.

La comparación entre ambas marcas en el subnivel 2746N, se centró en el rendimiento de perforación, medido por el número de metros perforados por broca, así como el costo por metro perforado. Los resultados preliminares sugieren que las brocas de Atlas Copco ofrecen un mayor rendimiento en términos de velocidad de perforación en terrenos duros y fragmentados, mientras que las Sandvik muestran una mayor durabilidad y menos necesidad de mantenimiento en zonas más homogéneas y menos alteradas geomecánicamente.

Parámetros de elección de broca

Los siguientes parámetros, los cuales tienen un impacto directo, fueron considerados para el análisis técnico-económico de las brocas de perforación:

- Longitud de perforación
- Costo de la broca

Se tiene un análisis de resultados en base a 2 brocas distintas

Broca Sandvik

Tabla 8 — Característica de la broca Sandvik

CARACTERÍSTICA DE LA BROCA SANDVIK		
	pulgadas	1 ½
LONGITUD	mm	50
	pulgadas	2
Nº DE BOTONES	unidades	7
BOTON POR DIAMETRO DEL BOTON	calibre	5x9
CALIBRE ANGULO DE BOTONES	centro	2x7
		35
AGUJERO DE FELPA	lado	2
	centro	1

Determinación de la Longitud Promedio de Perforación por Broca SANDVIK

Para obtener una estimación precisa de la longitud promedio de perforación por broca, se llevaron a cabo pruebas utilizando un total de 10 brocas de la marca Sandvik en las labores de perforación del tajo 559 - subnivel 2746N. Estas pruebas fueron diseñadas para evaluar el rendimiento de las brocas en las condiciones geomecánicas

particulares del subnivel, que incluyen diferentes tipos de rocas, grados de alteración y fracturamiento del macizo rocoso.

Durante el proceso de perforación, se registró la longitud de perforación alcanzada por cada broca antes de que fuera reemplazada o considerada fuera de uso debido al desgaste. Los datos obtenidos de las 10 brocas fueron posteriormente analizados para calcular la longitud promedio de perforación por broca. Este cálculo proporciona una medida representativa del rendimiento de las brocas Sandvik en este entorno geológico específico.

El objetivo de este análisis es determinar la eficiencia de las brocas en relación con su vida útil, así como también contribuir a la optimización de los costos de perforación mediante la selección de herramientas que ofrezcan el mejor balance entre rendimiento y durabilidad en las condiciones operativas del Tajo 559.

Costo de broca : \$ 39.00

Tipo de roca a perforar : media

Realizando trabajos de campo

Tabla 9 — Tiempo de vida de la broca Sandvik

N° de muestra	Longitud de Perf. (m/broca)	Longitud de Perf. (pies)	Vida útil teórico (pies)
1	118.25	387.96	400
3	119.35	391.57	400
4	122.5	401.90	400
5	117.29	384.81	400
6	119.64	392.52	400
7	125.69	412.37	400
8	116.73	382.97	400
9	117.78	386.42	400
10	120.83	396.42	400
Total	1198.81	3930.97	4000

El análisis de la longitud perforada por cada broca muestra una variabilidad en los valores obtenidos, con registros que oscilan entre 116,73 m y 125,69 m. Esta diferencia en las longitudes perforadas se

debe al comportamiento heterogéneo del macizo rocoso, el cual no presenta una dureza constante a lo largo del proceso de perforación.

En la evaluación se realizaron perforaciones utilizando la broca Sandvik, cuyo desempeño fue analizado para determinar su eficiencia en diferentes condiciones geomecánicas. De acuerdo con la información obtenida del departamento geomecánico de MARSA, la roca en la zona de estudio tiene una dureza media. Sin embargo, la presencia de alteraciones litológicas genera variaciones en la resistencia al avance de la perforación, lo que influye directamente en el rendimiento de las brocas. En algunos sectores, la roca puede presentar mayor compactación y resistencia, reduciendo la eficiencia del proceso, mientras que en otras zonas, la presencia de fracturas o alteraciones mineralógicas facilita la perforabilidad, permitiendo un mayor avance con la misma herramienta.

Estos resultados resaltan la importancia de realizar un seguimiento detallado de las condiciones geomecánicas del macizo rocoso para optimizar el rendimiento de los insumos utilizados en la perforación y mejorar la eficiencia operativa en la mina. Además, la evaluación de la broca Sandvik permitirá determinar su desempeño y durabilidad en este tipo de formaciones, proporcionando información clave para la toma de decisiones sobre su uso en futuras operaciones.



Figura 12 — Broca SANDVIK

Para realizar una evaluación precisa de la eficiencia de perforación y los costos asociados a cada broca utilizada en el tajo 559 - subnivel 2746N, es necesario calcular dos parámetros clave: la velocidad de perforación y el costo unitario por metro perforado. Estos indicadores son fundamentales para entender el rendimiento de las brocas y optimizar las operaciones mineras en términos de tiempo y recursos. Para ello, se emplearán las siguientes fórmulas, que permiten obtener valores precisos y comparativos en cada una de las muestras evaluadas.

Velocidad: formula de (Isaac, 1687)

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Long. de perforación (m)}}{\text{Tiempo de perf (min.)}}$$

Costo por metro perforado:

$$\text{Costo por metro perf.} = \frac{\text{Costo Broca (\$)}}{\text{Long. de perforación (m)}}$$

$$\text{Long. de perf. promedio} = \frac{\sum \text{Longitud de perf.}}{\text{N° de muestras}}$$

$$\text{Long. de perf. promedio} = \frac{1198,81\text{m}}{10}$$

$$\text{Long. de perf. promedio/broca} = 119,9 \text{ m/broca}$$

Costo por metro perf.

$$= \frac{\text{Costo Broca (\$)}}{\text{Long. promedio de perforación (m)}}$$

$$\text{Costo por metro perf.} = \frac{\$ 39,00}{119,9 \text{ m}}$$

$$\text{Costo por metro perf.} = \mathbf{0,33 \text{ \$/m}}$$



Broca Atlas Copco

Tabla 10 — Característica de la broca Atlas Copco

CARACTERÍSTICA DE LA BROCA ATLAS COPCO		
	pulgadas	1 ½
LONGITUD	mm	50
	pulgadas	2
N° DE BOTONES	unidades	7
BOTON POR DIAMETRO DEL BOTON	calibre	5x9
CALIBRE ANGULO DE BOTONES	centro	2x7
		35
AGUJERO DE FELPA	lado	2
	centro	1
PESO APROXIMADO	kg	0.3

Evaluación de la Longitud Promedio de Perforación con Brocas

Atlas Copco

Para obtener una estimación precisa de la longitud promedio de perforación por broca, se realizaron pruebas utilizando un total de 10 brocas Atlas Copco en las labores de perforación del Tajo 559 - Subnivel 2746N. Estas pruebas fueron diseñadas con el fin de evaluar el rendimiento de las brocas bajo las condiciones geomecánicas específicas del subnivel, que incluyen una variabilidad en los tipos de roca, grados de alteración y fracturamiento del macizo rocoso.

Durante el proceso de perforación, se registró la longitud alcanzada por cada broca antes de ser reemplazada o considerada fuera de servicio debido al desgaste. Los datos obtenidos de las 10 brocas fueron cuidadosamente analizados para calcular la longitud promedio de perforación por broca. Este cálculo proporciona una medición representativa del desempeño de las brocas Atlas Copco en este entorno geológico particular.

El objetivo de este análisis es evaluar la eficiencia de las brocas en cuanto a su vida útil y rendimiento, y, a su vez, contribuir a la optimización de los costos de perforación. Con los resultados obtenidos, se busca seleccionar las herramientas que ofrezcan el mejor equilibrio entre rendimiento y durabilidad, ajustadas a las condiciones

operativas del Tajo 559, maximizando así la productividad y reduciendo los costos de operación.

Costo de broca : \$ 37

Tipo de roca a perforar : media.

Tabla 11 — Tiempo de vida de la broca Atlas Copco

N° de muestra	Longitud de Perf. (m/broca)	Longitud de Perf. (pies)	Vida útil teórico (pies)
1	118.2	387.80	400
2	115.9	380.25	400
3	119.5	392.06	400
4	119.4	391.73	400
5	118.6	389.11	400
6	119.3	391.40	400
7	119.7	392.72	400
8	118.2	387.80	400
9	120.4	395.01	400
10	119.8	393.04	400
Total	1189	3900.92	4000

El análisis de la longitud perforada por cada broca muestra una variabilidad en los valores obtenidos, con registros que oscilan entre 115,9 m y 120,4 m. Esta diferencia en las longitudes perforadas se debe al comportamiento heterogéneo del macizo rocoso, el cual no presenta una dureza constante a lo largo del proceso de perforación.

En esta evaluación se realizaron perforaciones utilizando la broca Atlas Copco, con el objetivo de analizar su rendimiento en las condiciones geomecánicas del yacimiento. De acuerdo con la información obtenida del departamento geomecánico de MARSA, la roca en la zona de estudio tiene una dureza media. Sin embargo, la presencia de alteraciones litológicas genera variaciones en la resistencia al avance de la perforación, lo que influye directamente en el desempeño de las brocas.

Las variaciones en la perforabilidad pueden atribuirse a diferencias en la compactación, el grado de fracturamiento y la presencia de minerales de distintas durezas dentro del macizo rocoso. En sectores más competentes, el desgaste de la broca es mayor y la perforación

avanza a un ritmo más lento, mientras que en zonas más fracturadas o alteradas, la perforabilidad mejora, permitiendo alcanzar mayores longitudes perforadas.

Este estudio es clave para evaluar la eficiencia operativa de la broca Atlas Copco en diferentes condiciones geomecánicas. Los resultados obtenidos servirán como referencia para la selección de herramientas de perforación más adecuadas, optimizando el rendimiento y reduciendo los costos operativos en futuras perforaciones dentro de la mina.



Figura 13 — Broca Atlas Copco

Para poder determinar la velocidad y costo unitario en cada muestra utilizaremos las siguientes fórmulas:

Velocidad (ecuación 5.8): fórmula de (Isaac, 1687)

$$Velocidad = \frac{Long. de perforación (m)}{Tiempo de perf. (min.)}$$

Costo por metro perforado (ecuación 5.9):

$$Costo por metro perf. = \frac{Costo Broca (\$)}{Long. de perforación (m)}$$

Longitud de perforación. Promedio (ecuación 5.10):

$$\text{Long. de perf. promedio} = \frac{\sum \text{Longitud de perf.}}{N^{\circ} \text{ de muestras}}$$

$$\text{Long. de perf. promedio} = \frac{1189 \text{ m}}{10}$$

$$\text{Long. de perf. promedio/broca} = 118,9 \text{ m/broca}$$

$$\text{Costo por metro perf.} = \frac{\text{Costo Broca (\$)}}{\text{Long. promedio de perforación (m)}}$$

$$\text{Costo por metro perf.} = \frac{\$ 37}{118,9 \text{ m}}$$

$$\text{Costo por metro perf.} = \mathbf{0,31 \text{ \$/m}}$$

5.1.3. Vida útil de las brocas.

El cálculo de la vida útil de las brocas se realizó en función del número de taladros perforados en las labores del tajo 559 - subnivel 2746N. Para determinar este parámetro, se registraron los datos de perforación de cada broca, incluyendo la longitud total perforada antes de que la herramienta fuera reemplazada debido al desgaste o daños.

La vida útil de cada broca fue estimada a partir del número de taladros completos que pudo realizar antes de alcanzar su límite de desgaste. Estos datos se analizaron para obtener una media del rendimiento de las brocas, lo que permitió calcular su vida útil en función de la cantidad de taladros que pudieron ser perforados en las condiciones geológicas del subnivel. Este análisis proporciona una medida precisa de la durabilidad de las brocas y ayuda a optimizar la selección de herramientas para maximizar la productividad y reducir los costos de perforación.

- Nro. De taladros por frente : 17 tal /frente
- Long. Total perforada por frente: 18,67 m / frente



Brocas Sandvik:

Consumo de brocas Sandvik:

Para conocer el consumo de brocas por frente usamos la siguiente fórmula:

$$\text{Brocas por frente} = \frac{\text{Long. de perf. promedio/broca}}{\text{Long.perf.por frente}}$$

$$\text{Brocas por frente} = \frac{119,9 \text{ m /broca}}{18,67 \text{ m /frente}}$$

$$\text{Brocas por frente} = \mathbf{6,42 \text{ frentes/broca}}$$

Número promedio de taladros por broca:

$$\text{Num. prom. de tal. por broca} = \frac{\text{Long. de perf. promedio/broca}}{\text{Long.taladro}}$$

$$\text{Num. prom. de tal. por broca} = \frac{119,9 \text{ m /broca}}{1,22 \times 0,9 \text{ m / tal}}$$

$$\text{Num. prom. de tal. por broca} = \mathbf{109,1 \text{ tal}}$$

Brocas Atlas Copco:

Consumo de brocas Atlas Copco

$$\text{Brocas por frente} = \frac{\text{Long. de perf. promedio/broca}}{\text{Long.perf.por frente}}$$

$$\text{Brocas por frente} = \frac{118,9 \text{ m}}{18,67 \text{ m}}$$

$$\text{Brocas por frente} = \mathbf{6,37 \text{ frentes/broca}}$$

Número promedio de taladros por broca

$$\text{Num. prom. de tal. por broca} = \frac{\text{Long. de perf. promedio/broca}}{\text{Long.taladro}}$$

$$\text{Num. prom. de tal. por broca} = \frac{118,9 \text{ m /broca}}{1,22 \times 0,9 \text{ m / tal}}$$

$$\text{Num. prom. de tal. por broca} = \mathbf{108,3 \text{ tal}}$$



5.1.4. Rendimiento de las brocas.

El rendimiento de las brocas en el tajo 559 - subnivel 2746N se calculó en términos de toneladas por broca, con el objetivo de evaluar la eficiencia de perforación de cada herramienta en relación con la cantidad de material movido. Para ello, se registró la cantidad total de roca perforada por cada broca antes de ser reemplazada por desgaste, y se convirtió esta cantidad en toneladas, considerando la densidad promedio de las rocas perforadas en las diferentes zonas del subnivel.

Este cálculo permite estimar el rendimiento unitario de cada broca en función de la cantidad de material extraído, lo que proporciona una indicación precisa de la eficiencia operativa de las brocas en las condiciones geomecánicas específicas del yacimiento. El análisis del rendimiento en toneladas por broca es fundamental para la optimización de las operaciones mineras, ya que permite identificar las brocas que ofrecen el mejor desempeño en términos de material perforado, contribuyendo a una mayor productividad y a la reducción de costos.

Avance lineal de broca Sandvik

$$\textit{Avance lineal/broca} = \textit{Avance lineal por disparo} * \textit{frentes por broca}$$

$$\textit{Avance lineal/broca} = \textit{Long. taladro} * \textit{Eff. perf.} * \textit{Eff. disparo} * \textit{frentes por broca}$$

$$\textit{Avance lineal/broca} = 1,22 \textit{ m} * 0,9 * 0,9 * 6,42 \textit{ frentes/broca}$$

$$\textit{Avance lineal/broca} = 6,34 \textit{ m. lineales/broca}$$

Avance lineal de broca Atlas Copco

$$\textit{Avance lineal/broca} = \textit{Avance lineal por disparo} * \textit{frentes por broca}$$

$$\textit{Avance lineal/broca} = \textit{Long. taladro} * \textit{Eff. perf.} * \textit{Eff. disparo} * \textit{frentes por broca}$$

$$\textit{Avance lineal/broca} = 1,22 \textit{ m} * 0,9 * 0,9 * 6,37 \textit{ frentes/broca}$$

$$\textit{Avance lineal/broca} = 6,29 \textit{ m. lineales/broca}$$



Tonelaje extraído en mina, considerando los siguientes parámetros:

- Avance por disparo : 0,99 m
- Ancho de labor : 1,2 m
- Largo de labor : 3,00 m
- Densidad de mineral : 2,70 tn/m³

Tonelaje por disparo:

$$\text{Tonelaje}/\text{disparo} = \text{Volumen por Disparo} * \text{Densidad de mineral}$$

$$\text{Tonelaje}/\text{disparo} = 0,99 \text{ m} * 1,20 \text{ m} * 3,00 \text{ m} * 2,70 \text{ tn}/\text{m}^3$$

$$\text{Tonelaje}/\text{disparo} = 3,57 \text{ m}^3 * 2,70 \text{ tn}/\text{m}^3$$

$$\text{Tonelaje}/\text{disparo} = \mathbf{9,62 \text{ tn}/\text{disparo}}$$

Calculamos el tonelaje disparado por metro lineal avanzado:

$$\text{Tonelaje}/\text{m. lineal avanzado} = \frac{\text{Tonelaje}/\text{disparo}}{\text{Avance por disparo}}$$

$$\text{Tonelaje}/\text{m. lineal avanzado} = \frac{9,62 \text{ tn} / \text{disparo}}{0,99\text{m}/\text{disparo}}$$

$$\text{Tonelaje}/\text{m. lineal avanzado} = \mathbf{9,72 \text{ tn}/\text{m. lineal}}$$

Rendimiento de brocas:

- **Broca Sandvik:**

$$\text{Rendimiento}/\text{broca} = (\text{frentes}/\text{broca}) * (\text{tn}/\text{frente})$$

$$\text{Rendimiento}/\text{broca} = 6,42 \text{ frentes}/\text{broca} * 9,62 \text{ tn} / \text{frente}$$

$$\text{Rendimiento}/\text{broca} = \mathbf{61,76 \text{ toneladas}/\text{broca}}$$

- **Broca Atlas Copco:**

$$\text{Rendimiento}/\text{broca} = (\text{frentes}/\text{broca}) * (\text{tn}/\text{frente})$$

$$\text{Rendimiento}/\text{broca} = 6,37 \text{ frentes}/\text{broca} * 9,62 \text{ tn} / \text{frente}$$

$$\text{Rendimiento}/\text{broca} = \mathbf{61,27 \text{ toneladas}/\text{broca}}$$

Entonces, en base al cálculo anterior, podemos concluir que las brocas Sandvik y Atlas Copco presentan un rendimiento similar cuando se utilizan en el mismo escenario de trabajo. Este análisis se llevó a cabo bajo condiciones controladas, donde se realizaron perforaciones en el mismo tajo 559 - subnivel 2746N, utilizando las mismas estrategias operativas y un colaborador perforista con igual nivel de experiencia.

El hecho de que ambos tipos de brocas hayan mostrado un rendimiento comparable, a pesar de las posibles diferencias en diseño y material, sugiere que; en este caso específico, las características geomecánicas del macizo rocoso, así como las condiciones operativas del subnivel, no favorecen significativamente a una marca sobre la otra. Este resultado también indica que, bajo el mismo tipo de trabajo, ambos tipos de brocas ofrecen una durabilidad y eficiencia similar en términos de vida útil y cantidad de material perforado por unidad de tiempo.

Sin embargo, este análisis debe ser considerado en el contexto de un escenario de trabajo específico, y sería prudente realizar más pruebas bajo diferentes condiciones geológicas o con distintas configuraciones operativas para confirmar estos resultados en otros contextos. Esto permitiría determinar si hay factores adicionales, como el tipo de roca o la variabilidad en la perforación, que puedan influir en el rendimiento de las brocas en el largo plazo.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de rendimiento y costos, se podría considerar que, desde un punto de vista económico, la broca Sandvik representa una opción más atractiva en términos de costos operativos. Sin embargo, esta conclusión está basada únicamente en las condiciones de trabajo actuales, que corresponden a un conjunto específico de variables geomecánicas y operativas.

Es importante destacar que, para tomar una decisión definitiva sobre cuál broca es más adecuada para las operaciones mineras en el tajo 559 - subnivel 2746N, sería necesario realizar más pruebas en diferentes litologías y condiciones de trabajo. Las variaciones en el tipo de roca, el grado de alteración, la fracturación del macizo rocoso y otros



factores geomecánicos pueden influir significativamente en el rendimiento y la durabilidad de las brocas.

En este sentido, se recomienda realizar una serie de pruebas adicionales que incluyan diversas litologías para evaluar de manera más precisa el desempeño de las brocas en condiciones más representativas y variadas del yacimiento. Este enfoque permitirá obtener un criterio más robusto y fundamentado para la selección de las herramientas de perforación, asegurando que se elija la opción que no solo sea económica, sino que también ofrezca un rendimiento óptimo y durabilidad prolongada en el largo plazo, reduciendo así los costos asociados al mantenimiento y reemplazo de brocas.

Tabla 12 — Resumen de resultados

ITEM	broca Sandvik	broca Atlas Copco
Variación en el costo por metro perforado	0,33 \$/m	0,31 \$/m
Vida útil de las brocas.	6,42 frentes / broca = 109,1 tal/broca	6,37 frentes / broca = 108,3 tal/broca
Rendimiento de las brocas.	61,76 toneladas/broca	61,27 toneladas/broca

Los resultados obtenidos en la evaluación de las brocas de perforación de las marcas Sandvik y Atlas Copco muestran diferencias pequeñas pero significativas en términos de costos, vida útil y rendimiento. El costo por metro perforado es ligeramente más bajo en las brocas Atlas Copco (0,31 \$/m) en comparación con las de Sandvik (0,33 \$/m), lo que sugiere una ventaja económica en términos de costos directos. Sin embargo, en cuanto a la vida útil, las brocas Sandvik ofrecen una mayor duración, con 6,42 frentes por broca (109,1 taladros) frente a los 6,37 frentes (108,3 taladros) de Atlas Copco, lo que podría traducirse en menores costos de reemplazo y mantenimiento. Además, las brocas Sandvik también superan ligeramente a las de Atlas Copco en rendimiento, perforando 61,76 toneladas frente a las 61,27 toneladas de las de Atlas Copco. Estos resultados destacan la importancia de evaluar no solo el costo inicial de las brocas, sino también su durabilidad y eficiencia, para lograr una reducción significativa de costos en el largo plazo.



5.2. Discusión

- En el estudio de ALEJANDRO GARRIDO (2007) titulado “Diagnóstico y Optimización de Disparos en Desarrollo Horizontal Mina El Teniente”, se alcanzaron resultados significativos al reducir el número de perforaciones por disparo en un 10%, lo que conllevó a una reducción en la sobre excavación, disminuyendo el riesgo de desprendimientos y caídas de rocas. De manera similar, en nuestra investigación, se observó una ligera diferencia en el costo por metro perforado, siendo el costo para Sandvik de 0,33 USD/m y para Atlas Copco de 0,31 USD/m. Si bien los valores de costo por metro perforado entre ambas marcas no son drásticamente diferentes, la ligera reducción observada en Atlas Copco refleja una optimización que puede tener un impacto positivo a largo plazo en los costos operativos, similar a las reducciones logradas en el estudio mencionado.
- En el trabajo de GUAMÁN (2016), se destacó una reducción del 66% en los costos de explosivos al optimizar las cargas de fondo y columna, además de disminuir los tiempos de perforación en un 50% mediante el uso de Jumbos perforadores. A pesar de que, en nuestro caso, el tiempo de perforación es similar para ambas marcas de broca, con una diferencia mínima, los costos asociados con la perforación sí presentaron variaciones. Específicamente, Atlas Copco resultó ser ligeramente más económica en términos de costo por metro perforado. Este hallazgo sugiere que, aunque el rendimiento de perforación entre ambas marcas es casi idéntico, la reducción en los costos por metro perforado con Atlas Copco puede ser un factor determinante para la optimización de costos operativos, especialmente en proyectos a largo plazo.
- En la tesis de JÁUREGUI AQUINO (2009), se abordó la reducción de costos operativos mediante la implementación de estándares óptimos en las operaciones de perforación y voladura, lo que resultó en una disminución significativa de los costos. Este enfoque también es aplicable a nuestra investigación, donde se observó una reducción del costo por metro perforado en 0,02 USD/m al comparar Sandvik con Atlas Copco. La optimización de los costos en ambos casos es un reflejo de las mejores prácticas que buscan maximizar la eficiencia operativa a través de la selección adecuada de equipos y técnicas de perforación.



- El estudio de CAYLLAHUA (2018), realizado en la Unidad Minera Las Águilas, mostró cómo la optimización de la malla de perforación contribuyó a una reducción en el costo de perforación de 125,7 a 111,6 USD/m, lo que implicó una disminución en los costos de explosivos y accesorios. Aunque nuestra investigación no se centró en la modificación de mallas de perforación, los resultados de costos en perforación por metro fueron comparables. Al igual que en el estudio citado, la reducción en los costos de perforación fue evidente, con una disminución del costo por metro perforado de 0,33 USD/m para Sandvik a 0,31 USD/m para Atlas Copco. Este ahorro, aunque no tan drástico como en otros estudios, refleja la importancia de seleccionar equipos de perforación adecuados y de optimizar las prácticas operativas para lograr una reducción significativa en los costos globales.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones.

Conclusión General

La evaluación y selección de los aceros de perforación en el tajo 559 - subnivel 2746N de Minera Aurífera Retamas S.A. permitió optimizar el consumo de brocas y reducir costos operativos. La comparación entre las brocas Sandvik y Atlas Copco evidenció diferencias mínimas en términos de costo, vida útil y rendimiento, lo que indica que ambas opciones presentan un desempeño similar bajo las condiciones geomecánicas del área de estudio. Estos resultados demuestran que una adecuada selección de herramientas de perforación contribuye a una gestión eficiente de los recursos y a la mejora continua en los procesos operativos de la empresa.

Conclusiones Específicas

- Variación en el Costo por Metro Perforado, se identificó una leve diferencia en el costo por metro perforado. La broca Sandvik presentó un costo de 0.33 USD/m, mientras que la Atlas Copco tuvo un costo de 0.31 USD/m, mostrando una ligera ventaja económica a favor de Atlas Copco.
- Vida Útil de las Broca, los cálculos realizados indicaron que la vida útil de ambas marcas es similar. En promedio, la broca Sandvik alcanzó 109.1 taladros por broca, mientras que la Atlas Copco logró 108.3 taladros por broca, lo que demuestra que ambas opciones tienen una durabilidad comparable.
- Rendimiento de las Broca, se observó que el rendimiento de perforación es prácticamente el mismo para ambas marcas. La broca Sandvik alcanzó 61.76 toneladas por broca, mientras que la Atlas Copco registró 61.27 toneladas por broca, lo que indica que no hay una diferencia significativa en términos de eficiencia operativa.

6.2. Recomendaciones.

- Evaluación y Selección de Aceros de Perforación, se recomienda continuar con la evaluación periódica de las brocas utilizadas en la operación, considerando factores como costo, desempeño y vida útil. Además, se sugiere realizar pruebas comparativas con otras marcas disponibles en el mercado para identificar posibles alternativas que permitan optimizar aún más los costos operativos.
- Variación en el Costo por Metro Perforado, se recomienda analizar la relación entre el costo por metro perforado y la geomecánica del macizo rocoso, ya que las condiciones litológicas pueden influir en el desgaste de las brocas. Asimismo, se sugiere realizar un seguimiento detallado del consumo de brocas por cada frente de trabajo, permitiendo identificar patrones de mayor eficiencia en la perforación.
- Vida Útil de las Brocas, para maximizar la vida útil de las brocas, se recomienda implementar un control riguroso sobre los parámetros de perforación, tales como presión, velocidad de rotación y tipo de lubricación utilizada. Además, se sugiere capacitar al personal encargado de la perforación en técnicas adecuadas de uso y mantenimiento para reducir el desgaste prematuro de las herramientas.
- Rendimiento de las Brocas, se recomienda realizar estudios adicionales para determinar el impacto de factores operacionales y geomecánicos en el rendimiento de las brocas. Además, se sugiere evaluar posibles mejoras en los procedimientos de perforación, como el ajuste de parámetros operativos y el uso de tecnologías avanzadas, con el fin de incrementar la eficiencia y productividad del proceso.



REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- ARIAS, GALICIA F. 2012. *l Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica*. Caracas : s.n., 2012.
- BERNAOLA, ALONSO ALONSO, CASTILLA, GÓMEZ JORGE Y HERRERA, HERBERT JUAN. 2013. *Manual de Perforación y Voladura*. 2013.
- BERNAOLA, ALONSO JOSÉ, CASTILLA, GÓMEZ JORGE Y HERRERA, HERBERT JUAN. 2013. *Perforacion Y Voladura De Rocas En Minería*. Madrid : s.n., 2013.
- CAGUANA, GUTIERREZ ANDRES FERNANDO y TENORIO TUPACYUPANQUI, MAUEL PATRICIO. 2023. *Optimización de los parámetros de perforación y voladura en la cantera "Las Victorias"*. Cuenca, Ecuador : s.n., 2023.
- CAYLLAHUA, MAMANI PEDRO. 2018. *Evaluación de Costos Operativos en Galerías de Exploración para Optimizar la Perforación y Voladura en la Unidad Minera las Águilas - Ciemsa*. Puno : Ed. Universidad Nacional del Altiplano, 2018.
- CHAMBI, JIMMY REMIGIO. 2019. *Análisis y Optimización de las Operaciones de Perforación y Voladura para el Desarrollo de Estándares Técnicos e Incremento de Utilidades en Mina Tambomayo*. Arequipa : Ed. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019.
- CHIPAN, TITO RUDY MILTON. 2015. *Diseño de Perforación y Voladura para Reducción de Costos en el Frente de la Galeria Progreso de la Contrata Minera Cavilquis-Corporación Minera Ananea S.A* . 2015.
- CIRO, QUISPE GALVAN. 2014. *Valorización de Minas*. Huancayo : Ed. Universidad Nacional del Centro del Peru, 2014.
- GAMARRA, CACERES ALEX ROLF. 2011. *Optimización del uso de aceros de perforación en la UEA San Cristobal de Minera Bateas Sac*. 2011.
- GARRIDO, ANDRES ALEJANDRO. 2007. *Diagnostico y Optimización de Disparos en Desarrollo horizontal Mina el Teniente*. Santiago de Chile : UC, 2007.
- GUERRA, SANCHEZ JUAN ANTONIO. 2015. *Concepto de optimización de recursos*. 2015.
- HERNANDEZ, SAMPIERI, R. 2014. *Metodología de la Investigación*. México : s.n., 2014.
- INACAP. 2015. *prezi.com. prezi.com*. [En línea] Universidad Tecnológica de Chile, 19 de Junio de 2015. [Citado el: 18 de Octubre de 2019.] <https://prezi.com/dpr6o8zetibo/aceros-de-perforacion/>.
- Isaac, Newton. 1687. *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. 1687.



- JAUREGUI, AQUINO OSCAR ALVERTO. 2009. *Reducción de los Costos Operativos en Mina mediante la Optimización de los Estándares de las Operaciones unitarias de Perforación y Voladura*. lima : PUCP, 2009.
- LARA, BALTAZAR OSCAR RAFAEL. 2013. *Diseño de malla de perforación para optimizar la voladura en la unidad Carahuacra de la Compañía Minera Volcan S.A.A.* 2013.
- LÓPEZ, JIMENO CARLOS. 2004. *Manual de Perforacion y Voladura de Rocas*. Madrid : Instituto tecnológico Geominero de España, 2004.
- LÓPEZ, JIMENO Y JIMENO. 1995. *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid : s.n., 1995.
- LOZANO, FERNANDEZ MANUEL. 2012. *Perforación en minería*. 2012.
- M, TAMAYO. 1997. *El Proceso de la Investigación Científica*. México : s.n., 1997.
- MENDOZA, SOLIE RICHARD DAVID. 2024. *Optimización de parámetros de perforación y voladura de la galería 10316 para controlar la dilución de mineral, empresa contratista Minera Tauro S. A. C., La Libertad*. Universidad Continental, Huancayo : 2024.
- MINERA MARSA. 2023. *Departamento de Geomecánica*. Lima : s.n., 2023.
- OCAMPO, ROSILLO KEVIN ALEXANDRO. 2018. *Optimización de malla de perforación doble espiral para túnel y reducir costos de perforación y voladura en el proyecto chavimochic – la libertad*, 2018.
- PEÑA, QUISPE EDISON y CARDENAS ENCISO, ENCISO ROBERT. 2022. *Incremento de avance en las labores horizontales con el cambio de accesorios de perforación y voladura, en la unidad minera San Andrés Minera Aurífera Retamas S.A.-2018*. Universidad Nacional Micaela Bastidas De Apurímac, Abancay : 2022.
- RIQUELME, MATIAS. 2022. *Diferencia entre Costos Directos e Indirectos*. Santiago de Chile : s.n., 2022.
- TAISHAN. 2012. *Taishan Rock Tools*. 2012.



ANEXOS



ANEXO I

Tabla 13 — Matriz de Consistencia

Evaluación y selección de aceros de perforación para la reducción de costos de consumo de brocas, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. - 2024				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cómo la Evaluación y selección de aceros de perforación permitirá la reducción de costos del consumo de brocas, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar la relación de la Evaluación y selección de aceros de perforación, con la reducción de los costos del consumo de brocas, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. - 2024</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Existirá una relación de la Evaluación y selección de aceros de perforación, con la reducción los costos del consumo de brocas, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A.– 2024</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Evaluación y selección de aceros de perforación</p>	<ol style="list-style-type: none"> Resistencia a la Fatiga y Fractura de los aceros de perforación Eficiencia de la Perforación Adaptabilidad al Tipo de Roca: Geomecánica
<p>PROBLEMA ESPECIFICO</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿En qué medida la Evaluación y selección de aceros de perforación determinara la variación en el costo por metro perforado al comparar diferentes tipos de broca, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024? ¿Cómo la Evaluación y selección de aceros de perforación, optimizará la vida útil de las brocas, en el tajo 559 – subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024? ¿En qué medida la Evaluación y selección de aceros de perforación, determinará el rendimiento de las brocas, en el tajo 559 – subnivel - 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024? 	<p>OBJETIVOS ESPECIFICO</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar la relación de la Evaluación y selección de aceros de perforación, con la variación en el costo por metro perforado al comparar diferentes tipos de broca, en el tajo 559 – subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024 Establecer la relación de la Evaluación y selección de aceros de perforación, con la vida útil de las brocas, en el tajo 559 – subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024 Determinar la Evaluación y selección de aceros de perforación, con el rendimiento las brocas, en el tajo 559 – subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A – 2024. 	<p>HIPÓTESIS ESPECIFICO</p> <ul style="list-style-type: none"> Se encontró una relación de la Evaluación y selección de aceros de perforación, con el costo por metro perforado al comparar diferentes tipos de brocas, en el tajo 559 - subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024. La Relación de la Evaluación y selección de aceros de perforación, influye en la vida útil de las brocas, en el tajo 559 – subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024. La Evaluación y selección de aceros de perforación, tiene una relación directa con el rendimiento de las brocas, en el tajo 559 – subnivel 2746N, Minera Aurífera Retamas S.A. – 2024. 	<p>Variable Dependiente</p> <p>Reducción de costos de consumo de brocas</p>	<ol style="list-style-type: none"> Costo por metro perforado Vida útil de las brocas Rendimiento de las brocas

ANEXO II

PANEL FOTOGRÁFICO TAJO 559



Figura 14 — Medición para colocados de sostenimiento con puntal



Figura 15 — Marcación con la varilla de madera (atacador) la perpendicularidad entre el puntal y la caja techo, considerando una superficie plana de contacto.



Figura 16 — Trabajos de perforación y voladura



Figura 17 — Diseño de malla de perforación



Figura 18 — Martillo neumático Jackleg



Figura 19 — Carguío de taladros para la voladura



Figura 20 — Carguío de taladros en frente de perforación

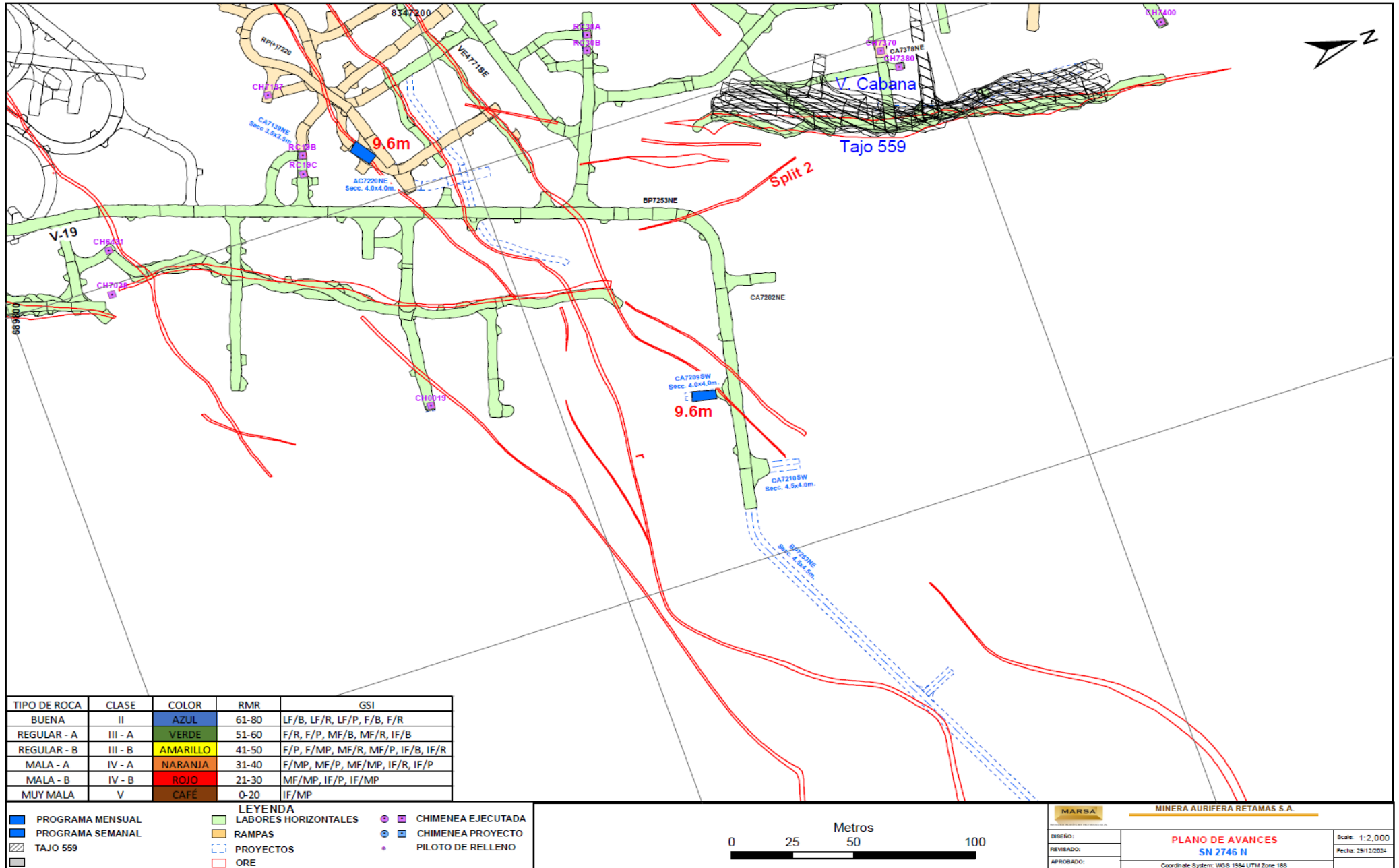


Figura 21 — Plano de avance tajo 559 subnivel 2746 N