

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y
CIVIL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS:

**Optimización del rendimiento de las brocas de 64 mm
para reducir costos de perforación en la Mina San
Cristóbal, Volcan Compañía Minera 2021**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:

Bach. Joshua Yordan JOYO MENESES

ASESOR:

Msc. Ing. Edmundo CAMPOS ARZAPALO

AYACUCHO - PERÚ

2024

Dedicado...

A mi familia, por su amor y apoyo incondicional.

A Yenifer, por su amor y ánimo durante este proceso.

A mi asesor de tesis, por su orientación y sabios consejos.

*A todas las personas que de una u otra forma contribuyeron en la realización
de esta tesis.*

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, que me dio la formación académica y experiencias a través de mis años de estudio, los cuales perduran en mi vida profesional.

Al Ingeniero Edmundo Campos docente de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por su ardua y consecuente labor en la formación de los futuros ingenieros de minas.

A toda la plana de docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la UNSCH por brindar sus conocimientos, habilidades y experiencia en la formación profesional.

Por último, pero igualmente relevante, deseo expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que, de diferentes formas, aportaron a esta investigación. Tanto mediante el suministro de apoyo técnico, bibliográfico o moral, su valiosa contribución fue significativa y merece ser reconocida.

RESUMEN

Las fluctuaciones en el precio de los metales impactan significativamente las operaciones mineras, impulsando la necesidad de optimizar costos y estandarizar procesos, especialmente en perforación dado que un bajo rendimiento de las brocas de 64 mm conllevan a un elevado costo de perforación. Este estudio se enfoca en la optimización del rendimiento de las brocas de 64 mm en la Mina San Cristóbal de Volcan Compañía Minera, con el objetivo de reducir los costos de perforación.

Para abordar esta necesidad, se realizaron pruebas exhaustivas en tres áreas de la mina (zona alta, zona baja y zona de profundización) utilizando dos modelos de brocas (A y B). Se analizó la influencia del diseño de las brocas, impacto del aguzado de las brocas, habilidad del operador de maquinaria y su relación con la dureza del macizo rocoso, considerando que a mayor dureza, menor rendimiento de la broca.

Los resultados mostraron que el modelo B fue, en promedio, un 11 % más eficiente que el modelo A. En la zona alta, el modelo B superó al A en un 16 %, en la zona baja en un 12 %, y en la zona de profundización en un 6 %, esta última con una menor diferencia debido a las características geomecánicas del macizo rocoso. Basado en estos hallazgos, se estimó un ahorro anual de \$23,397.42 utilizando el modelo B, lo que evidencia una significativa reducción en los costos de perforación.

En conclusión, la optimización del rendimiento de las brocas de 64 mm mediante la elección adecuada de diseño y la capacitación del personal puede resultar en una mejora sustancial en la eficiencia operativa y una reducción en los costos de perforación en la mina San Cristóbal.

ABSTRACT

The fluctuations in metal prices significantly impact mining operations, driving the need to optimize costs and standardize processes, particularly in drilling, as low performance of 64 mm drill bits leads to high drilling costs. This study focuses on optimizing the performance of 64 mm drill bits at the San Cristóbal Mine, owned by Volcan Compañía Minera, with the objective of reducing drilling costs.

To address this need, exhaustive tests were conducted in three areas of the mine (upper zone, lower zone, and deepening zone) using two models of drill bits (A and B). The study analyzed the influence of bit design, the impact of bit sharpening, operator skill, and their relationship with the hardness of the rock mass, considering that the harder the rock mass, the lower the bit performance.

The results showed that the B model was, on average, 11 % more efficient than the A model. In the upper zone, the B model outperformed the A model by 16 %, in the lower zone by 12 %, and in the deepening zone by 6 %, with the latter showing a smaller difference due to the geomechanical characteristics of the rock mass. Based on these findings, an annual saving of \$23,397.42 was estimated by using the B model, demonstrating a significant reduction in drilling costs.

In conclusion, optimizing the performance of 64 mm drill bits through proper design selection and staff training can result in substantial improvements in operational efficiency and a reduction in drilling costs at the San Cristóbal Mine.

ÍNDICE

RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
LISTA DE TABLAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Fundamentación del problema	1
1.2 Formulación del problema	1
1.2.1 Problema general	1
1.2.2 Problemas específicos	1
1.3 Objetivo general y específicos	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 Justificación	2
1.4.1 Justificación práctica	2
1.4.2 Justificación teórica	3
1.5 Hipótesis general y específicos	3
1.5.1 Hipótesis general	3
1.5.2 Hipótesis específicos	3
1.6 Alcances y limitaciones de la investigación	3
1.6.1 Alcances	3
1.6.2 Limitaciones	4
1.7 Identificación de variable e indicadores	4
1.7.1 Variable independiente	4
1.7.2 Variable dependiente	4
1.8 Operacionalización de variables	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes	6
2.2 Ubicación y accesibilidad	8
2.3 Recursos y reservas de minerales	9

2.3.1	Recursos minerales	9
2.3.2	Reservas minerales	10
2.4	Precio de los metales	11
2.5	Geología	11
2.5.1	Geología regional	11
2.5.2	Geología local	12
2.5.3	Geología estructural	15
2.5.4	Geología económica	16
2.6	Bases teóricas	17
2.6.1	Columna de perforación	17
2.6.2	Brocas	19
2.6.3	Propiedades de los aceros de perforación	26
2.6.4	Mecánica de perforación	27
2.6.5	Modelo matemático para optimización de una broca de perforación	29
2.7	Operaciones mina	33
2.7.1	Métodos de explotación	33
2.7.2	Bench and fill - SLS	33
2.7.3	Zona de minado	42
2.7.4	Maquinaria minera en bench and fill - SLS	42
2.8	Caracterización del macizo rocoso	44
2.8.1	Índice de resistencia geológica - GSI	44
2.8.2	Clasificación geomecánica de bieniawski - RMR	45
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS		47
3.1	Tipo de investigación	47
3.2	Nivel de investigación	47
3.3	Método de investigación	47
3.4	Diseño de la investigación	47
3.5	Población y muestra	47
3.5.1	Población	47
3.5.2	Muestra	47
3.6	Procedimiento de la recolección de datos	48
3.7	Técnicas de procesamiento de datos	48
3.8	Proceso de la optimización	48

3.8.1	Definición del problema	48
3.8.2	Análisis del proceso actual	49
3.8.3	Identificación de oportunidades de mejora	49
3.8.4	Desarrollo de soluciones	49
3.8.5	Implementación	50
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES		52
4.1	Presentación de los resultados	52
4.1.1	Rendimientos y vida útil de los aceros perforación	56
4.1.2	Análisis de la caracterización del macizo rocoso en relación con el rendimiento de las brocas de 64 mm	58
4.1.3	Análisis de los factores que influyen en el consumo de las brocas de 64 mm	61
4.2	Reducción de costos de perforación	62
CONCLUSIONES		63
RECOMENDACIONES		64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		65
LISTA DE ABREVIATURAS		67
GLOSARIO		68
ANEXOS		70

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1.1	Variable y Definición Conceptual	5
Tabla N° 1.2	Dimensiones e Indicadores	5
Tabla N° 2.1	Rutas de acceso a la Mina San Cristóbal	9
Tabla N° 2.2	Precios de los metales del 2015 al 2021	11
Tabla N° 2.3	Dimensiones Scoop tram 6 yd^3	44
Tabla N° 4.1	Resumen histórico del número de metros perforados .	53
Tabla N° 4.2	Caracterización del macizo rocoso, zona alta modelo A.	59
Tabla N° 4.3	Caracterización del macizo rocoso, zona alta modelo B.	59
Tabla N° 4.4	Caracterización del macizo rocoso, zona baja modelo A.	59
Tabla N° 4.5	Caracterización del macizo rocoso, zona baja modelo B.	60
Tabla N° 4.6	Caracterización del macizo rocoso, zona de profundi- zación modelo A.	60
Tabla N° 4.7	Caracterización del macizo rocoso, zona de profundi- zación modelo B.	60
Tabla N° 4.8	Proyección de costos por modelo de broca.	62

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.1	Ubicación de la Mina San Cristóbal	8
Figura N° 2.2	Vía Ayacucho - Mina San Cristóbal	9
Figura N° 2.3	Reservas Minerales Volcan Compañía Minera 2021 .	10
Figura N° 2.4	Reservas Minerales Volcan Compañía Minera 2021 .	11
Figura N° 2.5	Mapa metalogénico y estructural del Domo de Yauli .	12
Figura N° 2.6	Plano Geológico San Cristóbal - Andaychagua	14
Figura N° 2.7	Columna Estratigráfica Generalizada	15
Figura N° 2.8	Shank adapter	17
Figura N° 2.9	Coupling	18
Figura N° 2.10	Barras de perforación.	18
Figura N° 2.11	Brocas	18
Figura N° 2.12	Broca retractil de 64 mm	21
Figura N° 2.13	Brocas de 38mm	21
Figura N° 2.14	Brocas de 48mm	21
Figura N° 2.15	Brocas de 51mm	22
Figura N° 2.16	Brocas retráctil de 64mm	22
Figura N° 2.17	Aguzadora neumática Sandvik RG400	23
Figura N° 2.18	Aguzadora eléctrica Bestlink EGM3	23
Figura N° 2.19	Copas de aguzado	24
Figura N° 2.20	Copas de aguzado sobre inserto	24
Figura N° 2.21	Muela de aguzado	25
Figura N° 2.22	Muela de aguzado sobre inserto	25
Figura N° 2.23	Punto óptimo para el aguzado	25
Figura N° 2.24	Evaluación del estado de la matriz de la broca	26
Figura N° 2.25	Mecánica de perforación	27
Figura N° 2.26	Abrasión	28
Figura N° 2.27	Abrasión profunda	28
Figura N° 2.28	Inicio de astillamiento	28
Figura N° 2.29	Astillamiento profundo	29
Figura N° 2.30	Sobre penetración	29
Figura N° 2.31	Perforación en preparación de subniveles	34
Figura N° 2.32	Desate en preparación de sub niveles	35
Figura N° 2.33	Limpieza en preparación de sub niveles	35
Figura N° 2.34	Desatado antes del lanzado de concreto	36
Figura N° 2.35	Sostenimiento con shotcrete	36

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Fundamentación del problema

A nivel internacional las operaciones mineras se ven supeditadas a la constante fluctuación del precio de los metales, esto conlleva a buscar la reducción de costos operativos entre ellos tenemos a la "**perforación**", operación unitaria que se desarrolla a diario para labores de avance y producción. A nivel nacional las empresas mineras tienen como reto la estandarización y optimización del proceso de perforación, de tal forma que esta sea lo mas rentable posible y genere beneficios en la operación.

En la Mina San Cristóbal se lleva a cabo la perforación por medio del contrato "**costo por metro perforado**", empleado por una empresa especializada, este modelo de negocio exige que los aceros de perforación cumplan y sobrepasen el promedio de su vida útil, generando de esta forma beneficio.

La investigación se realizo en labores de producción, donde se aplica el método de explotación "**Bench and Fill - SLS**", tenemos como elemento en la columna de perforación las brocas de **64mm**, las cuales presentan un bajo rendimiento dado que no cuenta con un estudio técnico bajo las condiciones geomecánicas del macizo rocoso presente en la mina San Cristóbal, esto genera un bajo rendimiento de las brocas de **64mm**, rotura de shank, barras, perdida parcial o completa de la columna de perforación y como consecuencia los costos de perforación son elevados.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Qué método optimizará el rendimiento de las brocas de 64 mm para reducir los costos de perforación en la mina San Cristóbal, Volcan Compañía Minera durante el año 2021?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿En qué medida el diseño de las brocas incide en el rendimiento de las brocas de 64 mm y la reducción de los costos de perforación?

-
- ¿En qué medida la identificación de las condiciones geomecánicas del macizo rocoso permitirían optimizar el rendimiento de las brocas de 64 mm?
 - ¿En qué medida incide la habilidad del operador en el rendimiento de las brocas de 64 mm?

1.3 Objetivo general y específicos

1.3.1 Objetivo general

Optimizar el rendimiento de las brocas de 64 mm, para reducir los costos de perforación en la mina San Cristóbal perteneciente a Volcan Compañía Minera durante el año 2021 .

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar el diseño de brocas de 64 mm adecuado para incrementar el rendimiento y reducir los costo de perforación.
- Capacitar a los colaboradores, para identificar las condiciones geomecánicas del macizo rocoso de tal manera que se optimice el rendimiento de las brocas de 64 mm.
- Implementar un plan de capacitaciones para mejorar la habilidad del operador de tal manera incrementar el rendimiento de las brocas de 64 mm.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación práctica

La mina San Cristóbal aplica el método de explotación "bench and fill - SLS", el método en mención esta relacionado directamente al uso de brocas de 64 mm como parte de la columna de perforación, una correcta administración en los aceros de perforación se vera reflejado en el rendimiento y bajo costo de perforación durante las operaciones. La presente investigación aborda la problemática del bajo rendimiento y elevado costo de perforación en las brocas de 64mm producidos por factores como: el tipo de macizo rocoso, habilidad del operador, aguzado de broca, diseño de broca y parámetros de perforación.

1.4.2 Justificación teórica

El estado del macizo rocoso es un factor que no se puede controlar directamente, por lo que es necesario realizar estudios y evaluaciones geomecánicas para determinar sus características en cuanto a calidad en una zona determinada. En el método de explotación, se realizan perforaciones en diferentes zonas, lo que implica que los parámetros de perforación se ajusten a las condiciones y entorno presentes. Se optimizó el rendimiento en las brocas de 64mm, en consecuencia se redujo el costo de perforación.

1.5 Hipótesis general y específicos

1.5.1 Hipótesis general

Si se optimiza el rendimiento de las brocas de 64 mm, se podrá reducir los costos de perforación en la mina San Cristóbal de Volcan Compañía Minera durante el año 2021.

1.5.2 Hipótesis específicos

- La optimización del diseño de las brocas de 64 mm incrementa su rendimiento, lo que se traduce en una disminución significativa de los costos de perforación.
- La capacitación de los colaboradores para identificar correctamente las condiciones geomecánicas del macizo rocoso optimiza significativamente el rendimiento de las brocas de 64 mm.
- La capacitación de los operadores incrementa significativamente el rendimiento de las brocas de 64 mm.

1.6 Alcances y limitaciones de la investigación

1.6.1 Alcances

La finalidad de esta investigación se centrara en el análisis descriptivo y comparativo de la teoría de perforación, diseño de los aceros de perforación, los parámetros de perforación y los temas relacionados con la columna de perforación, considerando la clasificación del macizo rocoso de la Mina San Cristóbal.

1.6.2 Limitaciones

- Cabe resaltar que el trabajo considera únicamente las labores de la Mina San Cristóbal, por lo que no se puede aplicar sus resultados a otras unidades mineras que presenten condiciones similares debido a la calidad del acero de perforación.
- Es importante destacar que la investigación se limitará exclusivamente a la minería subterránea.

1.7 Identificación de variable e indicadores

1.7.1 Variable independiente

Optimizar el rendimiento de las brocas de 64 mm.

1.7.1.1 Indicadores

- Metros perforados (m).
- Diseño de la broca de 64 mm.
- Factores y parámetros de perforación.
- Calidad del acero de brocas e inserto.
- Horas de capacitación al personal (hrs).

1.7.2 Variable dependiente

Reducción de los costos de perforación en la mina San Cristóbal.

1.7.2.1 Indicadores

- Costo por metro perforado ($\$/m$).
- Costo de adquisición de las brocas ($\$$).

1.8 Operacionalización de variables

TABLA N° 1.1: Variable y Definición Conceptual

Variable	Definición Conceptual
V.I. Optimizar el rendimiento de las brocas de 64 mm.	Es la optimización de los metros perforados con cada broca, valorando los adecuados procedimiento de perforación, calidad del acero de perforación y la capacitación al personal
V.D. Reducir los costos de perforación en la mina San Cristóbal.	Es la reducción de la valoración económica del costo unitario del acero de perforación.

TABLA N° 1.2: Dimensiones e Indicadores

Variable	Dimensiones	Indicadores
V.I. Optimizar el rendimiento de las brocas de 64 mm.	Valoración del procedimiento adecuado de perforación.	- Metros perforados - Diseño de la broca de 64 mm. - Factores y parámetros de perforación.
	Valoración de la composición del acero de perforación.	- Calidad del acero de brocas e inserto.
	Valoración de la capacitación al personal.	- Horas de capacitación al personal.
V.D. Reducir los costos de perforación en la mina San Cristóbal.	Evaluación del costo de los insumos y perforación.	- Costo por metro perforado. - Costo de adquisición de las brocas.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

- Muflehh (2024) en la tesis titulada “Wear of drill bit steel during rock drilling”. El proyecto realizado en la Universidad Tecnológica de Luleå en colaboración con Sandvik tenía como objetivo evaluar la efectividad de un equipo de pruebas de erosión por lodo para simular los mecanismos de desgaste en brocas de acero durante la perforación de roca. Los resultados indicaron que este equipo pudo replicar mecanismos de desgaste como el micro corte, micro arado y la deformación plástica, aunque con una severidad menor que en las brocas reales. Además, se concluyó que la dureza del acero es un factor determinante en el rendimiento frente al desgaste, con las muestras más duras (650 HV1) mostrando el mejor desempeño. Aunque se replicaron los mecanismos de desgaste, el equipo de pruebas no pudo simular completamente las condiciones de campo, especialmente el desgaste por impacto debido a la energía transmitida durante la perforación real, lo que sugiere la necesidad de realizar pruebas adicionales para validar estos hallazgos en el campo
- Quito Matos y Babilonia Jaramillo (2020) en la tesis titulada “Análisis de la vida útil de aceros de perforación para evaluar costos operativos en galerías Compañía Minera San Cristóbal S.A.A”. El objetivo de esta investigación es optimizar el uso de aceros de perforación en la unidad minera San Cristóbal de la compañía minera Volcan S.A.A. El método de optimización se centra en la información general de la geomecánica en el área de más pérdidas y se analizan los parámetros y factores involucrados en el área específica para optimizar. La metodología utilizada incluye un plan de acción para las causas generadoras de pérdidas, evaluación de riesgos y su influencia en el proceso de optimización y la evaluación de resultados. Los resultados indican que el rendimiento anual y mensual de las piezas de perforación para los equipos y las actividades de preparación y desarrollo de frentes de avance con el equipo Boomer S1D para el año 2018 fue de \$11,497.98 anual y \$383.27 mensual, y que el afilado de la broca genera un aumento en la vida útil de la broca y de las demás piezas de perforación, lo que optimiza los costos.
- Ruelas Alpaca (2020) en la tesis titulada “Optimización de vida útil de los aceros de perforación para disminuir costos en Unidad Minera Santa

Filomena - SOTRAMI S.A.”. El objetivo de esta investigación es mejorar el rendimiento de las brocas y aceros de perforación en la unidad minera SOTRAMI identificando las fuentes que ocasionan su desgaste y rotura, lo que genera pérdidas monetarias y tiempos muertos en las tareas de la supervisión. La metodología consistió en la implementación de herramientas como PETS, diseño de nuevas mallas de perforación, y control de paralelismo de los taladros. Los resultados obtenidos indican que la implementación de estas herramientas mejoró el rendimiento de los aceros de perforación y disminuyó la rotura de brocas y barrenos, lo que redujo las pérdidas económicas y el tiempo muerto. En conclusión, la implementación de estándares definidos y herramientas adecuadas son de gran ayuda para llevar un control adecuado de las tareas a realizar en las diferentes actividades en el interior de la mina.

- Mallma Perez (2020) en la tesis titulada “Optimización del uso de aceros de perforación en la UEA San Cristobal de Minera Bateas S.A.C.”. El objetivo de este trabajo fue mejorar la productividad y eficiencia en la perforación de rocas mediante el análisis de variables controlables y no controlables. La metodología fue implementar medidas correctivas para mejorar el uso adecuado de los aceros de perforación y su operatividad, considerando la selección adecuada del varillaje y la perforadora según el terreno. Se destaca la importancia de la supervisión y la mejora continua a través del uso de controles adecuados. En resumen, la selección de un equipo de alta velocidad y tecnología avanzada junto con la correcta selección y uso de los aceros de perforación son fundamentales para mejorar la productividad y eficiencia en la perforación de rocas.
- Camarena Cosme (2021) en la tesis titulada “Optimización de las brocas de 38,45mm y del sistema de perforación, con fines de disminuir costos en la UEA Semiglo de la Empresa Minera Atacocha S.A.”. El objetivo de esta investigación se enfocó en reducir los costos asociados con el consumo excesivo de aceros de perforación en la unidad minera Atacocha de EE SEMIGLO SAC. Para lograr este objetivo, se propuso la creación de un taller de afilado de brocas centralizado para optimizar el rendimiento de la columna de perforación. La metodología aplicada fue realizar charlas de sensibilización sobre los métodos de perforación y pruebas experimentales en campo con los equipos de perforación, que incluían 11 jumbos de la marca Sandvik y equipos de la marca Atlas Copco. Se

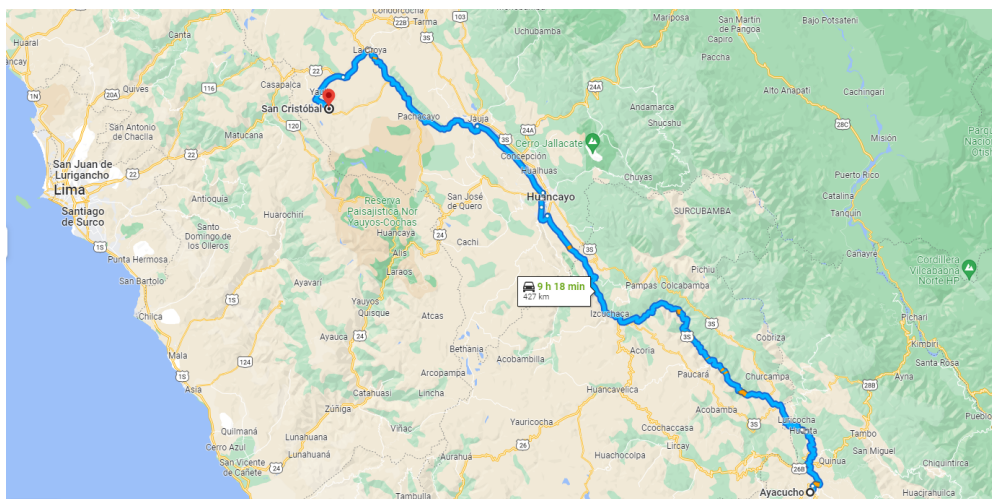


FIGURA N° 2.2: Vía Ayacucho - Mina San Cristóbal. Adaptado de Maps (2023)

TABLA N° 2.1: Rutas de acceso a la Mina San Cristóbal

RUTA	KMS	HRS
Ayacucho - San Cristóbal	427	9
Lima - San Cristóbal	160	5

2.3 Recursos y reservas de minerales

Sobre la estimación de recursos y reservas de Volcan al 31 de diciembre del 2021, siguiendo los estándares internacionales establecidos en el JORC CODE y con el soporte técnico de Glencore. También se detalla el uso de softwares especializados para definir recursos y reservas, así como la planificación de programas de perforación diamantina para reponer e incrementar reservas. Sin embargo, debido a la pandemia, la campaña de perforación se redirigió a cubrir los bloques del plan de minado considerados en el LOM 2021. El cálculo de reservas y recursos se realizó utilizando proyecciones anuales de precios de metales de largo plazo para la vida de mina de cada unidad operativa.

2.3.1 Recursos minerales

Los recursos minerales son los depósitos de minerales que se encuentran en la tierra y que tienen el potencial de ser extraídos y utilizados en la industria. Estos recursos se clasifican en tres categorías: medidos, indicados e inferidos, según el nivel de certeza y confiabilidad de su estimación. A continuación detallamos las reservas de Volcan al 2021.

Recursos minerales medidos e indicados por tipo de explotación		MM de TM	Leyes			
			Zn %	Pb %	Cu %	Ag oz/TM
Minas subterráneas		52.4	6.2	1.3	0.2	3.4
Yauli	San Cristóbal	19.8	6.5	1.1	0.2	4.1
	Carahuacra	6.4	5.8	0.9	0.1	2.9
	Andaychagua	8.2	6.6	1.2	0.1	3.2
	Ticlio	5.4	4.6	1.0	0.3	1.8
Chungar	Animón	9.7	7.7	2.4	0.2	2.8
	Islay	2.8	1.8	0.8	0.0	4.8
Tajos abiertos		4.7	0.5	0.4	0.0	3.3
Cerro	Óxidos In Situ	2.8	0.0	0.1	0.0	4.6
Alpamarca	Alpamarca	2.0	1.0	0.8	0.1	1.6
Stockpiles		12.8	0.7	0.3	0.0	1.2
Cerro	SP Óxidos	4.4	0.1	0.2	0.1	1.9
	SP Sulfuros	8.4	1.0	0.4	0.0	0.9
Proyectos		82.2	1.6	0.6	0.4	0.5
Palma	Palma	12.5	4.5	0.9	0.0	0.9
Yauli	Zoraida	2.8	4.6	3.1	0.1	4.4
Carhuacayán	La Tapada	3.6	3.6	1.5	-	1.5
Rondoní	Rondoní	52.7	-	-	0.5	-
Recursos medidos e indicados totales		152.1	3.1	0.8	0.3	1.6

FIGURA N° 2.3: Reservas Minerales Volcan Compañía Minera 2021. Adaptado de Volcan (2022)

2.3.2 Reservas minerales

Las reservas minerales son aquellas que pueden ser explotadas económicamente, tomando en cuenta la presencia de materiales diluidos y las posibles pérdidas que puedan ocurrir durante el proceso de extracción. Según su nivel de confianza, estas reservas pueden ser clasificadas como probadas o probables. A continuación detallamos las reservas de Volcan al 2021.

Reservas minerales por tipo de explotación		MM de TM	Zn %	Pb %	Leyes Cu %	Ag oz/TM
Minas subterráneas		20.1	5.2	1.0	0.1	2.7
Yauli	San Cristóbal	10.1	4.9	0.8	0.1	3.0
	Carahuacra	1.3	5.2	1.1	0.1	3.3
	Andaychagua	4.4	6.6	1.1	0.1	2.5
	Ticlio	0.8	5.2	0.8	0.4	2.0
Chungar	Animón	3.2	4.5	1.7	0.1	1.9
	Islay	0.4	2.9	1.1	0.1	3.7
Tajos abiertos		3.4	1.4	0.6	0.0	2.0
Alpamarca	Alpamarca	0.6	1.0	0.8	0.1	1.3
Cerro de Pasco	OIS + sulfuros	2.8	1.5	0.6	0.0	2.1
Reservas totales		23.5	4.6	1.0	0.1	2.6

FIGURA N° 2.4: Reservas Minerales Volcan Compañía Minera 2021. Adaptado de Volcan (2022)

2.4 Precio de los metales

El precio de los metales en el año 2021 ha sido altamente volátil, influenciado por una serie de factores, incluyendo la pandemia de COVID-19, la política económica de los Estados Unidos y los problemas de suministro. Si bien algunos metales han experimentado aumentos significativos en los precios, otros han visto una disminución. En general, se espera que la demanda de metales siga siendo fuerte a medida que la economía global continúa recuperándose. A continuación tenemos la evolución del precio de los metales del 2015 al 2021.

TABLA N° 2.2: Precios de los metales del 2015 al 2021. Adaptado de Volcan (2022)

Precios de los metales	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Zinc (USD/TM)	1,933	2,091	2,894	2,925	2,549	2,265	3,005
Plomo (USD/TM)	1,786	1,871	2,318	2,244	1,998	1,824	2,205
Cobre (USD/TM)	5,502	4,863	6,163	6,525	6,005	6,167	9,315
Plata (USD/oz)	15.7	17.1	17.1	15.7	16.2	20.5	25.2

2.5 Geología

2.5.1 Geología regional

La geología local de Yauli está dominada por una secuencia de rocas sedimentarias y volcánicas que pertenecen al Cenozoico.

La secuencia sedimentaria está compuesta principalmente de conglomerados, areniscas y lutitas que se depositaron en ambientes fluviales y lacustres durante el Eoceno y el Oligoceno. Estas rocas son importantes porque contienen depósitos de oro y plata, así como minerales de cobre, zinc y plomo.

La secuencia volcánica está compuesta por rocas ígneas extrusivas y subvolcánicas de andesita, dacita y riolita. Estas rocas se formaron durante el Oligoceno y el Mioceno como resultado de la actividad volcánica asociada con la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana.

Además, la geología local de Yauli incluye depósitos de calizas, especialmente en la zona de la Cordillera Occidental. Estas rocas son importantes para la industria de la construcción y también contienen depósitos de minerales como el cobre y el zinc.

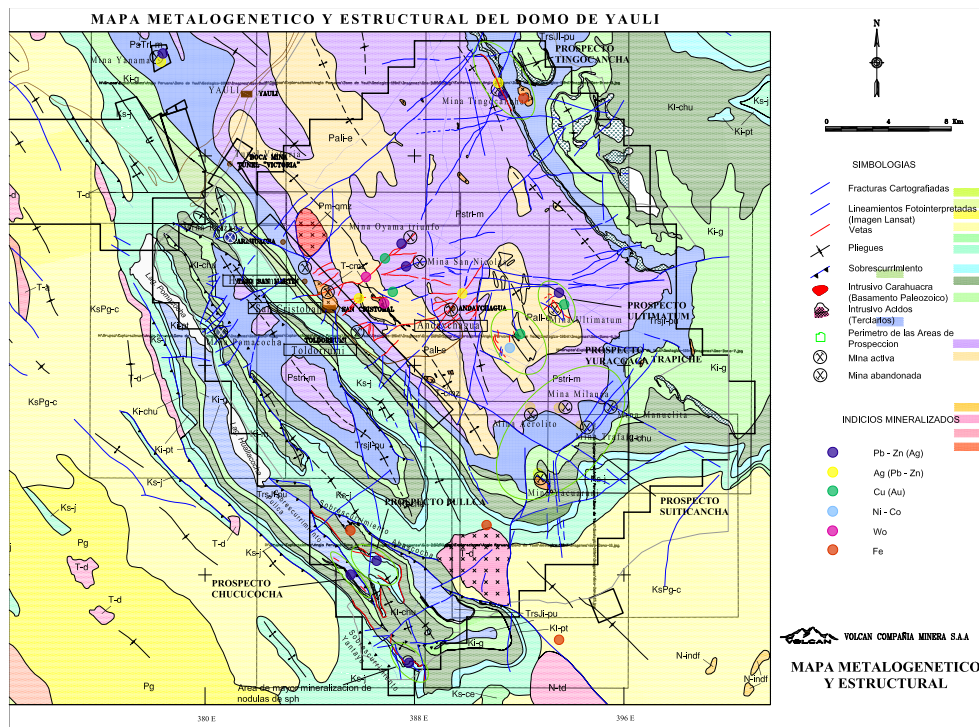


FIGURA N° 2.5: Mapa metalogénico y estructural del Domo de Yauli. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal. Para ver la imagen en mayor tamaño, consulte el capítulo Anexos, Figura N° 4.12.

2.5.2 Geología local

2.5.2.1 Grupo Excelsior

la unidad geológica que aflora en el núcleo del domo de yauli. Se ha mapeado al este de la mina Ultimatum y forma parte del flanco este del anticlinal con el

mismo nombre. También se encuentra en ventanas tectónicas en la zona oeste de Tincocancha. La unidad está compuesta de filitas de color gris oscuro a negro, con algunas tonalidades amarillentas debido a la impregnación de óxidos. El metamorfismo regional ha provocado la formación de lentes irregulares de cuarzo en las filitas. La unidad está intensamente fracturada y los fallamientos muestran un desarrollo curvado debido a la plasticidad de las filitas. Esta unidad geológica data del período Devónico.

2.5.2.2 Grupo Mitu

La unidad geológica que sobreyace con discordancia erosional a las filitas Excelsior en el sector oriental del domo. La unidad geológica está compuesta en su base por conglomerados gruesos, areniscas y limolitas arcósicas de color rojizo y pardo. En la parte superior, está compuesta por volcanoclásticos riolíticos y derrames volcánicos andesíticos a dacíticos de carácter irregular. Esta unidad geológica data del período comprendido entre el Pérmico medio y el Triásico inferior.

2.5.2.3 Grupo Pucará

La unidad geológica que bordea el domo desde Suitucancha hasta Morococha y desde Tincocancha hasta San Cristóbal y Carahuacra. Sobreyace con discordancia erosional a la serie clástica del Grupo Mitu y en algunas zonas se observa encima de formaciones más jóvenes por efecto de sobreescurrecimientos. La unidad está compuesta por limolitas calcáreas, margas y calizas arcillosas, así como por rocas calcáreas, calizas dolomíticas y dolomitas calcáreas. También hay niveles de yeso y derrames basálticos concordantes a la estratificación. Se le asigna una edad Triásico superior - Liásico. En la laguna Putcacocha se observan pseudomorfos de baritina.

2.5.2.4 Grupo Goyllar

La formación que bordea el domo de yauli y se encuentra discordante sobre el Pucará y concordante debajo de las calizas de la formación Chúlec. Tiene un espesor de 80 a 100 metros y se divide en dos unidades: una de lutitas, limolitas y areniscas finas poco consolidadas y otra de areniscas cuarzosas blancas y lutitas, que se vuelven cada vez más calcáreas hacia el techo y terminan en las calizas Chúlec. También hay derrames de diabasas en la base de la secuencia de lutitas y limolitas rojizas. Se estima que la edad de esta

formación es Neoconiano-Aptiano.

2.5.2.5 Grupo Machay

La formación identificada aflora en las zonas sur, este y oeste del área que se ha cartografiado. Se encuentra por encima del Grupo Goyllar y debajo de la formación Jumasha, y es concordante con ambas formaciones. Además, se ha identificado la presencia de las formaciones Chúlec y Pariatambo al sur y al oeste del domo de yauli.

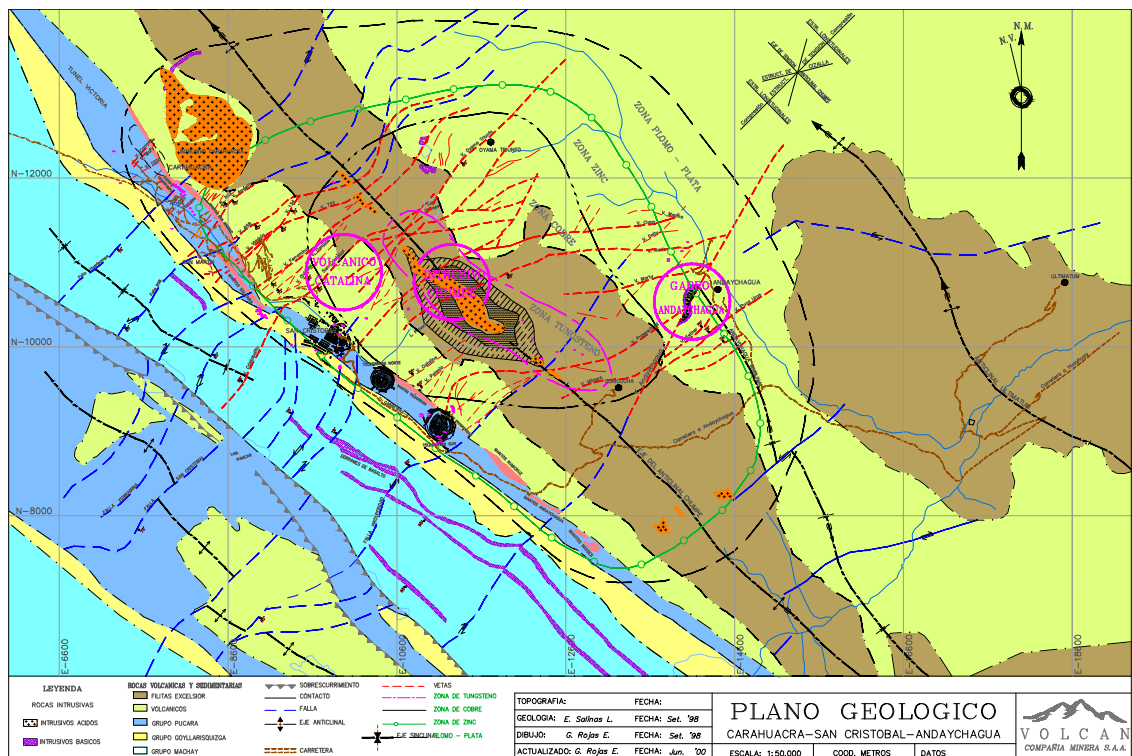


FIGURA N° 2.6: Plano Geológico San Cristóbal - Andaychagua. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal. Para ver la imagen en mayor tamaño, consulte el capítulo Anexos, Figura N° 4.13.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA GENERALIZADA								
ERA	SISTEMA	EPOCA	EDADES PISOS	UNIDAD LITOLOGICA	GRAFICO	FORMACION SEDIMENTARIA	FORMACION IGNEA	MINERALIZACION
CENOZOICO	CUATERNARIO					Sedimentos no consolidados		
	TERCIARIO			CAPAS ROJAS CASAPALCA		Discordancia erosional Conglomerados calcareos Calizas Lutitas Calcareas	Intrusivos intermedios Cuarzo-Dioritas	
MESOZOICO	CRETACEO	INFERIOR	COMANCHEADO	FORMACION JUMASHA		Discordancia erosional Calizas masivas y Dol. poco fosilíferas Basalto	Cuellos de Basaltos a traves de todas las Formaciones	Mineralización estratoligada de Fe,Ba,Zn,Pb,Ag,Cu.
		NEOCOMICO		GRUPO MACHAY FORMACION PARIATAMBO FORMACION CHULEC		Alternancia de Clz. Bit. con nódulos de chert Calizas y Dolomias		
				GRUPO GOYLLAR		Alternancia de Clz Margozas Fosil. Qzt Basalto Montero Areniscas Limolitas rojizas	Diorita + Gabro	
		INFERIOR O EOCRETACEO (LIAS)	NEOCOMIANO TOARCIANO PLIENSABACHIANO	FORMACION CONDORSINGA		Calizas gris claras y dol. Blancas amarillentas Basalto Montero Bx Calcareas Chert, Dol.		Mineralización estratoligada de Fe,Ba,Zn,Pb. con sobreimpresión de Mineralización Hidrotermal forma de cuerpos y mantos.
	JURASICO		HETTANGIANO	GRUPO PUCARA FORMACION ARAMACHAY		Calizas con Yeso		
	TRIASICO	SUPERIOR O MESOTRIASICO	RETIANO NORIANO	FORMACION CHAMBARA		Calizas y Dolomias		
PALEOZOICO	PERMICO	ERTRIOSICO SUPERIOR	OCHOA	GRUPO MITU		Discordancia erosional Lentes de areniscas y conglomerados rojizos	Derrames de Dacita y Andesita Intrusivo intermedio tipo Carahuacra Cuarzo- Monzonitica	Mineralización estratoligada de Zn,Pb,Fe,Cu,Ba,Mn.
		MEDIO	GUADALUPE LEONARDO			Discordancia erosional	Volcánicos Volcanoclasticos morados	Mineralización Hidrotermal en Vetas de W,Sn,V,Bi,Cu,Zn, Pb,Ag,Sb.
	DEVONICO	SUPERIOR	CHAUTAUQUAN	GRUPO EXCELSIOR		Filitas		Mineralización estratoligada de Ni,Co
		MEDIO	ERIAN (HAMILTON)			Mármoles fosilíferos	Volcanicos verdes	Mineralización estratoligada de Cu,Zn,Pb,Fe
			ULSTER			Cuarcitas		

FIGURA N° 2.7: Columna Estatigrafica Generalizada. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

2.5.3 Geología estructural

El Domo de Yauli (DY), es una estructura tectónica en la Cordillera Occidental de los Andes Peruanos que se extiende desde el Paso de Anticona hasta la

Quebrada de Suitucancha. Tiene una longitud de 30 km y un ancho de hasta 15 km, y está orientado en dirección andina NW-SE. En el núcleo del domo se superponen las tectónicas Hercínicas y Andinas. En el sector Oeste del domo, las formaciones jurásico-cretácicas están afectadas por pliegues apretados, fallas inversas y sobreescurrecimientos debido a esfuerzos compresivos, y los fracturamientos antiandinos tensionales son muy desarrollados. El informe se centra en el mapeo de la parte media y sur del DY a partir del Valle de Yauli y no incluye el Distrito Minero Morococha-Ticlio ni los prospectos conocidos como Suitucancha y Ultimatum. Se han identificado varios sistemas tectónicos en esta zona.

2.5.3.1 Sistema de Plegamientos y Fallamientos Inversos

El sistema en el flanco Oeste del domo de yauli es una estructura regional que abarca las zonas de Matucana y La Oroya, con una longitud de más de 60 km y un ancho de 10 a 15 km. En la zona de mapeo, el estilo tectónico está representado por sobreescurrecimientos y pliegues asimétricos tumbados hacia el este, así como por pliegues en chevrón apretados y fallas inversas menores. Los pliegues más representativos son el Anticlinal de Magistral y el Anticlinal de Pullca. La zona también presenta intrusivos ácidos terciarios y alteraciones tipo skarn, con mineralización de metales base. Estas estructuras son producto de la fase compresiva de la Orogenia Andina (Fase Incaica). El centro del DY está afectado por los Anticlinales de Chumpe y Ultimátum, mientras que en el flanco Este del DY se observa una réplica menos desarrollada del sistema.

2.5.4 Geología económica

Los diferentes tipos de mineralizaciones encontradas en la Mina San Cristóbal perteneciente a Volcan Compañía Minera. Se mencionan mineralizaciones tipo skarn y mineralización hidrotermal y reemplazamientos en carbonatos en las formaciones Pucará, Chulec-Pariatambo y Jumasha. Los cuerpos de magnetita masiva y pirrotita que se desarrollan en las aureolas de skarn generados por los intrusivos ácidos en contacto con la formación Pucará son estériles, excepto en Tincocancha, que muestra valores anómalos de cobre. La mineralización hidrotermal se caracteriza por vetas angostas con mineralización de metales base, y la zona de la Mina Yacuarumi tiene interés prospectivo con posibilidades económicas. La mineralización estratiforme de Pb-Zn se ha encontrado en las formaciones cretáceas en la zona suroeste del DY, pero no representa valores económicos por el momento. La mineralización en el Jumasha consiste

en un manto irregular con esfalerita masiva, galena, pirita, cuarzo y baritina y tiene posibilidades económicas e importancia metalogenética. La mineralización en el Grupo Pucará está alojada en la parte superior del Pucará y tiene implicancias metalogenéticas importantes pero no reviste importancia económica.

2.6 Bases teóricas

2.6.1 Columna de perforación

La columna de perforación es un conjunto de elementos que se acoplan para transmitir la energía y rotación mecánica hacia la broca, para realizar la perforación. La columna de perforación varía de acuerdo a la maquinaria minera y el fabricante, en general los elementos son:

- **Shank adapter:** El Shank cumple la función de transmitir la energía y rotación mecánica desde el martillo de perforación hasta la barra. También actúa como una unión entre el martillo de perforación y los demás componentes de la columna de perforación, como el acople y la barra. Es esencial para transferir la energía necesaria para perforar la roca y facilitar la operación de la columna de perforación.



FIGURA N° 2.8: De arriba a abajo: Shank para empernador y frontonero.

- **Coupling:** El coupling es el nexo entre el shank y las barras de perforación, estos pueden ser de equipos frontoneros o de sostenimiento.



FIGURA N° 2.9: Coupling

- Barras: Existe una gran variedad de barras, estas varían en función a la maquinaria minera, puede ser para equipos frontoneros, sostenimiento o taladros largos.



(a) Barras de 10 y 12 pies.



(b) Barras de 4 y 5 pies.

FIGURA N° 2.10: Barras de perforación.

- Brocas: Las brocas son el elemento de la columna de perforación mas variable, debido a su diseño y finalidad a perforar.



FIGURA N° 2.11: De izquierda a derecha: Rimadora tipo domo; broca retractil de 64mm Y broca de 51mm.

2.6.2 Brocas

La broca es el elemento final de la columna de perforación, la cual por medio del mecanismo de rotopercusión, perfora la roca generando así un taladro que posteriormente alojara explosivo u otro tipo de fin como: servicios, sondeo de labores cercanas, etc. Dada esta introducción, podemos definir a la broca como un elemento de acero que contiene insertos de carburo de tungsteno y cobalto distribuidos de forma geométrica acorde a su diseño, los insertos de las brocas de perforación pueden tener diferentes formas y diseños, cada uno adaptado a un tipo de terreno específico y a la función que deben cumplir. Algunas de las formas más comunes de los insertos son:

- Forma cónica: Estos insertos tienen forma de cono y son adecuados para perforar rocas duras y abrasivas. La punta cónica proporciona una mayor concentración de fuerza en un área pequeña, lo que ayuda a romper la roca de manera más eficiente.
- Forma esférica: Los insertos con forma esférica se utilizan para perforar rocas duras y abrasivas, pero tienen una superficie más suave que los insertos cónicos, lo que los hace ideales para terrenos más blandos o rocas fracturadas.
- Forma parabólica: Estos insertos tienen una forma más curva y se utilizan para perforar rocas más blandas y menos abrasivas. La forma parabólica ayuda a cortar la roca de manera más efectiva y evita que el inserto se clave en el terreno.

Las brocas son usadas por equipos de perforación frontoneros, taladros largos y sostenimiento, según la necesidad y características del equipo y columna de perforación.

2.6.2.1 Especificaciones técnicas de la broca retractil de 64 mm

En la presente investigación se realizó un análisis de rendimiento entre dos modelos de broca retractil de 64 mm, la primera 1531-64t38-410/810-45-31 en adelante mencionada como modelo A y la broca 1533-64t38-410/611-45-31 en adelante mencionada como modelo B. Procediendo a describir sus especificaciones técnicas en la figura N° 2.12.

1. Modelo A (Código: 1533-64T38-410/810-45-31)

- Número de botones frontales (Frente): 3 x 10
- Número de botones laterales (Lateral): 6 x 10
- Ángulo de inclinación: 35°
- Número de agujeros de barrido (Frente): 3
- Peso aproximado: 2.2 kg
- Grado de Acero: L435-2
- Grado de Carburo de Tungsteno: RTW362

2. Modelo B (Código: 1533-64T38-410/611-45-31)

- Número de botones frontales (Frente): 3 x 10
- Número de botones laterales (Lateral): 6 x 10
- Ángulo de inclinación: 35°
- Número de agujeros de barrido (Frente): 3
- Número de agujeros de barrido (Lateral): 3
- Peso aproximado: 2.2 kg
- Grado de Acero: L435-2
- Grado de Carburo de Tungsteno: RTW362

2.6.2.2 Descripción adicional

Estas brocas están diseñadas para maximizar la eficiencia de perforación en condiciones exigentes, proporcionando una combinación óptima de dureza, resistencia y rendimiento.

- Grado de Acero L435-2: Este grado de acero se caracteriza por su alta resistencia mecánica y dureza, lo que lo hace ideal para aplicaciones en herramientas de perforación, proporcionando durabilidad y capacidad para resistir el desgaste y la deformación bajo condiciones de alta carga.
- Grado del Carburo de Tungsteno RTW362: Es un tipo de carburo de tungsteno que ofrece excelente resistencia al desgaste y capacidad de corte, ideal para aplicaciones en perforación donde se requiere una vida útil prolongada y eficiencia en la remoción de material.

深孔螺纹钎具

BROCAS RETRACTIL

T38

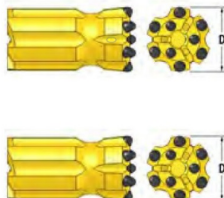
钎头 BROCA	长度 Longitud		合金数量x直径 Número de botones			水孔数量 Agujero de barrido		重量	Codigo de producto
	毫米 mm	英寸 inch	芯齿 Fronte	边齿 Lateral	倾角 Angulo	正 Fronte	侧 Lateral	Peso Aprox. kg	
圆齿 BOTONES ESFERICOS									
	64	2 1/2	3x10	6x10	35°	3	-	2.2	1531-64T38-410/810-45-31
	64	2 1/2	3x10	6x10	35°	3	3	2.2	1533-64T38-410/611-45-31
	70	2 3/4	4x11	8x11	40°	2	-	2.4	1531-70T38-411/811-45-31
	70	2 3/4	3x10,1x10	6x13	35°	3	-	2.4	1533-70T38-410/613-45-31
	70	2 3/4	4x10,1x10	8x11	35°	4	-	2.4	1632-70T38-510/811-45-31
	76	3	4x11	8x11	40°	2	-	3.3	1531-76T38-411/811-45-31
	76	3	4x11,1x11	8x11	35°	4	-	3.3	1632-76T38-511/811-45-31
	76	3	4x11,1x11	8x12	35°	4	-	3.3	1632-76T38-511/812-45-31
	89	3 1/2	4x13	8x13	40°	2	-	4.8	1531-89T38-413/813-45-31
	89	3 1/2	5x13	8x13	35°	2	-	4.8	1531-89T38-513/813-45-31
	89	3 1/2	6x11	8x12	35°	2	-	4.8	1531-89T38-611/812-45-31
	89	3 1/2	4x11,1x11	8x13	35°	4	-	4.8	1533-89T38-511/813-45-31
	89	3 1/2	4x13,1x13	8x13	35°	4	-	4.8	1632-89T38-513/813-45-31

FIGURA N° 2.12: Ficha técnica Broca retractil de 64 mm, modelo A Y B.Para ver la imagen en mayor tamaño, consulte el capítulo Anexos, Figura N° 4.16.



FIGURA N° 2.13: Brocas de 38mm.



FIGURA N° 2.14: Brocas de 48mm.

2.6.2.3 Aguzado de brocas

El aguzado de brocas es un proceso fundamental, ya que permite mantener los insertos en óptimas condiciones y optimizar su vida útil. En este proceso, se afilan los insertos de la broca para recuperar su forma inicial y de esta manera pueda fracturar la roca de forma eficiente, reduciendo así el tiempo y el costo de la perforación.



FIGURA N° 2.15: Brocas de 51mm.



FIGURA N° 2.16: Brocas retráctil de 64mm.

Existen diferentes técnicas y herramientas para aguzar las brocas, pero todas tienen en común el objetivo de restaurar la forma desbastando los insertos de la broca. Uno de los métodos más comunes es el aguzado manual con limas y

piedras de afilar (copas), en el que el operario utiliza una herramienta neumática para dar forma y pulir los insertos de la broca. Otra técnica es el aguzado automático mediante máquinas de aguzado, que permiten afilar varias brocas a la vez de manera rápida y precisa.



FIGURA N° 2.17: Aguzadora neumática Sandvik RG400



FIGURA N° 2.18: Aguzadora eléctrica Bestlink EGM3.

El aguzado de brocas es un proceso crítico en el cuidado de los aceros de perforación, ya que insertos con un afilado deficiente pueden reducir la eficiencia de la perforación e incluso reducir la vida útil de la broca. Además, un aguzado inadecuado puede afectar la calidad de la perforación, causando desviación de taladros y aumentando el riesgo de accidentes, etc.

Por esta razón, es importante que el personal encargado del aguzado de brocas tenga la formación y la experiencia necesarias para realizar el trabajo de manera adecuada. Además, se deben seguir las normas de seguridad, uso completo de EPP's y de mantenimiento de las herramientas para garantizar un aguzado eficaz y seguro.



FIGURA N° 2.19: Copas de aguzado.



FIGURA N° 2.20: Copas de aguzado sobre inserto.

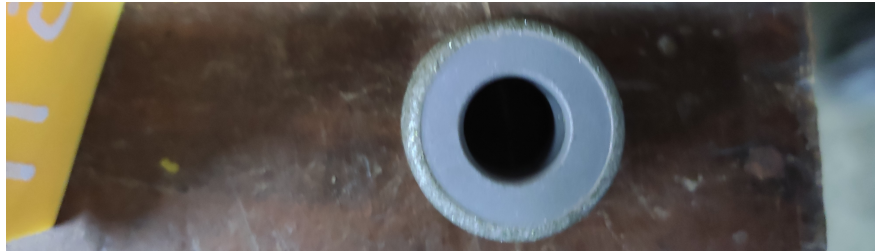


FIGURA N° 2.21: Muela de aguzado.



FIGURA N° 2.22: Muela de aguzado sobre inserto.

El cuidado integral de la broca es fundamental para asegurar la vida útil de la misma, por ello la supervisión constante del estado de los insertos de la broca es importante, para esto se utiliza herramientas como el vernier y se mide el diámetro de la matriz y los insertos, los resultados obtenidos no deben ser menores a los estándares de la operación, en cuanto a los insertos deben ser afilados cuando el desgaste alcance $1/3$ del diámetro del inserto.

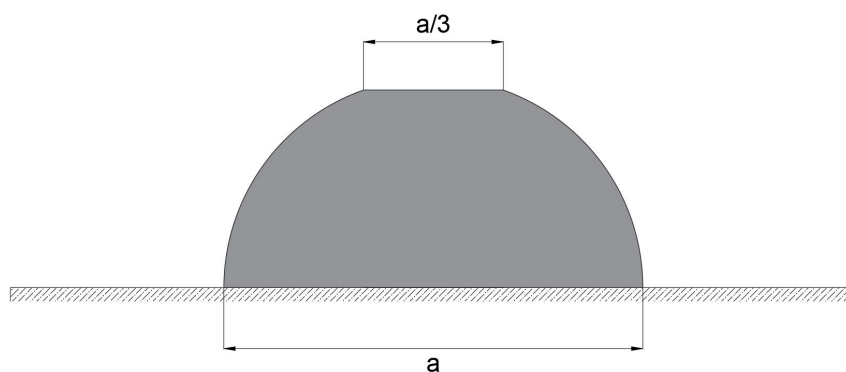


FIGURA N° 2.23: Punto óptimo para el aguzado de broca a $1/3$ del diámetro.



FIGURA N° 2.24: Evaluación del estado de la matriz de la broca.

2.6.3 Propiedades de los aceros de perforación

Los aceros utilizados en perforación son aleaciones diseñadas específicamente para resistir las condiciones rigurosas del proceso de perforación en la minería y la exploración. Algunas de las propiedades más importantes de los aceros de perforación incluyen:

- Resistencia a la fatiga: El acero de perforación debe tener una alta resistencia a la fatiga para soportar las vibraciones y las cargas repetitivas de la perforación. La resistencia a la fatiga se mide en el número de ciclos que el material puede soportar antes de fallar.

- Dureza: El acero de perforación debe tener una dureza suficiente para cortar a través de la roca y el suelo. La dureza se mide en la escala de Mohs y se correlaciona con la capacidad del acero para resistir la abrasión.
- Tenacidad: El acero de perforación debe tener una alta tenacidad para soportar las tensiones extremas que se producen durante la perforación. La tenacidad se mide por la capacidad del acero para resistir la fractura por impacto.
- Resistencia a la corrosión: Los aceros de perforación están expuestos a ambientes altamente corrosivos y, por lo tanto, deben tener una buena resistencia a la corrosión para evitar la oxidación y la degradación del material.
- Propiedades de corte: Las propiedades de corte, como la dureza, el filo y la geometría de los insertos, son críticas para la eficiencia de la perforación. Los aceros de perforación se diseñan para tener una geometría y filo adecuados para cada tipo de formación rocosa que se va a perforar.

2.6.4 Mecánica de perforación

La perforación por rotopercusión con martillo de cabeza, es un método de perforación que se utiliza para perforar roca dura. En este método de perforación, la broca unida a la parte inferior de la barra de perforación hueca gira y mueve hacia arriba y hacia abajo en el fondo del taladro, rompiendo en pedazos pequeños la roca que se encuentra en el camino. A medida que se perfora el agujero, los trozos de roca y sedimentos son evacuados por medio del agua a medida que profundiza la perforación.

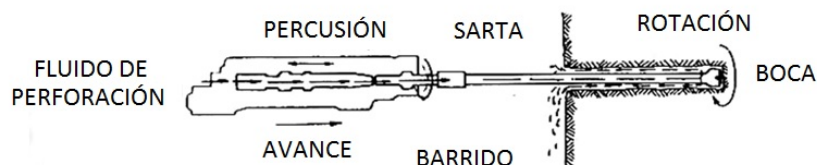


FIGURA N° 2.25: Mecánica de perforación por rotopercusión Adaptado de Universitat Politècnica de València (2023).

2.6.4.1 Mecánica de corte de los insertos sobre la roca

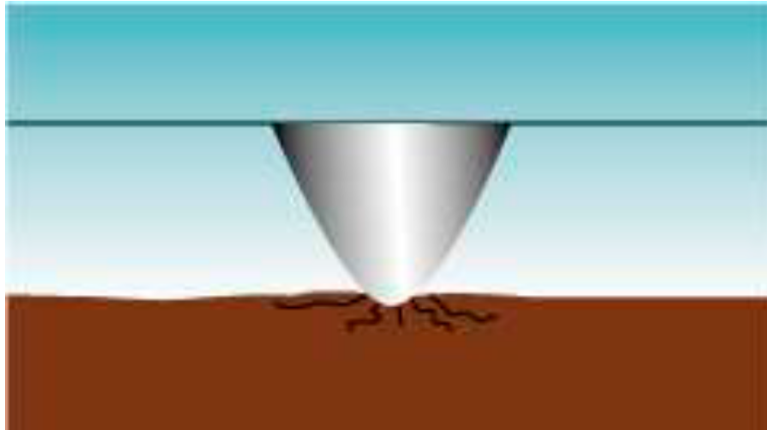


FIGURA N° 2.26: Abrasión. Adaptado de Atlas-Copco (2022).

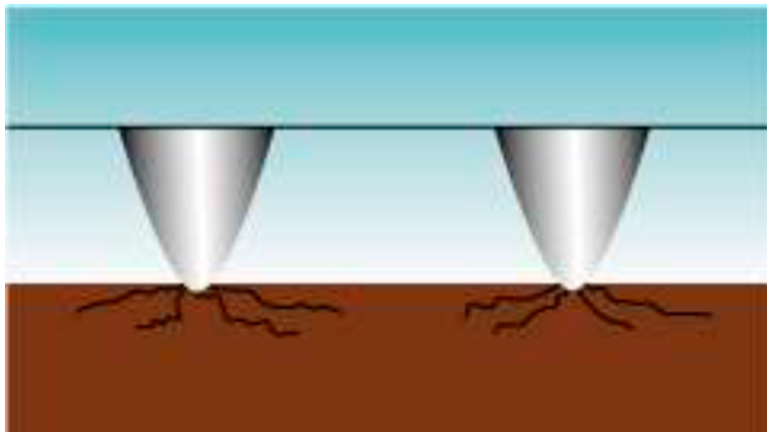


FIGURA N° 2.27: Abrasión profunda. Adaptado de Atlas-Copco (2022).

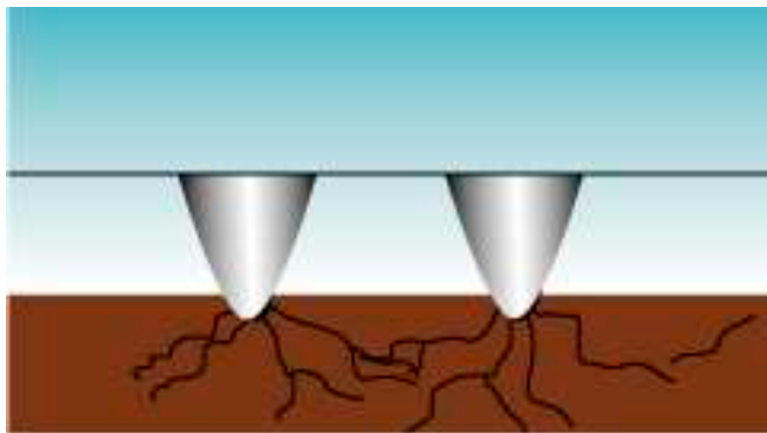


FIGURA N° 2.28: Inicio de astillamiento. Adaptado de Atlas-Copco (2022).

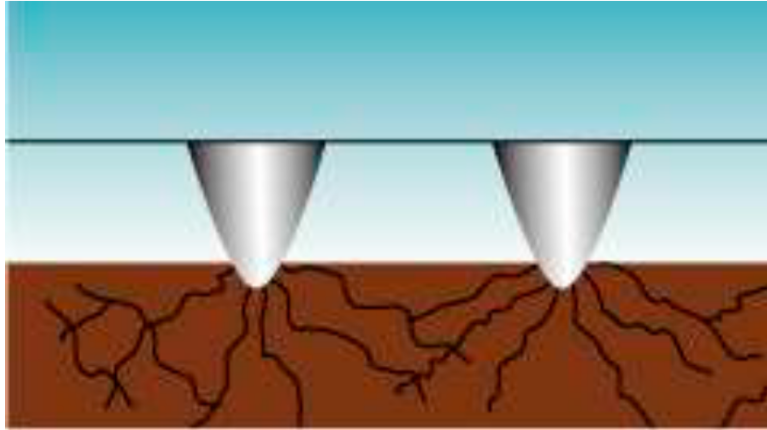


FIGURA N° 2.29: Astillamiento profundo. Adaptado de Atlas-Copco (2022).

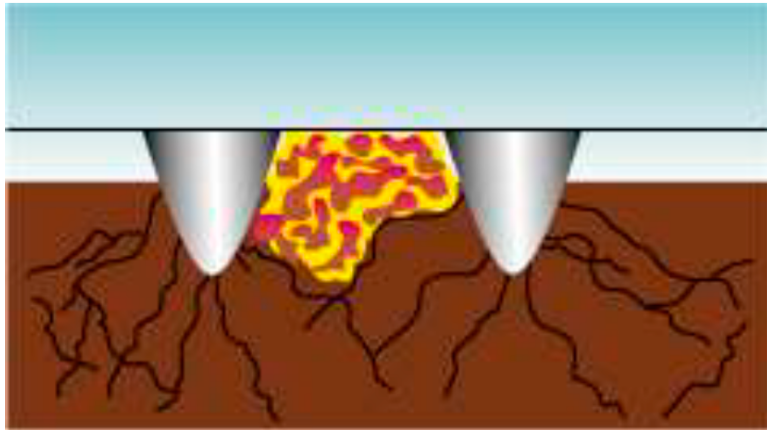


FIGURA N° 2.30: Sobre penetración. Adaptado de Atlas-Copco (2022).

2.6.5 Modelo matemático para optimización de una broca de perforación

2.6.5.1 Función objetivo

El objetivo del modelo es maximizar el rendimiento de perforación, que se define como el volumen de roca removida por unidad de tiempo, y minimizar el desgaste de la broca y el consumo de energía.

$$\text{Maximizar } PR = \frac{R \cdot A_b}{1 + \beta \cdot W}$$

Donde:

- PR : Rendimiento de perforación (m^3/s).
- R : Velocidad de penetración (m/s).

-
- A_b : Área de la broca en contacto con la roca (m^2).
 - β : Coeficiente de penalización del desgaste (valor empírico que pondera la importancia del desgaste en el rendimiento).
 - W : Coeficiente de desgaste (varía de 0 a 1).

2.6.5.2 Velocidad de Penetración (R)

Según Huang y Detournay (2008), la velocidad de penetración en este modelo se calcula considerando la energía de impacto, la presión axial y la resistencia de la roca:

$$R = \frac{E_{\text{imp}} \cdot f + P_{\text{ax}} \cdot A_b}{\sigma_c \cdot V_r}$$

Donde:

- E_{imp} : Energía de impacto por golpe (J).
- f : Frecuencia de percusión (Hz).
- P_{ax} : Presión axial (N).
- σ_c : Resistencia a la compresión de la roca (Pa).
- V_r : Velocidad de rotación de la broca (m/s).

2.6.5.3 Coeficiente de desgaste modificado (W)

Según Copur, Bilgin, Balci, y Tuncdemir (2003), para evitar que el desgaste sea un factor dominante en el rendimiento, se puede usar una versión modificada del coeficiente de desgaste que depende de la velocidad de penetración y la abrasividad de la roca:

$$W = \alpha \cdot \left(\frac{R \cdot t}{H_r \cdot A_b} \right)$$

Donde:

- α : Coeficiente de desgaste específico del material de la broca.
- t : Tiempo de operación (s).
- H_r : Dureza o abrasividad de la roca (N/m^2).
- A_b : Área de contacto de la broca (m^2).

2.6.5.4 Consumo energético (CE)

Según Verhoef y Kovalev (1996), el consumo energético total de la perforación se calcula considerando la energía de impacto, la frecuencia de percusión y el tiempo de operación:

$$CE = (E_{\text{imp}} \cdot f + \omega \cdot T) \cdot t$$

Donde:

- ω : Velocidad angular de la broca (rad/s).
- T : Torque aplicado a la broca (Nm).
- t : Tiempo de operación (s).

2.6.5.5 Relación de desgaste y energía (DE)

Según Zhang y Yin (2013), el desgaste de la broca también se puede modelar en función del consumo energético y la eficiencia de perforación:

$$DE = \gamma \cdot \frac{CE}{PR}$$

Donde:

- γ : Coeficiente empírico de desgaste relacionado con la eficiencia energética.

2.6.5.6 Función objetivo optimizada

La función objetivo a maximizar sería el rendimiento de perforación ajustado, que considera el desgaste de la broca y el consumo energético:

$$\text{Maximizar } PR = \frac{R \cdot A_b}{1 + \beta \cdot W}$$

Sujeta a las siguientes restricciones:

1. Límite de Presión Axial: $P_{\text{ax}} \leq P_{\text{ax, max}}$
2. Resistencia de la Roca: $\sigma_c \leq \sigma_{\text{max}}$
3. Consumo Energético: $CE \leq CE_{\text{max}}$

2.6.5.7 Ejemplo práctico

Dados los siguientes datos:

- **Broca:** 64 mm de diámetro, área $A_b = 3.22 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
 - **Roca Andesita:** Resistencia a la compresión $\sigma_c = 150 \text{ MPa}$.
 - **Perforadora Montabert HC110:**
 - Energía de impacto $E_{\text{imp}} = 120 \text{ J}$.
 - Frecuencia de percusión $f = 38 \text{ Hz}$.
 - Presión axial $P_{\text{ax}} = 20,000 \text{ N}$.
 - Velocidad de rotación $\omega = 200 \text{ rad/s}$.
 - Torque $T = 500 \text{ Nm}$.
 - Abrasividad de la roca $H_r = 500 \times 10^6 \text{ N/m}^2$.
 - Tiempo de operación $t = 1,000 \text{ s}$
1. Velocidad de Penetración (R): $R = \frac{120 \times 38 + 20,000 \times 3.22 \times 10^{-3}}{150 \times 10^6 \times 0.2} = 0.013 \text{ m/s} = 13 \text{ mm/s}$
 2. Coeficiente de Desgaste (W): $W = 0.01 \times \left(\frac{0.013 \times 1,000}{500 \times 10^6 \times 3.22 \times 10^{-3}} \right) \approx 8.06 \times 10^{-6}$
 3. Rendimiento de Perforación (PR): $PR = \frac{0.013 \times 3.22 \times 10^{-3}}{1 + 0.01 \times 8.06 \times 10^{-6}} = 4.19 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
 4. Consumo Energético (CE): $CE = (120 \times 38 + 200 \times 500) \times 1,000 = 100,600,000 \text{ J} = 100.6 \text{ MJ}$
 5. Relación Desgaste-Energía (DE): $DE = 0.001 \times \frac{100,600,000}{4.19 \times 10^{-5}} \approx 2.4 \times 10^{12}$

2.6.5.8 Resumen

La optimización del rendimiento se logra al maximizar el valor de $PR = \frac{R \cdot A_b}{1 + \beta \cdot W}$. Ajustar la energía de impacto, la presión axial y la velocidad de rotación, junto con el uso de brocas más resistentes, puede mejorar significativamente el rendimiento de perforación y la eficiencia energética.

2.7 Operaciones mina

2.7.1 Métodos de explotación

Los métodos de explotación minera son un conjunto de técnicas y estrategias utilizadas para extraer minerales o recursos naturales de la tierra de manera rentable y eficiente. Estos métodos se adaptan a las características del yacimiento mineral y a las condiciones del terreno. Existen diferentes factores que influyen en la elección del método de explotación minera, como la ubicación y la forma del yacimiento, la cantidad y calidad del mineral, la profundidad del yacimiento, las condiciones geomecánicas y ambientales. En la mina San Cristóbal se utiliza como métodos de explotación:

- Over Cut and Fill
- Bench and Fill - SLS

Como tema de estudio se abordó el método de explotación Bench and Fill - SLS en que se emplean brocas de 64mm para la perforación.

2.7.2 Bench and fill - SLS

El método bench and fill es una variante del método cut and fill, aplicado a vetas con buzamiento igual o mayor a 75° , es un método que ofrece una recuperación de mineral de 90 % y una alta producción.

Para desarrollar este método se debe tener identificada la estructura mineralizada y realizar los estudios geomecánicos pertinentes para determinar la calidad del macizo rocoso así como el span máximo permisible para generar el diseño de las labores de preparación.

Para comenzar el diseño de labores de preparación y desarrollo como rampas, cruceros, sub niveles, chimeneas OP - FP, cámaras, ventanas, etc. La zona a minar debe ser plenamente reconocida tanto en sus características económicas como recursos y reservas, geológicas estructural y geomecánicas con zonificación de la calidad del macizo rocoso.

Con esta información se genera un nivel base, que por lo general es una galería que recorre a lo largo de la estructura mineralizada identificado los límites

de la mineralización se procede a desarrollar una rampa principal en la caja piso teniendo en cuenta la altura de banco que puede ser entre 10- 15m, llegado a la proyección del primer piso se accede a cortar la estructura por medio de una crucero que impactara a la veta de forma perpendicular.

Una vez cortada la estructura se procederá a abrir sub niveles a la izquierda y derecha del crucero y generar así el primer piso, de forma consecutiva se ira generando los pisos superiores e inferiores a lo largo y ancho la de estructura mineralizada, cuando se tiene preparada la infraestructura se comienza a minar con maquinaria minera de taladros largo.

La perforación se puede realizar en positivo o negativo respetando el span máximo determinado por el área de geomecánica, una vez se completa el minado se comienza a rellenar por el piso inmediato superior hasta completar el relleno que servirá como sostenimiento de las cajas y piso para minar el nivel superior y así continuar con el ciclo de minado bench and fill.

2.7.2.1 Estándar de ciclo de minado Bench and Fill - SLS en Mina San Cristóbal

Se describe el método de minado bench and fill - SLS, aplicado en la mina San Cristóbal durante el año 2021.

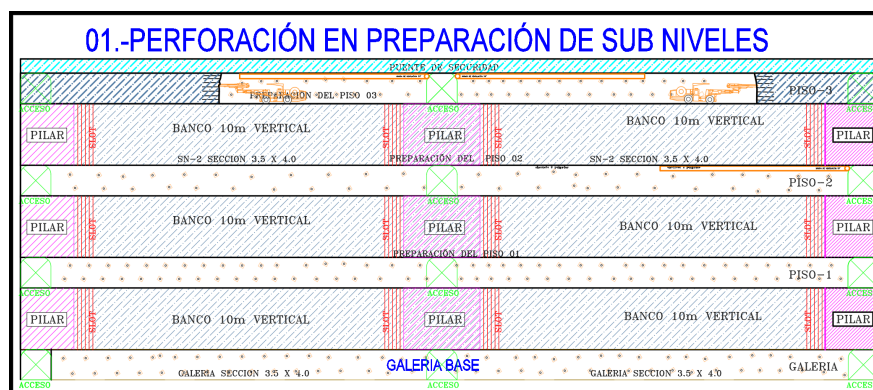


FIGURA N° 2.31: Perforación en preparación de sub niveles. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

Desarrollada la rampa principal se procede a cortar la estructura con un crucero de forma perpendicular y comenzar a desarrollar los sub niveles con equipos frontoneros. En este caso sub niveles con una sección de 3.5 x 4.0 metros.(Fig

2.31)

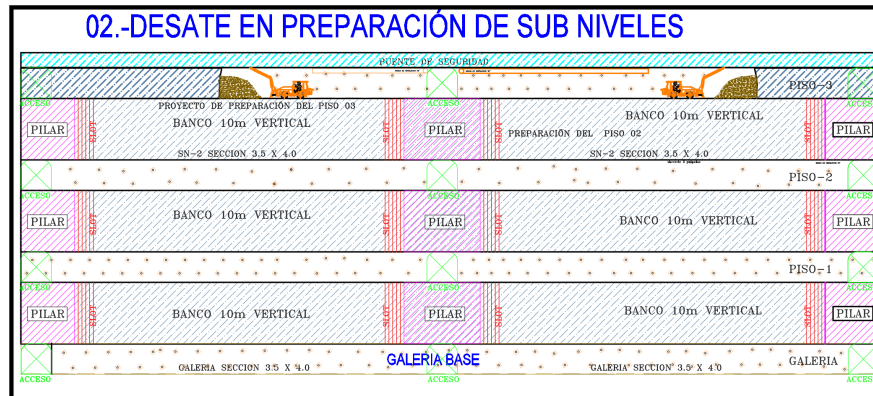


FIGURA N° 2.32: Desate en preparación de sub niveles. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

Continuando con el ciclo de minado después de la voladura se procede al desatado de roca con equipo mecanizado ya que la sección de labor es 3.5x 4.0 metros. Culminado el desatado se comienza a limpiar la carga con equipo scoop de 6 yd^3 , para continuar con el ciclo de minado.(Fig 2.32)

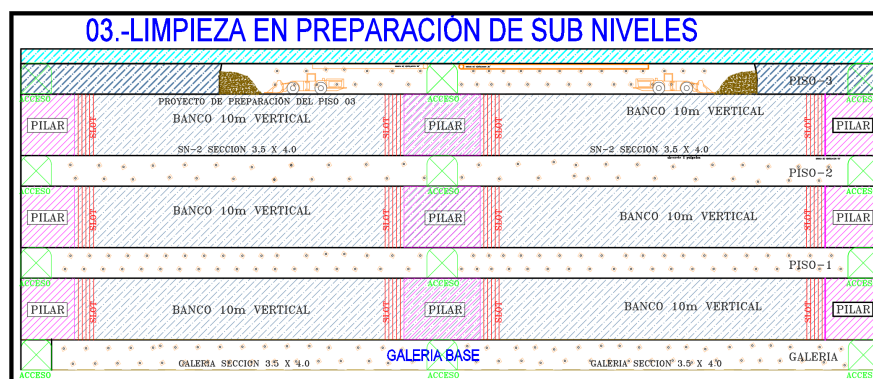


FIGURA N° 2.33: Limpieza en preparación de sub niveles. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

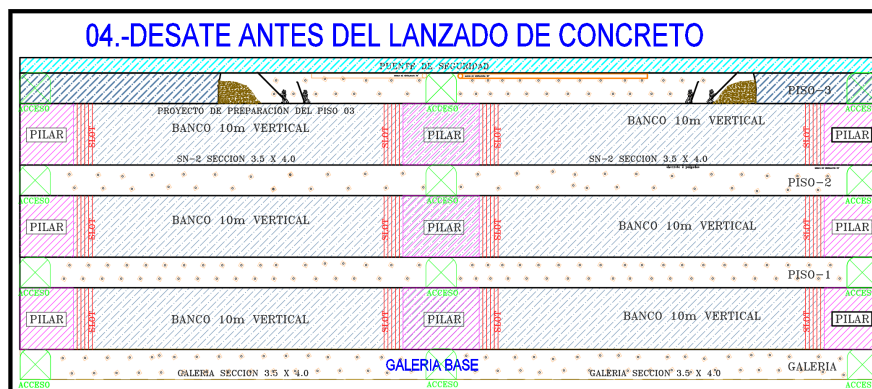


FIGURA N° 2.34: Desatado antes del lanzamiento de concreto. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

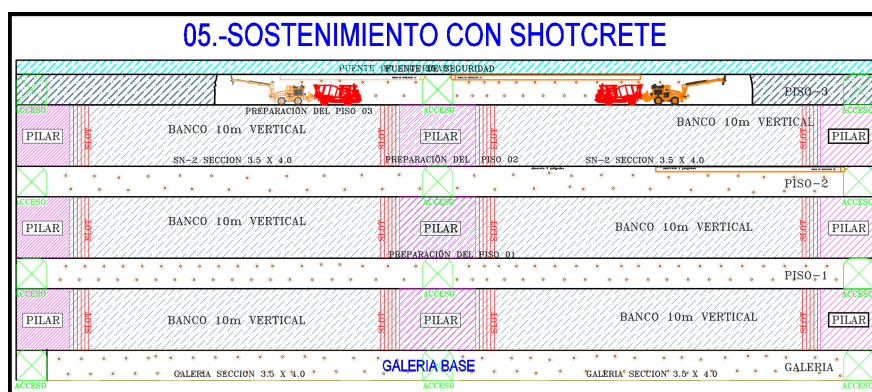


FIGURA N° 2.35: Sostenimiento con shotcrete. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

El sostenimiento mecanizado con shotcrete es realizado por medio de robot alpha y mixer que ingresa a labores de preparación, el dimensionamiento del sostenimiento esta dado por el área de geomecánica previa evaluación del macizo rocoso se puede recomendar la instalación de pernos split set y malla electro soldada.(Fig 2.35)

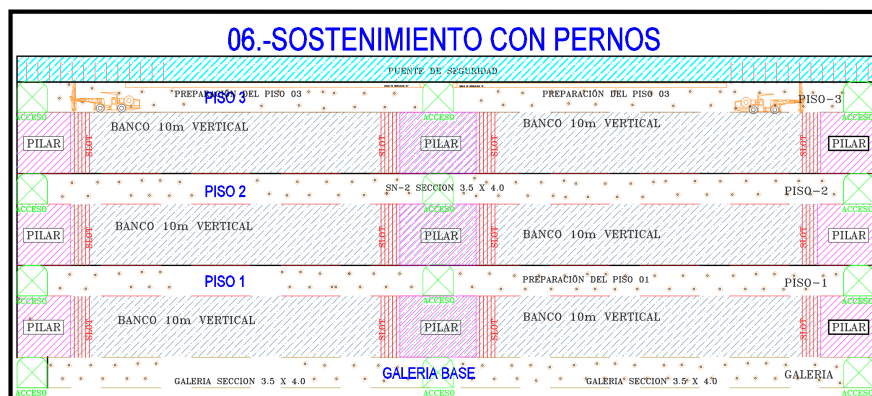


FIGURA N° 2.36: Sostenimiento con pernos. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

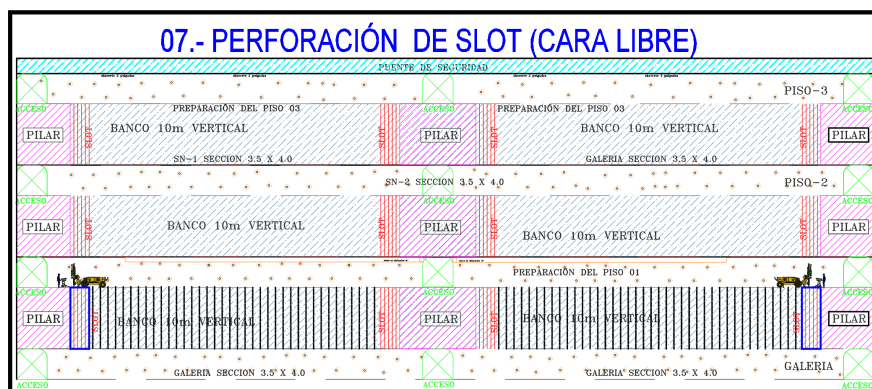


FIGURA N° 2.37: Perforación de slot (cara libre). Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

Finalizado los sub niveles se procede a mapear y ajustar el modelo de largo plazo a uno de corto plazo con los canales obtenidos con los sub niveles y procedemos a la planificación del minado en los tramos económicos o mas favorables y determinar la ubicación del slot (cara libre).(Fig 2.37)

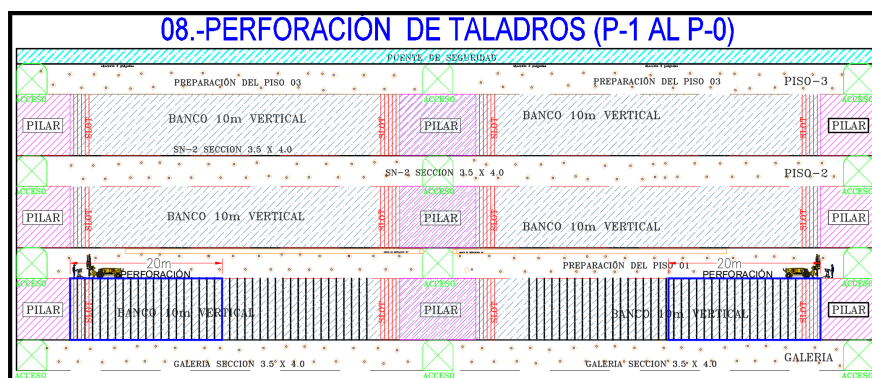


FIGURA N° 2.38: Perforación de taladros. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

Determinado el plan de minado se procede a perforar las secciones del tajo a minar siguiendo los planos otorgados por el área de ingeniería y planeamiento que fueron marcados en campo por topografía.(Fig 2.38)

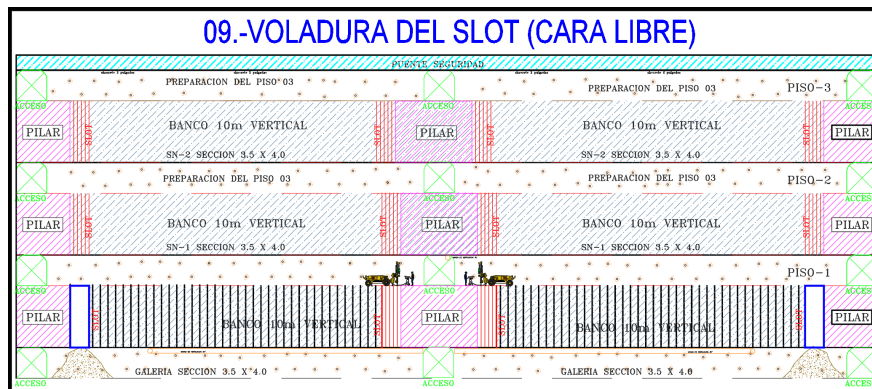


FIGURA N° 2.39: Voladura del slot. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

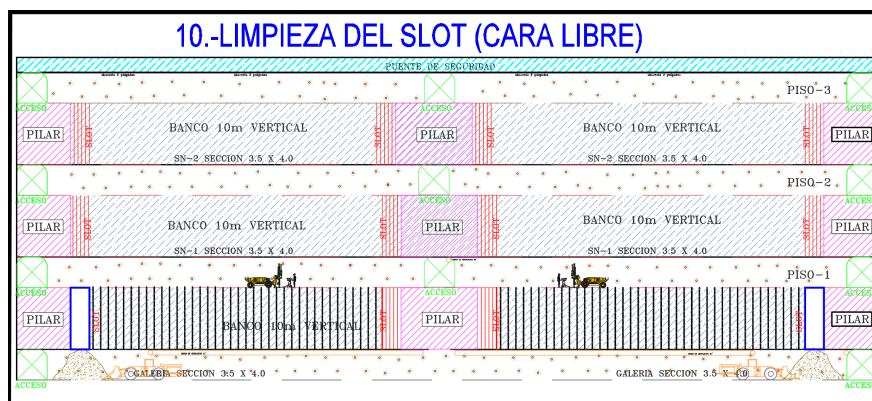


FIGURA N° 2.40: Limpieza del slot. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

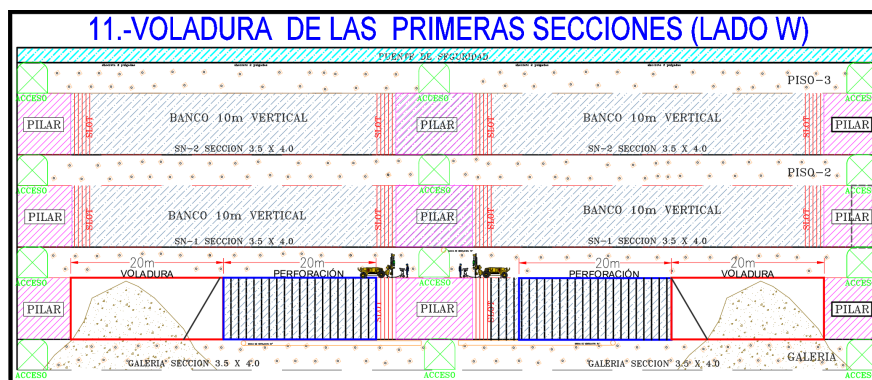


FIGURA N° 2.41: Voladura de las primeras secciones. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

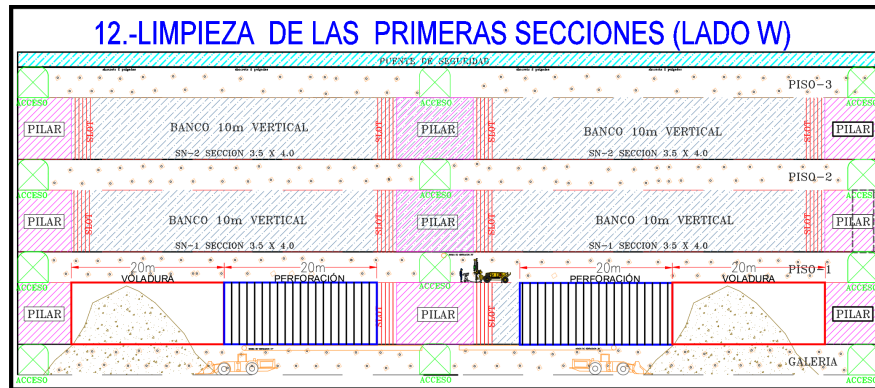


FIGURA N° 2.42: Limpieza de las primeras secciones. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

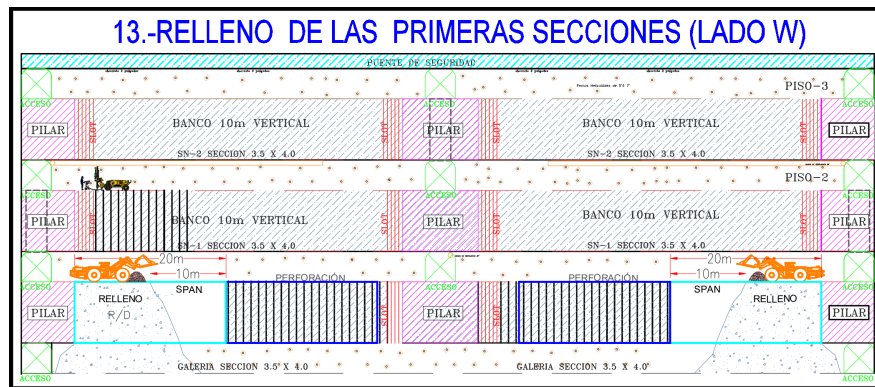


FIGURA N° 2.43: Relleno de las primeras secciones. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

Culminado la voladura y limpieza de mineral del tajo respetando el span máximo establecido por geomecánica se procede a rellenar el tajo para estabilizar las cajas y dar piso al minado del nivel superior.(Fig 2.43)

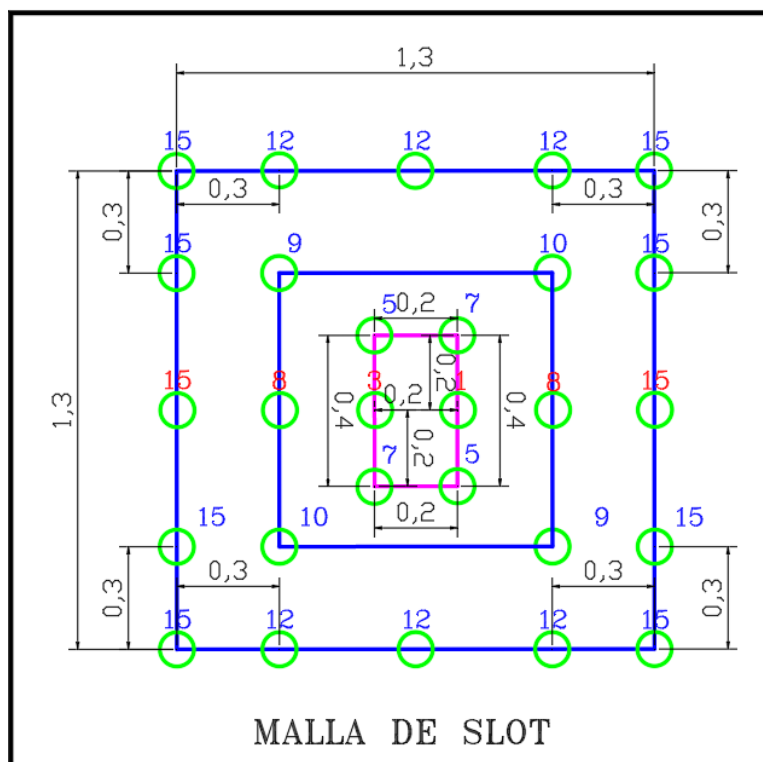


FIGURA N° 2.44: Malla de perforación Slot. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

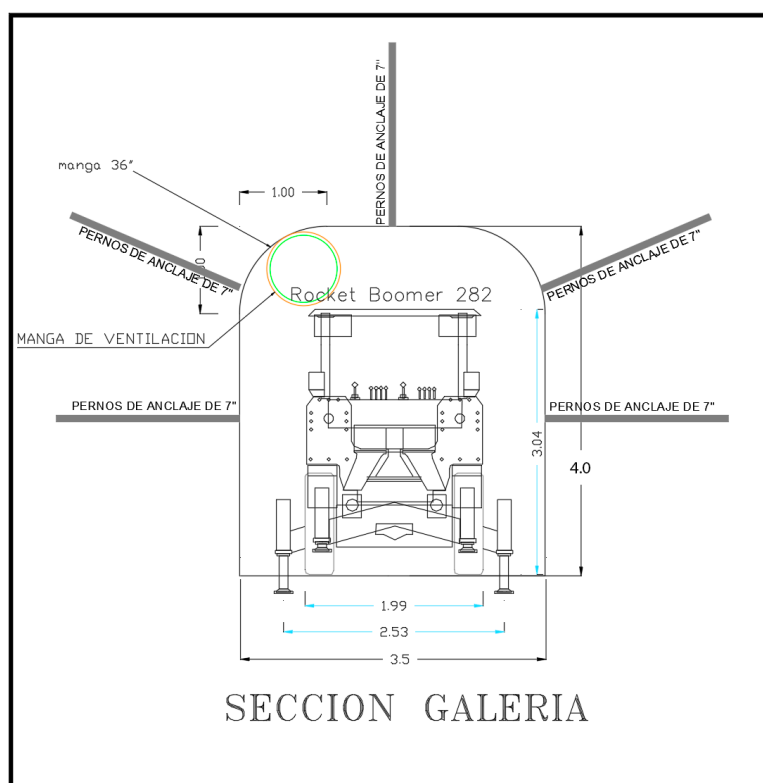


FIGURA N° 2.45: Sección típica galería para SLS 3.5X4.0. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

MALLA PERFORACIÓN **SECCION 3.5 m X 4.0 m** **MSCR**

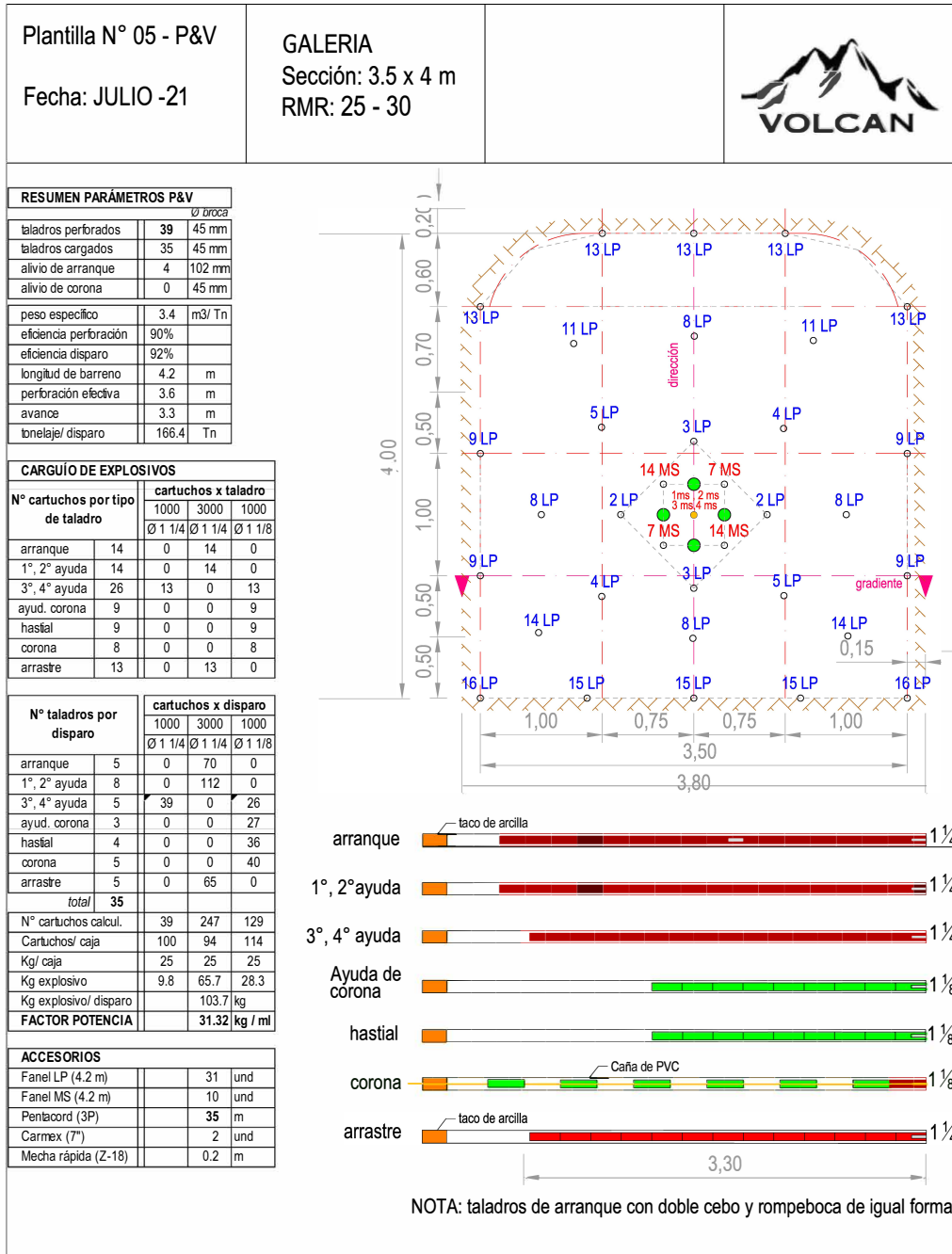


FIGURA N° 2.46: Malla de perforación y distribución de carga en sección típica galería 3.5x4.0. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

2.7.3 Zona de minado

La mina San Cristóbal esta seccionada de forma longitudinal, en tres zonas en las cuales aplica los métodos de explotación mencionados anteriormente. Estas zonas son:

- Zona Alta
- Zona Baja
- Zona Profundización

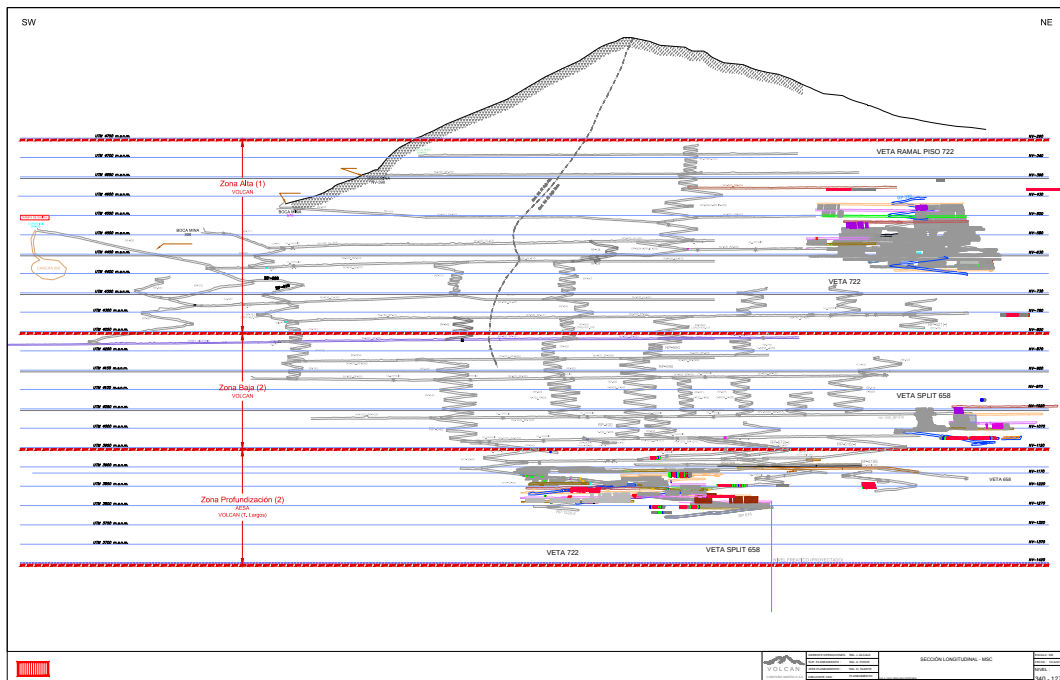


FIGURA N° 2.47: Sección longitudinal mina San Cristóbal. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal. Para ver la imagen en mayor tamaño, consulte el capítulo Anexos, Figura N° 4.14.

2.7.4 Maquinaria minera en bench and fill - SLS

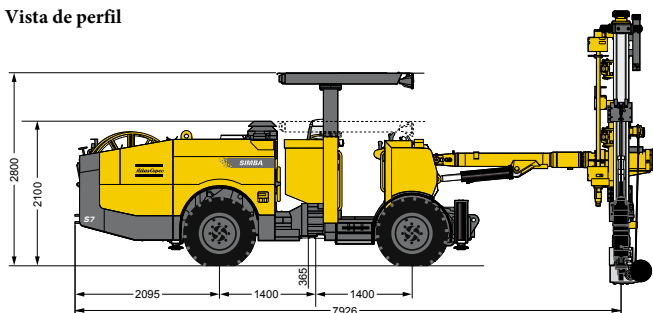
En la mina San Cristóbal se cuenta con equipos de la marca Epiroc para aplicar el método de bench and fill - SLS, el simba S7D y para la posterior limpieza de los tajos se utilizan scoop con telemando para acceder a zonas donde un scoop operado manualmente no podría ingresar por temas de seguridad.

2.7.4.1 Simba S7D

El equipo Simba es una perforadora de taladros largos utilizado en la minería subterránea. Viene en diferentes modelos y capacidades que pueden variar en función de las necesidades de la mina. El equipo Simba está diseñado para hacer perforaciones de alta precisión y productividad, y es capaz de perforar taladros largos de hasta 45 metros de longitud. Está equipado con un martillo de cabeza para rotación y un sistema de carga de varillas automático que ayuda a aumentar la eficiencia y la seguridad en el trabajo.

Dimensiones

Vista de perfil



Radio de giro

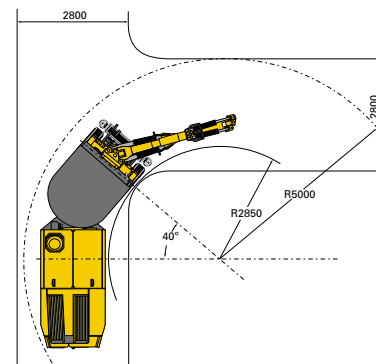


FIGURA N° 2.48: Dimensiones y radio de giro Simba S7D. Adaptado de Atlas-Copco (2022).

2.7.4.2 Scooptram

El equipo Scooptram teledirigido es un vehículo utilizado en la minería subterránea que se controla de forma remota mediante un sistema de control remoto. Está diseñado para operar en áreas reducidas y de difícil acceso y proporciona una solución más segura para la realización de tareas de carga y transporte de mineral en comparación con los métodos tradicionales. Este tipo de scoop también puede ser útil en situaciones en las que es peligroso que un operador humano se encuentre cerca, como en la aplicación del bench and fill en el cual el equipo debe ingresar a cavidades abiertas con un riesgo constante de caída de rocas de gran magnitud.

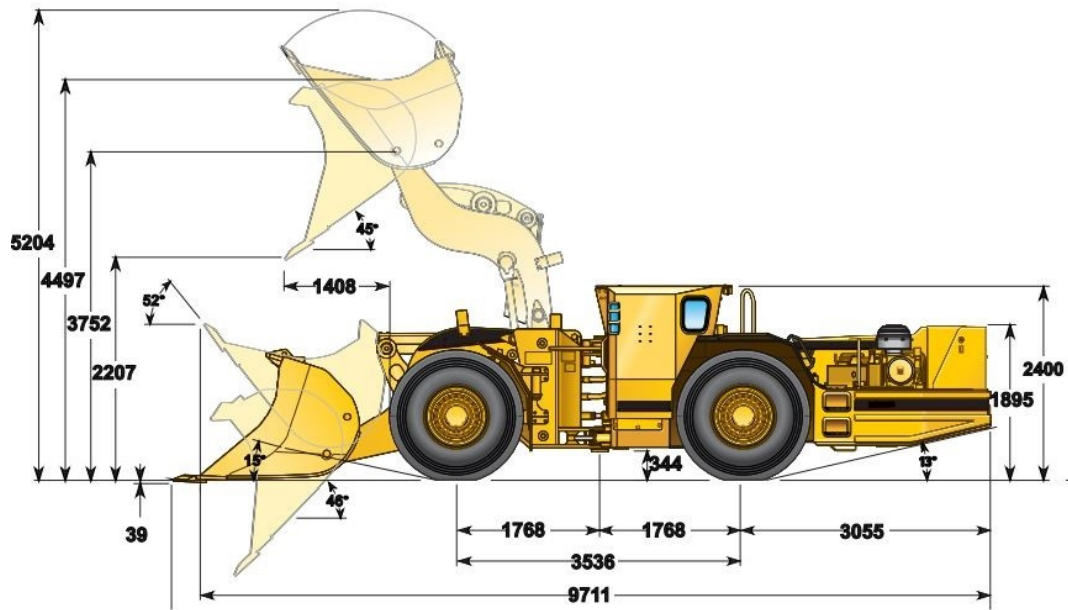


FIGURA N° 2.49: Dimensiones Scoop tram 6yd³. Adaptado de Caterpillar (2023).

TABLA N° 2.3: Dimensiones Scoop tram 6yd³. Adaptado de Caterpillar (2023).

DIMENSIONES	
Ancho	2.72 m
Largo	2.40 m
Alto	10.11 m
Altura de piso	0.33 m
Radio de giro exterior	6.63 m
Radio de giro interior	3.29 m

2.8 Caracterización del macizo rocoso

2.8.1 Índice de resistencia geológica - GSI

El método de clasificación GSI es un sistema utilizado para caracterizar las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos mediante la observación visual de sus características geológicas en el lugar. Este sistema toma en consideración el nivel de alteración y meteorización de las rocas, la historia geológica y el estado de formación, así como el grado de fracturación y la disposición de las juntas o discontinuidades. Las evaluaciones se basan en la estructura del macizo y en las condiciones observadas en su superficie.

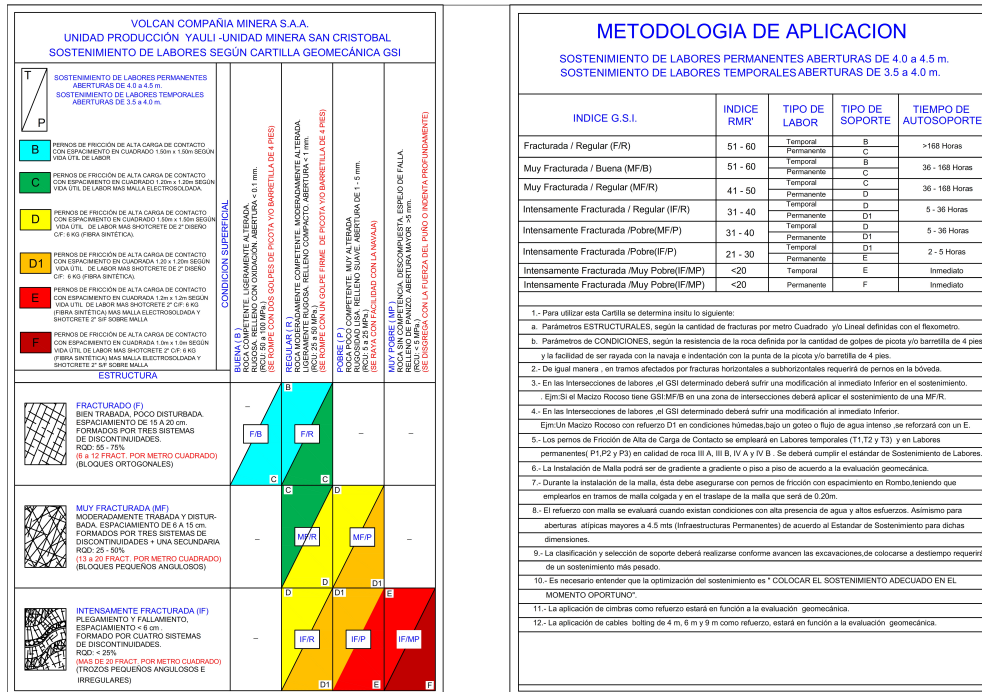


FIGURA N° 2.50: Cartilla GSI. Adaptado de Geomecánica Mina San Cristóbal. Para ver la imagen en mayor tamaño, consulte el capítulo Anexos, Figura N° 4.15.

El Índice de Resistencia Geológica (GSI) es útil para caracterizar macizos rocosos mediante observación visual, pero presenta desafíos. Variabilidad geológica y dependencia visual pueden afectar su precisión, especialmente en condiciones adversas o en áreas difíciles de acceder. La interpretación de fracturas y discontinuidades también puede ser subjetiva. Además, su aplicabilidad varía según la escala y se recomienda complementarlo con otros métodos para una evaluación geomecánica completa, además de actualizar y validar datos regularmente para mantener su precisión.

2.8.2 Clasificación geomecánica de bieniawski - RMR

La Clasificación del RMR (Rock Mass Rating) es un método geomecánico esencial en la minería subterránea para determinar de manera rápida la calidad del macizo rocoso, desarrollado por Bieniawski en 1973 y reformado de manera continua hasta 1989 para evaluar la calidad y estabilidad de los macizos rocosos. Este sistema utiliza cinco parámetros principales:

- la resistencia de la roca intacta
- la calidad de las fracturas (RQD)
- el grado de alteración

- las condiciones de agua subterránea
- la geometría de la excavación

Cada parámetro se evalúa mediante observaciones y mediciones en el terreno, y se asigna un puntaje según escalas establecidas. El puntaje total del RMR proporciona una clasificación que guía el diseño de excavaciones seguras, la selección de métodos de excavación adecuados y la planificación de medidas de soporte y refuerzo, ayudando así a gestionar los riesgos geomecánicos y a mejorar la seguridad y eficiencia de las operaciones subterráneas.

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN													
1	Resistencia de la Matriz Rocosa	Ensayo de Carga Puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)						
		Compresión Simple (MPa)	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1				
2	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0				
	RQD		100-90%	90-75%	75-50%	50-25%	<25%						
3	Puntuación		20	17	13	6	3						
	Separación entre diaclasas		> 2m	2-0.6m.	0.6-0.2m.	0.2-0.06m.	< 0.06m.						
4	Estado de las discontinuidades	Puntuación		20	15	10	8	5					
		Persistencia		<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m					
		Puntuación		6	4	2	1	0					
		Abertura		Cerrada	<0.1mm	0.1-1mm	1-5mm	>5mm					
		Puntuación		6	5	3	1	0					
		Rugosidad		Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave					
		Puntuación		6	5	3	1	0					
		Relleno		Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno suave <5mm	Relleno suave >5mm					
		Puntuación		6	4	2	2	0					
		Alteración		Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta					
5	Agua Freática	Puntuación		6	5	3	1	0					
		Caudal por 10m de túnel		Nulo	<10litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min					
		Relación Presión de agua/Tensión principal mayor		0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5					
		Estado general		Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo					
		Puntuación		15	10	7	4	0					
ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES EN EL TÚNEL													
Dirección Perpendicular al eje del túnel					Dirección Paralela al eje del túnel					Cualquier Dirección Buzamiento 0°- 20°			
Excavación a favor del Buzamiento		Excavación en contra del buzamiento											
Buz. 45°-90°		Buz. 20°-45°		Buz. 45°-90°		Buz. 20°-45°		Buz. 45°-90°		Buz. 20°-45°			
Muy Favorable		Favorable		Media		Desfavorable		Muy desfavorable		Media		Desfavorable	
CORRECCIÓN POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES													
Dirección y Buzamiento			Muy Favorable		Favorable		Media		Desfavorable		Muy Desfavorable		
Puntuación	Túnel		0		-2		-5		-10		-12		
	Cimentaciones		0		-2		-7		-15		-25		
	Taludes		0		-5		-25		-50		-60		
CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL RMR													
RMR			100-81		80-61		60-41		40-21		<20		
Clase			I		II		III		IV		V		
Calidad			Muy Buena		Buena		Media		Mala		Muy Mala		
Cohesión			> 4 Kp/cm ²		3 - 4 Kp/cm ²		2 - 3 Kp/cm ²		1 - 2 Kp/cm ²		< 1 Kp/cm ²		
Ángulo de rozamiento			> 45°		35° - 45°		25° - 35°		15° - 25°		< 15°		
Tiempo de Autosostope y longitud sin sostener			10 años		6 meses		1 semana		10 horas		30 minutos		
			15m.		8m.		5m.		2.5m.		1m.		

FIGURA N° 2.51: Parámetros de clasificación RMR. Adaptado de Alvarado Valdés (2020).

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Tipo de investigación

La investigación realizada en la mina San Cristóbal perteneciente a Volcan Compañía Minera S.A.A. es una investigación de **tipo aplicativa**, porque el objetivo de la investigación es determinar la influencia del rendimiento de las brocas de 64 mm en la reducción de costos de perforación.

3.2 Nivel de investigación

La investigación realizada en la mina San Cristóbal Volcan Compañía Minera S.A.A. es una investigación de nivel explicativo por consiguiente trata de determinar las incidencias de las brocas de 64 mm durante la perforación para reducir los costos de perforación.

3.3 Método de investigación

El método de investigación por sus características es **experimental** porque durante la investigación se comparo y se manipulo el diseño de las brocas de tal forma que afecto su rendimiento, para controlar el incremento o reducción de los costos de perforación.

3.4 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es **experimental - descriptivo**, se refiere experimental por la manipulación de las variables, el uso de técnicas estadísticas, la recolección de datos in situ y su posterior análisis. se refiere descriptivo porque implica la observación, medición y descripción de las brocas de 64 mm para ver de que forma influye sobre los costos de perforación.

3.5 Población y muestra

3.5.1 Población

La población que se considero para la presente investigación es la mina San Cristóbal perteneciente a Volcan Compañía Minera S.A.A.

3.5.2 Muestra

La muestra que se considero en la presente investigación es:

1. Zona Alta: Veta 722 en los tajos:

- $TJ - 314 - 10$
- $TJ - 314 - 21$
- $TJ - 314 - 43$

2. Zona Baja: Veta split 658 en los tajos:

- $TJ - 70E - 43$
- $TJ - 70W - 54$
- $TJ - 70E - P4$

3. Zona profundización: Veta split 658 en los tajos:

- $TJ - SP5 - 2EP2$
- $TJ - SP5 - 32$

3.6 Procedimiento de la recolección de datos

La recopilación de datos para elaborar el presente trabajo de investigación fue en campo, in situ, mediante la observación y medición de parámetros de perforación del equipo y datos proporcionados por el área de productividad de la mina San Cristóbal - Volcan Compañía Minera S.A.A.

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron libretas de campo, formatos de registro de brocas, reportes de actividad de los equipos por guardia, vernier, flexómetro.

3.7 Técnicas de procesamiento de datos

La técnica aplicada para el procesamiento de los datos es la observación, estadística descriptiva representados por gráficos y cuadros comparativos del rendimiento de las brocas de 64 mm, análisis de los metros perforados por broca.

3.8 Proceso de la optimización

3.8.1 Definición del problema

Durante los meses de mayo a julio de 2021, se observó que el rendimiento de las brocas de 64 mm para taladros largos, no cumplió con el rendimiento

nominal otorgado por el fabricante, siendo este rendimiento nominal 400 m perforados por broca, el bajo rendimiento de las brocas de 64 mm genero un alto costo de perforación y una cantidad elevada de brocas usadas con respecto del total de metros perforados.

3.8.2 Análisis del proceso actual

Obtenido el contrato de costo por metro perforado en la Mina San Cristóbal, se procedió a realizar el cambio de toda la columna de perforación de los equipos frontoneros, simbas y sostenimiento, en base a los resultados obtenidos en otras unidades donde opera la empresa contratista. El proceso de cambio de aceros se realizo sin un estudio previo de las condiciones que imperan en la Mina San Cristóbal.

3.8.3 Identificación de oportunidades de mejora

- Diseño optimo de las brocas de 64 mm, oportunidad de mejora evaluación de cambio de diseño en base a las condiciones del terreno.
- Distribución de las brocas de 64 mm después del aguzado, oportunidad de mejora realizar la base de datos para tener un registro del numero de aguzado por broca.
- Capacitación a los operadores en manejo del juego de brocas para evitar la sobre perforación de las brocas de 64 mm y realizar el aguzado manera oportuna, oportunidad de mejora realizar capacitaciones periódicas en conjunto con el área de perforación y voladura.
- Transporte de las brocas para evitar daños en los insertos por impacto, oportunidad de mejora la implementación de mochilas o cajas para el transporte.

3.8.4 Desarrollo de soluciones

- Implementar un diseño optimizado de brocas, ajustando las características a las condiciones del terreno (agujeros de barrido y canales de barrido) para mejorar la eficiencia en la limpieza de los detritos.
- Implementar un sistema de registro para controlar el número de aguza-dos. Esto permitirá hacer un seguimiento adecuado de la vida útil de las brocas de 64 mm.

-
- Establecer programas de capacitación periódicos para operadores en colaboración con el área de perforación y voladura. Estas capacitaciones deben enfocarse en las buenas prácticas de uso y mantenimiento de los aceros de perforación.
 - Implementar un sistema de registro para controlar el número de aguzado las brocas. Esto permitirá hacer un seguimiento adecuado de la vida útil de las herramientas y planificar su mantenimiento preventivo.
 - Proporcionar mochilas o cajas con divisiones específicas para transportar las brocas de manera óptima, evitando daños a los insertos por impacto durante el transporte.

3.8.5 Implementación

- Se realizó el análisis en campo sobre las deficiencias del diseño A, determinando un barrido de detritos deficiente, lo cual generó obstrucción frecuente en los agujeros de barrido frontal, reducción de la eficiencia de perforación, pérdidas de brocas y columna de perforación por atascamiento. Además, se observó un desgaste prematuro en la superficie de corte debido a una mala evacuación de detritos. Ante estas causas, se procedió al cambio por un diseño de broca con agujeros de barrido lateral, optimizando el rendimiento de las brocas de 64 mm, mejorando la evacuación de detritos y eliminando el riesgo de atascamiento. Esto resultó en una mayor durabilidad y una significativa reducción en los costos de perforación.
- Se habilitó un almacén con lockers personalizados para cada equipo Simba, con el fin de llevar un control detallado de las brocas, incluyendo los metros perforados y el número de ciclos de aguzado de cada una, rotulándolas con el código del equipo correspondiente al momento de su recepción y entrega a los operadores. A partir de esta medida, se identificó a los operadores con prácticas inadecuadas de sobre perforación, posteriormente nos enfocamos en su sensibilización y capacitación para optimizar el rendimiento de las brocas.
- La identificación de las condiciones geomecánicas del macizo rocoso permite optimizar el rendimiento de las brocas de 64 mm. Conociendo características del terreno como la dureza y el fracturamiento determinados por medio de la cartilla GSI, se pueden ajustar parámetros de perfo-

ración, como la velocidad de rotación, la presión de avance y el flujo de agua, reduciendo el desgaste innecesario y mejorando la eficiencia de la perforación.

Además, anticipar zonas críticas del terreno previene sobrecargas y daños en las brocas, prolongando su vida útil y minimizando los costos asociados a su reemplazo. Este conocimiento también facilita la planificación del ciclo de aguzado, asegurando que las brocas se mantengan en condiciones óptimas para enfrentar las características del terreno.

En consecuencia, adaptar el uso de las brocas a las condiciones geomecánicas del macizo rocoso reduce el tiempo de perforación, disminuye los costos y aumenta la productividad, mejorando así la eficiencia de las operaciones.

- Se llevaron a cabo capacitaciones en colaboración con el área de perforación y voladura enfocadas en el mantenimiento adecuado y las mejores prácticas en el uso de los aceros de perforación, con el objetivo de optimizar su rendimiento y extender su vida útil, como parte de las propuestas de mejora. Asimismo, se establecieron indicadores de desempeño específicos que contemplan la reducción de fallas en el uso de los aceros y el aumento en su durabilidad, permitiendo un control más riguroso y eficiente de estos recursos.
- La comparación entre los métodos de transporte de brocas muestra que el uso de una cuerda (Figura N° 4.8, anexos) es inadecuado, ya que provoca daños por impacto entre los insertos, desgaste prematuro y mayor riesgo de pérdida. En contraste, el transporte en un morral con divisiones (Figura N° 4.9, anexos) protege cada broca individualmente, reduciendo el riesgo de daños y prolongando su vida útil. Este método mejora la organización, facilita el transporte seguro y contribuye a la optimización de los costos operativos en las actividades de perforación.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Presentación de los resultados

Para calcular los rendimientos y obtener un análisis preciso, se llevó a cabo una recolección de datos minuciosa durante un periodo de nueve meses, que abarcó desde mayo del 2021 hasta enero de 2022. Este intervalo de tiempo se eligió estratégicamente para capturar una variedad de condiciones operativas y geomecánicas, proporcionando así una visión integral del rendimiento de las brocas. Durante este periodo, se registraron los metros perforados utilizando brocas de 64 mm de los modelos A y B. El objetivo es generar proyecciones y analizar la potencial reducción de costos al comparar el rendimiento de ambos modelos de brocas de 64 mm.

En el capítulo 2.6.2, figura 2.12; se describe las especificaciones técnicas de los modelos A y B, determinando que la diferencia física en el modelo B es la incorporación de 3 agujeros de barrido lateral, los cuales facilitan una adecuada evacuación del detrito generado por la perforación, lo cual previene la obstrucción de los agujeros de barrido frontal.



FIGURA N° 4.1: De izquierda a derecha, modelo de broca A y modelo de broca B

Al comparar los datos de rendimiento de las brocas de los modelos A y B, se pudo identificar cuál de los dos ofrecía un mejor rendimiento bajo condiciones similares. Esta comparación no solo ayudó a optimizar las operaciones de

perforación, sino que también proporcionó información valiosa para la toma de decisiones en la gestión de costos, permitiendo así implementar el modelo B en todos los tajos de taladros largos en la unidad minera San Cristóbal de esta forma ser mas eficientes y rentables en las actividad minera.

TALADROS LARGOS	may-21	jun-21	jul-21	ago-21	sep-21	oct-21	nov-21	dic-21	ene-22
METROS PERFORADOS (m)	22,591	21,738	21,961	24,466	22,995	23,853	24,010	21,300	22,458
N° BROCAS 64 mm (Unid)	58	65	62	59	51	48	48	38	40
RENDIMIENTO PROMEDIO (m)	389	334	354	415	451	497	500	561	561
VALORIZACIÓN (\$)	21,010	20,217	20,424	22,753	21,386	22,183	22,329	19,809	20,886

TABLA N° 4.1: Resumen histórico del número de metros perforados, cantidad de brocas por mes, redimiendo promedio y valorización mensual.

De la tabla N° 4.1, el rendimiento promedio de las brocas ha mostrado una mejora progresiva a lo largo de los meses. En mayo de 2021, el rendimiento era de 389 metros por broca, mientras que en enero de 2022, aumentó a 561 metros por broca. Esta mejora indica una optimización en el uso y mantenimiento de las brocas, lo que ha contribuido a una mayor eficiencia en las operaciones de perforación.

El número de brocas utilizadas ha disminuido con el tiempo. En mayo de 2021, se utilizaron 58 brocas, pero en enero de 2022, el consumo se redujo a 40 brocas. Esta reducción en el uso de brocas sugiere una mayor durabilidad y eficiencia, posiblemente debido a mejoras en el proceso de afilado y la destreza de los operadores.

La cantidad de metros perforados se ha mantenido relativamente constante, con ligeras variaciones mensuales. En mayo de 2021, se perforaron 22,591 metros, y en enero de 2022, se perforaron 22,458 metros. Esta estabilidad en la cantidad de metros perforados indica que la demanda y las condiciones de trabajo se han mantenido constantes, permitiendo una evaluación justa del rendimiento de las brocas.

La investigación en la optimización del rendimiento de las brocas ha dado resultados positivos, mejorando la eficiencia y reduciendo los costos operativos. La valorización muestra que ha habido una variación en los costos asociados, correlacionada con la mejora del rendimiento de las brocas. Esto implica que los esfuerzos por optimizar las herramientas de perforación están dando frutos, resultando en una operación más rentable.

En mayo de 2021, se perforaron 22,591 metros con 58 brocas, logrando un

rendimiento de 389 metros por broca y una valorización de 21,010. Este mes sirve como punto de partida para observar las mejoras posteriores en el rendimiento y la eficiencia de las brocas.

En enero de 2022, se perforaron 22,458 metros utilizando solo 40 brocas, alcanzando un rendimiento de 561 metros por broca y una valorización de 20,886. Estos datos destacan una significativa mejora en la eficiencia operativa y en la gestión de costos, demostrando el impacto positivo de las estrategias de optimización implementadas.

Agosto de 2021 mostró una notable mejora con un rendimiento de 415 metros por broca, marcando el inicio de una tendencia ascendente en el rendimiento. Septiembre y octubre de 2021 mantuvieron esta tendencia, alcanzando 451 y 497 metros por broca respectivamente. Finalmente, diciembre de 2021 y enero de 2022 presentaron el mejor rendimiento, con 561 metros por broca, consolidando las mejoras logradas a lo largo del periodo.

Los metros perforados oscilaron entre 21,738 y 24,853, indicando una estabilidad en las operaciones de perforación. Esta consistencia sugiere que, a pesar de las variaciones en el rendimiento de las brocas, la producción total se ha mantenido dentro de un rango aceptable, asegurando el cumplimiento de los objetivos de perforación.

El consumo de brocas disminuyó, pasando de un máximo de 65 brocas en junio de 2021 a 40 brocas en enero de 2022. Esta reducción en el uso de brocas refleja una mejora en su durabilidad y rendimiento, lo cual es un indicativo positivo de las técnicas de optimización y mantenimiento aplicadas.

La reducción en el número de brocas utilizadas y el aumento en el rendimiento promedio sugieren una mayor eficiencia en las operaciones de perforación. Este avance no solo reduce los costos operativos, sino que también mejora la sostenibilidad y la productividad general de las operaciones mineras.

La optimización en el rendimiento de las brocas ha permitido reducir los costos de perforación, tal como se observa en la valorización mensual. Mantener y mejorar estas tendencias puede resultar en ahorros significativos y en una operación más sostenible y rentable a largo plazo, beneficiando tanto a la empresa como al medio ambiente.

Estas conclusiones y resultados indican que las medidas implementadas para optimizar el rendimiento de las brocas han sido efectivas y han tenido un impacto positivo en las operaciones mineras. La continua aplicación de estas

estrategias promete aún mayores mejoras en el futuro, asegurando una perforación eficiente y económica.

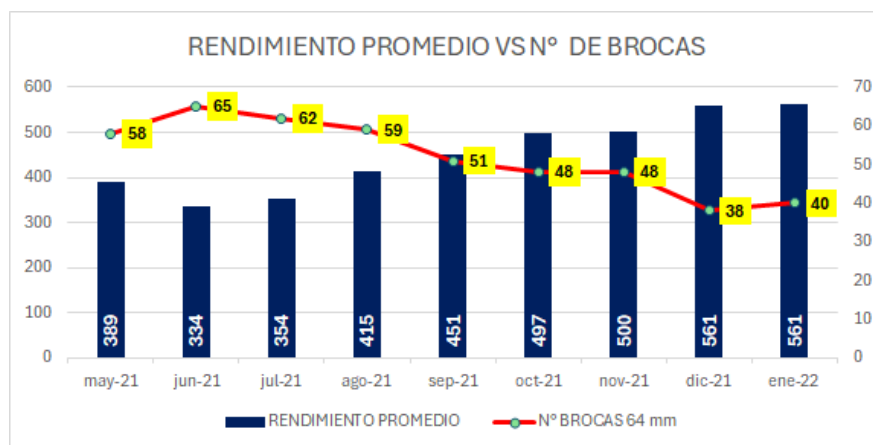


FIGURA N° 4.2: Histórico del rendimiento de la broca de 64 mm vs. número de brocas.

De la figura 4.1 durante el periodo examinado, se puede apreciar una relación inversa entre el rendimiento promedio y la cantidad de brocas empleadas. En un principio, se observa que un mayor número de brocas se asocia con un rendimiento promedio más bajo. No obstante, que se emplean el cambio de modelo de broca, se capacita al personal, y se realizan los controles en campo de las variables del terrero y equipo de perforación, se evidencia una notable mejoría en el rendimiento promedio, al tiempo que se reduce la cantidad de brocas utilizadas. Estos hallazgos indican un incremento en la eficiencia operativa y el rendimiento de las brocas, lo que permite perforar más metros con menos brocas.

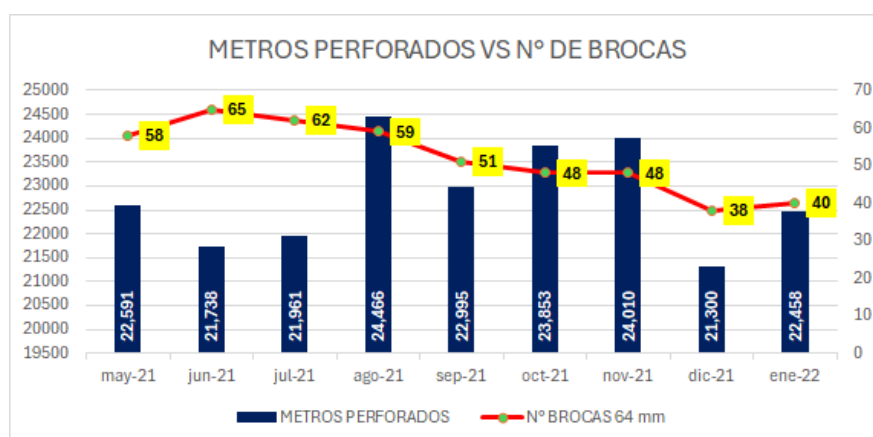


FIGURA N° 4.3: Histórico del rendimiento de la broca de 64 mm vs. número de brocas.

De la figura 4.2 el análisis del gráfico muestra que, con el tiempo, se ha logrado

una mayor eficiencia en el uso de brocas. Inicialmente, un mayor número de brocas no necesariamente resultaba en más metros perforados. Sin embargo, a lo largo de los meses, se ha optimizado el uso de las brocas, logrando perforar un número similar o mayor de metros con menos brocas. Los picos de metros perforados en agosto y noviembre de 2021, con un uso moderado de brocas, y el alto rendimiento en diciembre y enero con el menor uso de brocas, indican una significativa optimización del rendimiento de las brocas originado en el cambio del modelo usado.

4.1.1 Rendimientos y vida útil de los aceros perforación

Para calcular los rendimientos de perforación, se realizó pruebas exhaustivas durante un mes en tres áreas distintas de la mina: la zona alta, la zona baja y la zona de profundización. Para ello, se utilizó un juego de tres brocas de los modelos A y B en cada una de estas zonas, registrando la cantidad de metros perforados por cada juego de 3 brocas.

El objetivo de esta prueba fue evaluar y comparar el rendimiento de ambos modelos de brocas bajo condiciones de trabajo y macizo rocoso similares. Esta metodología permitió obtener datos precisos y confiables sobre la vida útil y el rendimiento de los modelos de brocas A y B.

4.1.1.1 Zona alta

Para el análisis del rendimiento de la zona alta se tomaron los datos de los tajos: TJ-314-10, TJ-314-21 y TJ-314-43, pertenecientes a la veta 722.

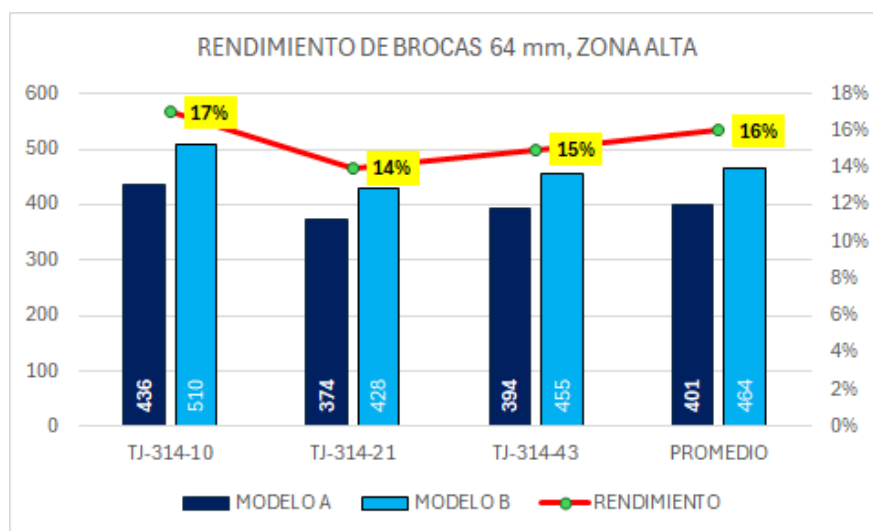


FIGURA N° 4.4: Rendimiento de brocas de 64 mm, zona alta.

La figura N° 4.3 muestra que, en general el modelo B de brocas supera al modelo A como resultado tenemos que el modelo B es un 16 % mas eficiente que el modelo A, tanto en metros perforados como en el porcentaje de rendimiento en la zona alta. Este rendimiento constante sugiere que el modelo B se adapta mejor a las condiciones de esta área específica. El factor que incide en esta superioridad es un diseño de la broca mas adecuado a las condiciones del macizo rocoso, la cual cuenta con agujeros de barrido lateral y canales mas pronunciados los cuales ayudan a la evacuación del detrito y el material panizado evitando de esta manera el plantado de la columna de perforación y posterior perdida de los aceros. Esta relación entre el rendimiento y el número de metros perforados subraya la importancia de elegir la broca adecuada para optimizar la eficiencia y la productividad en las operaciones de perforación en taladros largos.

4.1.1.2 Zona baja

Para el análisis del rendimiento de la zona alta se tomaron los datos de los tajos: TJ-70E-43, TJ-70W-54 y TJ-70E-P4, pertenecientes a la veta Slip 658.

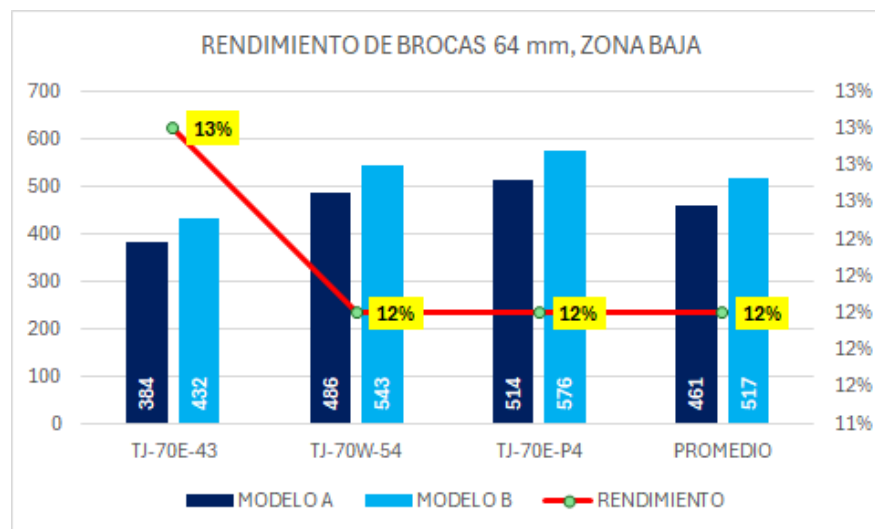


FIGURA N° 4.5: Rendimiento de brocas de 64 mm, zona baja.

La figura N° 4.4 muestra que, en general el modelo B de brocas supera al modelo A como resultado tenemos que el modelo B es un 12 % mas eficiente que el modelo A, tanto en metros perforados como en el porcentaje de rendimiento en la zona baja.

4.1.1.3 Zona profundización

Para el análisis del rendimiento de la zona alta se tomaron los datos de los tajos: TJ-SP5-2EP2 y TJ-SP5-32, pertenecientes a la veta Slip 658.

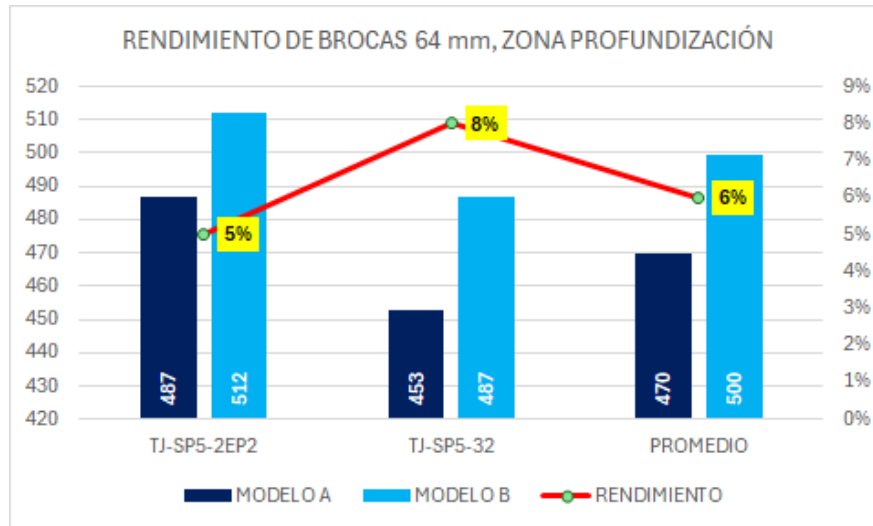


FIGURA N° 4.6: Rendimiento de brocas de 64 mm, zona profundización.

La figura N° 4.5 muestra que, en la zona de profundización la diferencia en el rendimiento entre ambas brocas, deja de ser significativo como en la zona alta y la zona baja, esto se debe a que en la profundización tenemos un macizo rocoso mas deleznable y con presencia de agua, como resultado tenemos que el modelo B es un 6% mas eficiente que el modelo A.

En conclusión el modelo B es un 11 % mas eficiente que el modelo A.

4.1.2 Análisis de la caracterización del macizo rocoso en relación con el rendimiento de las brocas de 64 mm

Se llevó a cabo el análisis de los resultados obtenidos de la muestra mencionada, en la cual se observó que la tendencia del rendimiento de las brocas es inversamente proporcional a la dureza de la roca.

En un primer escenario tenemos la zona alta.

MODELO A	REND. PROM	TIPO DE ROCA	RMR	GSI
TJ-314-10	436	IIIB	41-50	MF/R
TJ-314-21	374	IIIA	51-60	MF/B
TJ-314-43	394	IIIB	41-50	MF/R

TABLA N° 4.2: Caracterización del macizo rocoso, zona alta modelo A.

MODELO B	REND. PROM	TIPO DE ROCA	RMR	GSI
TJ-314-10	510	IIIB	41-50	MF/R
TJ-314-21	428	IIIA	51-60	MF/B
TJ-314-43	455	IIIB	41-50	MF/R

TABLA N° 4.3: Caracterización del macizo rocoso, zona alta modelo B.

De la tabla N° 4.2 y N° 4.3, el análisis de los datos de perforación de los modelos A y B muestra que el tipo de roca IIIA presenta un menor rendimiento en comparación con el tipo de roca IIIB en ambos modelos. En el modelo A, el rendimiento promedio es de 374 para el tipo IIIA y de 436 y 394 para el tipo IIIB, mientras que en el modelo B, estos valores son de 428 para IIIA y de 510 y 455 para IIIB. Además, el modelo B supera consistentemente al modelo A en todos los tipos de roca. Aunque los parámetros RMR y GSI son relevantes, el tipo de roca tiene un impacto más significativo en el rendimiento de perforación. Optimizar el rendimiento de las brocas requiere una atención particular al tipo de roca y la implementación de modelos de perforación más avanzados para mejorar la eficiencia.

Como segundo escenario tenemos a la zona baja.

MODELO A	REND. PROM	TIPO DE ROCA	RMR	GSI
TJ-70E-43	384	IIIA	51-60	MF/B
TJ-70W-54	486	IIIB	41-50	MF/R
TJ-70E-P4	514	IIIB	41-50	MF/R

TABLA N° 4.4: Caracterización del macizo rocoso, zona baja modelo A.

MODELO B	REND. PROM	TIPO DE ROCA	RMR	GSI
TJ-70E-43	432	IIIA	51-60	MF/B
TJ-70W-54	543	IIIB	41-50	MF/R
TJ-70E-P4	576	IIIB	41-50	MF/R

TABLA N° 4.5: Caracterización del macizo rocoso, zona baja modelo B.

De la tabla N° 4.4 y N° 4.5, el análisis de los datos de perforación de los modelos A y B muestra que las perforaciones en roca tipo IIIA (TJ-70E-43) tienen un rendimiento promedio inferior al de las perforaciones en roca tipo IIIB (TJ-70W-54 y TJ-70E-P4) en ambos modelos. En el modelo A, el rendimiento promedio para la roca IIIA es de 384, mientras que para la roca IIIB es de 486 y 514. En el modelo B, los rendimientos son de 432 para IIIA y de 543 y 576 para IIIB. Además, el modelo B supera al modelo A en todos los tipos de roca.

Como tercer escenario tenemos a la zona de profundización.

MODELO A	REND. PROM	TIPO DE ROCA	RMR	GSI
TJ-SP5-2EP2	570	IVA - IVB	21-30	IF/P
TJ-SP5-32	490	IIIB	41-50	MF/R

TABLA N° 4.6: Caracterización del macizo rocoso, zona profundización modelo A.

MODELO B	REND. PROM	TIPO DE ROCA	RMR	GSI
TJ-SP5-2EP2	546	IVA - IVB	21-30	IF/P
TJ-SP5-32	523	IIIB	41-50	MF/R

TABLA N° 4.7: Caracterización del macizo rocoso, zona profundización modelo B.

De la tabla N° 4.6 y N° 4.7, el análisis de los datos de perforación de los modelos A y B revela que las perforaciones en roca tipo IVA-IVB (TJ-SP5-2EP2) muestran un rendimiento superior al de las perforaciones en roca tipo IIIB (TJ-SP5-32) en ambos modelos. En el modelo A, el rendimiento promedio para la roca IVA-IVB es de 570, mientras que para la roca IIIB es de 490. En el modelo B, los rendimientos son de 546 para IVA-IVB y de 523 para IIIB. Además, el modelo A tiene un rendimiento ligeramente superior al modelo B en el tipo de roca IVA-IVB.

4.1.3 Análisis de los factores que influyen en el consumo de las brocas de 64 mm

Los factores que se consideraron son:

1. Diseño de la broca: La geometría de la broca, como el ángulo de corte y la forma de los insertos de carburo, influye en su eficacia y durabilidad. Dado esto se tomo la decisión de cambiar por completo la broca de modelo A por el modelo B que cuenta con agujeros de barrido lateral y canales de barrido mas pronunciados.
2. Frecuencia de aguzado de las brocas: Se aseguró que todas las brocas estuvieran afiladas de manera uniforme antes de comenzar las pruebas, para evitar diferencias en el rendimiento debido a la calidad del aguzado. Se realizo un estándar de aguzado de brocas para asegurar que el proceso es estándar en todas las guardias y operadores de la misma manera se fomento la toma de conciencia en la rotación de las brocas a lo largo de la guardia y no llegar a sobre perforar una sola broca y desgastar el inserto fuera del rango de aguzado.
3. Destreza del operador: Los operadores encargados de la perforación tenían niveles similares de experiencia y habilidad, garantizando así que las variaciones en el rendimiento no se debieran a la pericia del operador. Se realizo capacitaciones periódicas en torno al cuidado de los aceros de perforación en general ya sea shank, coupling, barras o brocas.
4. Condiciones del macizo rocoso: Se seleccionaron áreas de la mina con características geológicas comparables, para que la dureza y composición del macizo rocoso no influyeran de manera significativa en los resultados. Se recibió y realizo una base de datos para el seguimiento del rendimiento de los aceros de perforación según la caracterización del macizo rocoso, esto realizado por el área de geomecánica de la compañía minera.
5. Parámetros de perforación: Los parámetros como la velocidad de rotación, la presión de avance y el flujo de agua de perforación se mantuvieron constantes durante todas las pruebas, asegurando que cualquier diferencia en el rendimiento se atribuyera únicamente a las brocas utilizadas.

4.2 Reducción de costos de perforación

En el problema general, se planteaba que proceso optimizaría el rendimiento de las brocas de 64 mm para reducir los costos de perforación. Como se describió, se realizaron una serie de medidas, como capacitaciones, caracterización del macizo rocoso, seguimiento a los parámetros de perforación y el análisis comparativo entre dos modelos de broca de 64 mm. Basado en el resultado de su rendimiento de perforación, se procedió al cambio del modelo A por el modelo B. Este cambio ha impactado de manera positiva en la operación y ha resuelto el problema planteado. A continuación, en la tabla N° 4.8, se presenta el estimado de metros perforados por mes(22,819 m). Con este dato, se proyectarán los metros perforados al año(273,831 m) y se realizará una comparación entre seguir con el modelo A en términos de rendimiento, número de brocas y valorización, y lo mismo con el modelo B.

BROCA 64 mm	MODELO A	MODELO B
P.U. METRO PERFORADO (\$)	0.93	0.93
PRECIO(\$) X UNID BROCA	\$110	\$115
ESTIMADO ANUAL DE METROS A PERFORAR (m)	273,831	273,831
RENDIMIENTO PROMEDIO POR MES (m)	315	436
CANTIDAD DE BROCAS (unid)	869	628
VALORIZACION	\$ 254,662.4	\$ 254,662.4
PRECIO TOTAL DE BROCAS	\$ 95,623.37	\$ 72,225.95

TABLA N° 4.8: Proyección de costos por modelo de broca.

De la tabla N° 4.8 se concluye que al tener un estimado anual de 273,831 m a perforar con taladros largos, con el modelo de broca A se requiere 869 brocas y con el modelo B se requiere 628 haciendo una diferencia de 241 unidades de broca. si proyectamos la inversion anual en el modelo de broca A tenemos un total de \$ 95, 623.37 y con el modelo B de \$ 72,225.95, realizado una diferencia en entre el modelo A y B, se concluye en **\$ 23, 397.42 dólares de ahorro por año** lo que demuestra una reducción en el costo de perforación.

CONCLUSIONES

1. Se optimizó el rendimiento promedio de las brocas, mejoró significativamente pasando de 389 metros por broca en mayo de 2021 a 561 metros por broca en enero de 2022 .
2. La broca B genera \$ 23, 397.42 dólares de ahorro por año en comparación al modelo A.
3. El análisis de los datos de perforación reveló que el modelo B de brocas es, en promedio, un 11 % más eficiente que el modelo A .
4. La caracterización del macizo rocoso juega un rol importante en la estimación de los recursos de perforación la vida útil y rendimiento de la broca es inversamente proporcional a la dureza del macizo rocoso.
5. La destreza del operador así como el control de los parámetros de perforación óptimos previenen un desgaste prematuro en los aceros de perforación.

RECOMENDACIONES

1. Planificar y optimizar los procesos de aguzado y rotación de las brocas para continuar mejorando su rendimiento, asegurando que todas las brocas estén en condiciones óptimas antes de su uso.
2. Evaluar la incidencia del rendimiento del modelo B en toda la columna de perforación.
3. Adoptar el uso del modelo B de brocas de manera generalizada en todas las operaciones de perforación en taladros largos para aprovechar su mayor eficiencia y reducir costos operativos.
4. Se recomienda revisar las recomendaciones geomecánicas provistas en campo en los paneles informativos para una mejor evaluación del terreno a perforar.
5. Se recomienda la supervisión periódica de los parámetros de perforación en los equipos simba, tanto en taller como en campo para evitar desvíos y rotura prematura de los aceros de perforación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado Valdés, F. (2020). Modelamiento geoestadístico de la clasificación geomecánica de bieniawski (rmr).
- Atlas-Copco. (2022). Catálogo de aceros de perforación.
- Camarena Cosme, D. A. (2021). Optimización de las brocas de 38, 45mm y del sistema de perforación, con fines de disminuir costos en la uea semiglo de la empresa minera atacocha sa.
- Caterpillar. (2023). *Ficha técnica Scoop Tram*. Descargado 01/01/2023, de https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/underground-hard-rock/underground-mining-load-haul-dump-lhd-loaders/18509152.html
- Copur, H., Bilgin, N., Balci, C., y Tuncdemir, H. (2003). A set of indices based on indentation tests for assessment of rock cutting performance and rock properties. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 103(9), 589-599.
- Huang, X., y Detournay, C. (2008). A model for drilling rate of penetration. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 45(5), 739-751.
- INGEMMET. (2023). Geocatmin: Sistema de información geológico y catastral minero.
- Mallma Perez, I. J. (2020). Optimización del uso de aceros de perforación en la uea san cristobal de minera bateas sac.
- Maps, G. (2023). Google maps.
- Mufleh, A. (2024). Wear of drill bit steel during rock drilling.
- Quito Matos, J. C., y Babilonia Jaramillo, R. (2020). Análisis de la vida útil de aceros de perforación para evaluar costos operativos en galerías compañía minera san cristobal saa.
- Ruelas Alpaca, A. M. (2020). Optimización de vida útil de los aceros de perforación para disminuir costos en unidad minera santa filomena-sotrami sa.
- Universitat Politècnica de València. (2023). *La perforación a rotopercusión*. Descargado 05/10/2022, de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/12/29/la-perforacion-a-rotopercusion/>

-
- Verhoef, L. G. W., y Kovalev, A. I. (1996). Energy efficiency and performance optimization of electric rotary drilling. *Journal of Petroleum Technology*, 48(11), 987-996.
- Volcan, C. M. (2022). Memoria anual 2021.
- Zhang, Q., y Yin, Z. (2013). Prediction of rock drillability using analytical and empirical methods. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 5(4), 304-311.

LISTA DE ABREVIATURAS

- UTM - Universal Transverse Mercator
- MSNM - Metros sobre el nivel del mar
- GSI - Geological Strength Index
- RMR - Rock Mass Rating
- USD - Dólares estadounidenses (United States Dollars)
- OZ - Onzas
- TM - Toneladas métricas
- EPP - Equipo de Protección Personal
- P&V - Perforación y Voladura
- SLS - Sub-Level Stopping
- JORC - Joint Ore Reserves Committee
- m³ - Metros cúbicos
- Tn - Toneladas
- Kg - Kilogramos
- V.I. - Variable Independiente
- V.D. - Variable Dependiente
- S.A.A. - Sociedad Anónima Abierta
- ISO - International Organization for Standardization
- m - Metros
- mm - Milímetros
- HP - Horsepower (Caballos de fuerza)
- LOM - Life of Mine

GLOSARIO

- **Bench and Fill:** Método de explotación minera en el cual se extrae mineral en bancos (niveles horizontales) y luego se rellenan las cavidades resultantes con material estéril para proporcionar soporte a las cavidades superiores.
- **Shotcrete:** Concreto proyectado. Se refiere a una técnica de sostenimiento en la que el concreto es proyectado a alta velocidad sobre el laboreo minero para su estabilidad.
- **Shank Adapter:** Componente que conecta el martillo de perforación con las barras de perforación. Transfiere la energía desde el martillo hacia la broca.
- **Coupling:** Conector o unión que enlaza las barras de perforación entre sí o con otros componentes de la columna de perforación.
- **Sub-Level Stopping (SLS):** Un método de minería subterránea donde el mineral es extraído de subniveles.
- **Rotopercusión:** Método de perforación en el cual la broca golpea y gira a la vez, rompiendo la roca a través de una combinación de impactos y rotación.
- **Over Cut and Fill:** Método de minería subterránea similar al bench and fill, pero en lugar de trabajar en bancos, se excavan secciones verticales.
- **Aguzado:** Proceso de afilado de las brocas de perforación para mejorar su eficiencia y prolongar su vida útil.
- **Insertos de carburo de tungsteno:** Pequeñas piezas de un material extremadamente duro (carburo de tungsteno) que se colocan en las brocas para perforar la roca.
- **Slot (Cara Libre):** Una cavidad o apertura que permite la expansión de material fragmentado tras una voladura, facilitando la extracción del mineral.
- **Fatiga de material:** Degradación estructural de los aceros u otros materiales debido a cargas repetitivas, lo que eventualmente puede causar la rotura.

-
- **Skarn:** Tipo de mineralización hidrotermal que se forma a partir de la alteración de rocas en contacto con intrusiones ígneas, generalmente asociada con depósitos de metales como hierro, cobre y zinc.
 - **Abrasión:** Desgaste que se produce en las herramientas de perforación debido al contacto con partículas duras durante el proceso de perforación.
 - **Taladro largo:** Método de perforación en el cual los agujeros son profundos y extensos, usados en minería subterránea.



FIGURA N° 4.8: Inadecuado transporte de aceros de perforación.



FIGURA N° 4.9: Adecuado transporte de aceros de perforación. Elaboración propia.



FIGURA N° 4.10: Supervisión en campo de aceros de perforación.



FIGURA N° 4.11: Mala practica de sobreperforación.

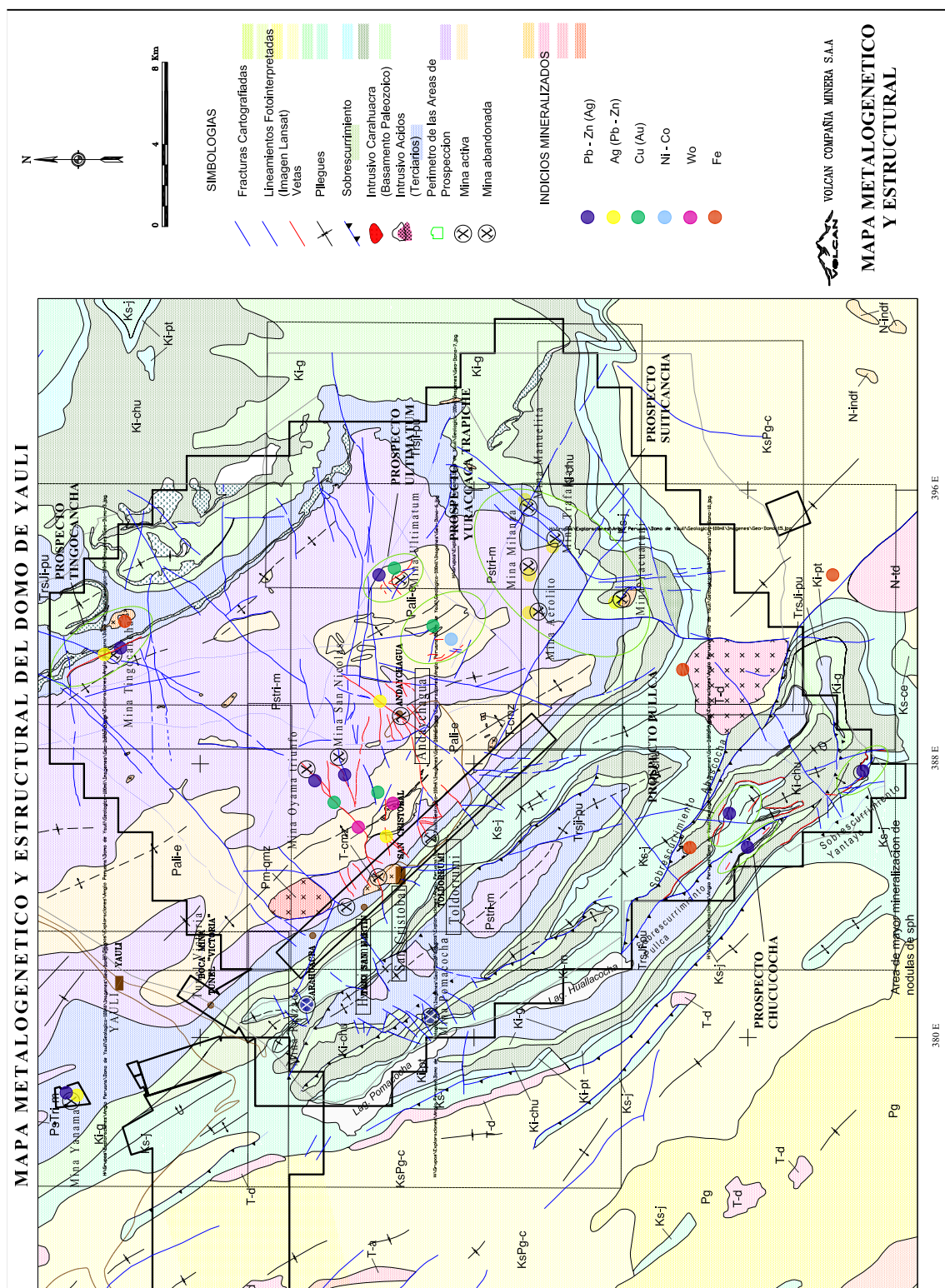


FIGURA N° 4.12: Mapa metalogénico y estructural del Domo de Yauli. Adaptado de Ingeniería y Planeamiento Mina San Cristóbal.

METODOLOGIA DE APLICACION											
SOSTENIMIENTO DE LABORES PERMANENTES ABERTURAS DE 4.0 a 4.5 m. SOSTENIMIENTO DE LABORES TEMPORALES ABERTURAS DE 3.5 a 4.0 m.											
INDICE G.S.I.											
INDICE RMR'											
TIPO DE LABOR											
TIPO DE SOPORTE											
TIEMPO DE AUTOSOPORTE											
Fracturada / Regular (F/R)	51 - 60	Temporal	B	> 168 Horas							
Muy Fracturada / Buena (MF/B)	51 - 60	Temporal	B	36 - 168 Horas							
Muy Fracturada / Regular (MFR)	41 - 50	Temporal	C	36 - 168 Horas							
Intensamente Fracturada / Regular (IF/R)	31 - 40	Temporal	D	5 - 36 Horas							
Intensamente Fracturada /Pobre(MF/P)	31 - 40	Temporal	D1	5 - 36 Horas							
Intensamente Fracturada /Pobre(IF/P)	21 - 30	Temporal	D1	2 - 5 Horas							
Intensamente Fracturada /Muy Pobre(IF/MP)	<20	Temporal	E	Inmediato							
Intensamente Fracturada /Muy Pobre(IF/MP)	<20	Permanente	F	Inmediato							
1.- Para utilizar esta Cartilla se determina insitu lo siguiente: a. Parámetros ESTRUCTURALES, según la cantidad de fracturas por metro Cuadrado y/o Lineal definidas con el flexómetro. b. Parámetros de CONDICIONES, según la resistencia de la roca definida por la cantidad de golpes de picota y/o barretilla de 4 pies y la facilidad de ser rayada con la navaja e indentación con la punta de la picota y/o barretilla de 4 pies. 2.- De igual manera , en tramos afectados por fracturas horizontales a subhorizontales requerirá de pernos en la bóveda. 3.- En las intersecciones de labores ,el GSI determinado deberá sufrir una modificación al inmediato inferior en el sostenimiento. 4.- En las intersecciones de labores ,el GSI determinado deberá sufrir una modificación al inmediato inferior. 5.- En las intersecciones de labores ,el GSI determinado deberá sufrir una modificación al inmediato inferior. 6.- La instalación de Malla podrá ser de gradiente o piso a piso de acuerdo a la evaluación geomecánica. 7.- Durante la instalación de la malla, ésta debe asegurarse con pernos de fricción con espaciamiento en Rombo, teniendo que emplearlos en tramos de malla colgada y en el traslape de la malla que será de 0.20m. 8.- El refuerzo con malla se evaluará cuando existan condiciones con alta presencia de agua y altos esfuerzos. Asimismo para aberturas atípicas mayores a 4.5 mts (Infraestructuras Permanentes) de acuerdo al Estandar de Sostenimiento para dichas dimensiones. 9.- La clasificación y selección de soporte deberá realizarse conforme avancen las excavaciones,de colocarse a destiempo requerirá de un sostenimiento más pesado. 10.- Es necesario entender que la optimización del sostenimiento es " COLOCAR EL SOSTENIMIENTO ADECUADO EN EL MOMENTO OPORTUNO". 11.- La aplicación de cimbras como refuerzo estará en función a la evaluación geomecánica. 12.- La aplicación de cables boling de 4 m, 6 m y 9 m en función a la evaluación geomecánica.											

FIGURA N° 4.15: Cartilla GSI. Adaptado de Geomecánica Mina San Cristóbal.

深孔螺纹钎具

BROCAS RETRACTIL

T38

钎头 BROCA		长度 Longitud		合金数量x直径 Numero de botones			水孔数量 Agujero de barrido		重量 Peso	Codigo de producto
毫米 mm	英寸 inch	芯齿 Frente	边齿 Lateral	倾角 Angulo	Agujero de barrido		Peso Aprox. kg			
					正 Frente	侧 Lateral				
圆齿 BOTONES ESFERICOS										
		64	2 1/2	3×10	6×10	35°	3	-	2.2	1531-64T38-410/810-45-31
		64	2 1/2	3×10	6×10	35°	3	3	2.2	1533-64T38-410/611-45-31
		70	2 3/4	4×11	8×11	40°	2	-	2.4	1531-70T38-411/811-45-31
		70	2 3/4	3×10,1×10	6×13	35°	3	-	2.4	1533-70T38-410/613-45-31
		70	2 3/4	4×10,1×10	8×11	35°	4	-	2.4	1632-70T38-510/811-45-31
		76	3	4×11	8×11	40°	2	-	3.3	1531-76T38-411/811-45-31
		76	3	4×11,1×11	8×11	35°	4	-	3.3	1632-76T38-511/811-45-31
		76	3	4×11,1×11	8×12	35°	4	-	3.3	1632-76T38-511/812-45-31
		89	3 1/2	4×13	8×13	40°	2	-	4.8	1531-89T38-413/813-45-31
		89	3 1/2	5×13	8×13	35°	2	-	4.8	1531-89T38-513/813-45-31
		89	3 1/2	6×11	8×12	35°	2	-	4.8	1531-89T38-611/812-45-31
		89	3 1/2	4×11,1×11	8×13	35°	4	-	4.8	1533-89T38-511/813-45-31
		89	3 1/2	4×13,1×13	8×13	35°	4	-	4.8	1632-89T38-513/813-45-31

		柱齿形钎头	BROCA RETRACTIL	圆齿 BOTONES ESFERICOS										
				64	2 1/2	3×10	6×10	35°	3	-	2.2	1531-64T38-410/810-45-31		
		64	2 1/2	3×10	6×10	35°	3	3	2.2	1533-64T38-410/611-45-31				
		70	2 3/4	4×11	8×11	40°	2	-	2.4	1531-70T38-411/811-45-31				
		70	2 3/4	3×10,1×10	6×13	35°	3	-	2.4	1533-70T38-410/613-45-31				
		70	2 3/4	4×10,1×10	8×11	35°	4	-	2.4	1632-70T38-510/811-45-31				
		76	3	4×11	8×11	40°	2	-	3.3	1531-76T38-411/811-45-31				
		76	3	4×11,1×11	8×11	35°	4	-	3.3	1632-76T38-511/811-45-31				
		76	3	4×11,1×11	8×12	35°	4	-	3.3	1632-76T38-511/812-45-31				
		89	3 1/2	4×13	8×13	40°	2	-	4.8	1531-89T38-413/813-45-31				
		89	3 1/2	5×13	8×13	35°	2	-	4.8	1531-89T38-513/813-45-31				
		89	3 1/2	6×11	8×12	35°	2	-	4.8	1531-89T38-611/812-45-31				
		89	3 1/2	4×11,1×11	8×13	35°	4	-	4.8	1533-89T38-511/813-45-31				
		89	3 1/2	4×13,1×13	8×13	35°	4	-	4.8	1632-89T38-513/813-45-31				

柱齿形钎头 BROCA RETRACTIL

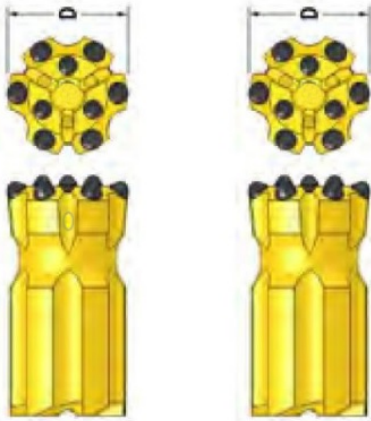


FIGURA N° 4.16: Ficha técnica Broca retractil de 64 mm, modelo A Y B.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: Optimización del rendimiento de las brocas de 64 mm para reducir costos de perforación en la Mina San Cristóbal, Volcan Compañía Minera 2021.

RESPONSABLE: Ing. Edmundo Campos Arzapalo - MIEMBROS: Dr. Jaime Huamán Montes; Ing. Cesar Alarcón Medina.

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLE INDICADORES	METODOLOGIA
PROBLEMA GENERAL ¿Qué método optimizará el rendimiento de las brocas de 64 mm para reducir los costos de perforación en la mina San Cristóbal, Volcan Compañía Minera durante el año 2021?	OBJETIVO GENERAL Optimizar el rendimiento de las brocas de 64 mm, para reducir los costos de perforación en la mina San Cristóbal perteneciente a Volcan Compañía Minera durante el año 2021.	ANTECEDENTES Quito Matos y Babilonia Jaramillo (2020) buscan optimizar el uso de aceros de perforación en la mina San Cristóbal de Volcan S.A.A. Analizan las causas de pérdidas y proponen un plan de acción. Concluyen que el afilado de brocas mejora su vida útil y reduce los costos operativos.	HIPÓTESIS GENERAL Si se optimiza el rendimiento de las brocas de 64 mm, se podrá reducir los costos de perforación en la mina San Cristóbal de Volcan Compañía Minera durante el año 2021.	VARIABLE INDEPENDIENTE (VI): Optimizar el rendimiento de las brocas de 64 mm. INDICADORES - Metros perforados - Diseño de la broca de 64 mm.	TIPO DE INVESTIGACIÓN Investigación de tipo aplicativa. NIVEL DE INVESTIGACIÓN Investigación de nivel explicativo. MÉTODO Método de investigación es experimental.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVO ESPECÍFICO		HIPÓTESIS ESPECÍFICAS		DISEÑO El diseño de la investigación es experimental descriptivo. POBLACIÓN La población es la Mina San Cristóbal. MUESTRA - Zona alta veta 722 - Zona baja veta split - Zona profundización
a) ¿En qué medida el diseño de las brocas incide en el rendimiento de las brocas de 64 mm y la reducción de los costos de perforación?	a) Evaluar el diseño de brocas de 64 mm adecuado para incrementar el rendimiento y reducir los costos de perforación.		a) La optimización del diseño de las brocas de 64 mm incrementa su rendimiento, lo que se traduce en una disminución significativa de los costos de perforación.	- Factores y parámetros de perforación. - Calidad del acero de brocas e inserto. - Horas de capacitación al personal.	TECNICAS técnica aplicada para el procesamiento de los datos es la observación estadística descriptiva representados por gráficos y cuadros comparativos
b) ¿En qué medida la identificación de las condiciones geomecánicas del macizo rocoso permitirían optimizar el rendimiento de las brocas de 64 mm?	b) Capacitar a los colaboradores, para las condiciones geomecánicas del macizo rocoso de tal manera que se optimice el rendimiento de las brocas de 64 mm.	Mallina Perez (2020) busca mejorarla productividad en la perforación de rocas optimizando el uso de aceros y equipos adecuados, destacando la supervisión y mejora continua.	b) La capacitación de los colaboradores para identificar correctamente las condiciones geomecánicas del macizo rocoso optimiza significativamente el rendimiento de las brocas de 64 mm.	VARIABLE DEPENDIENTE (VD): Reducción de los costos de perforación en la mina San Cristóbal.	INTRUMENTOS a) libretas de campo de formatos de registro de brocas b) reportes de actividad de los equipos por guardia vernier c) flexómetro.
c) ¿En qué medida incide la habilidad del operador en el rendimiento de las brocas de 64 mm?	c) Implementar un plan de capacitaciones para mejorar la habilidad del operador de tal manera incrementar el rendimiento de las brocas de 64 mm.		c) La capacitación de los operadores incrementa significativamente el rendimiento de las brocas de 64 mm.	- Costo por metro perforado. - Costo de adquisición de las brocas.	

FIGURA N° 4.17: Matriz de consistencia



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 070-2024-FIMGC

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga de la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL No 631-2024-FIMGC-D**, a los treinta días del mes de septiembre de 2024, siendo las 11:00 a.m. reunidos en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, bajo la presidencia del MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS y los miembros; Dr. Ing. Jaime Alberto HUAMAN MONTES y MSc Ing. Edmundo CAMPOS ARZAPALO, actuando como secretario docente el Ing. Kelvis BERROCAL ARGUMEDO, para proceder a la sustentación de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, del bachiller en Ciencias de la Ingeniería de Minas:

Joshua Yordan JOYO MENESES

Quien presentó la tesis denominada:

Optimización del rendimiento de las brocas de 64 mm para reducir costos de perforación en la Mina San Cristóbal, Volcan Compañía Minera 2021

Los señores miembros del jurado luego de expuesto la tesis y absueltas las preguntas, delibera y lo declaran:

APROBADO CON DIECISÉIS (16)

Siendo las 12:10 p.m. del día 30 de septiembre de 2024, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad a lo actuado los miembros del jurado firmamos al pie del presente.

MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS
Presidente

Dr. Ing. Jaime Alberto HUAMAN MONTES
Miembro

MSc. Ing. Edmundo CAMPOS ARZAPALO
Miembro

Ing. Kelvis BERROCAL ARGUMEDO
Secretario docente de la FIMGC

cc:
Archivo



UNSCH

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION

El que suscribe; en mi calidad de Instructor de Originalidad de Trabajos de Investigación y encargado de certificar la originalidad de la tesis abajo indicado y por lo tanto responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de pregrado en primera instancia, en cumplimiento a la Resolución de Consejo Universitario N°039-2021-UNSCH-CU, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación UNSCH, deja constancia que:

- Apellidos y Nombres del Bach. : JOYO MENESES, Joshua Yordan
- Escuela Profesional : Ingeniería de Minas
- Título de Tesis : **Optimización del rendimiento de las brocas de 64 mm para reducir costos de perforación en la Mina San Cristóbal, Volcan Compañía Minera 2021**
- Evaluación de la originalidad : 10% de similitud

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, **es procedente el certificado de originalidad** para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 14 de octubre de 2024

MBA Ing° Leonil Fernando Quispe Aronés
Instructor de Originalidad de Trabajos de Investigación

Optimización del rendimiento de las brocas de 64 mm para reducir costos de perforación en la Mina San Cristóbal, Volcan Compañía Minera 2021

por JOSHUA YORDAN JOYO MENESES

Fecha de entrega: 14-oct-2024 10:56a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2485077575

Nombre del archivo:

Optimización_del_rendimiento_de_las_brocas_de_64_mm_para_reducir_costos_de_perforación_en_la_Mina_San_Cristobal_Volcan_Compañía_Minera_2021.pdf
(70.51M)

Total de palabras: 17420

Total de caracteres: 87604

Optimización del rendimiento de las brocas de 64 mm para reducir costos de perforación en la Mina San Cristóbal, Volcan Compañía Minera 2021

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	servicioscms.bolsadesantiago.com Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
7	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1%
8	qdoc.tips Fuente de Internet	<1%

9

repositorio.unh.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

10

Submitted to Tecsup

Trabajo del estudiante

<1 %

11

cybertesis.uni.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

12

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo