

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

Uso de la herramienta de gestión benchmarking interno para reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal

Wily del Salto Vasquez Alcantara

Angy Ivett Yapias Avilez

Lennie Juice Yapias Avilez

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional"

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Jesús Fernando Martínez Ildelfonso
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 25 de Julio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Uso de la herramienta de gestión benchmarking interno para reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal

Autores:

- 1 Wily del Salto Vasquez Alcantara – EAP Ingeniería de Minas
- 2 Angy Ivett Yapias Avilez – EAP Ingeniería de Minas
- 3 Lennie Juice Yapias Avilez – EAP Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 16 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|---|--|--|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI ☒ | NO ☐ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (00): | SI ☐ | NO ☒ |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI ☐ | NO ☒ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citás) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR

Ing. Jesús Fernando Martínez Ildefonso

DEDICATORIA

Yo, Wily del Salto, dedico esta tesis a mis padres: Víctor Vásquez Chávez e Ida Alcántara Sáez que supieron apoyarme emocional y económicamente a lo largo de mi vida universitaria. También a mis hermanos: Ingrith, Katsy, Pier, Alexis y Milagros Vásquez Alcántara, cuya paciencia y apoyo incondicional han sido la columna vertebral de mi trayectoria académica. Este trabajo es el resultado de su inspiración y mi esfuerzo.

Yo, Angy, dedico esta tesis a Dios, por ser mi guía fiel y por sus propósitos, siempre grandes e infinitos. A mis padres y hermanos, por su amor incondicional y por acompañarme con firmeza y entrega en cada etapa de mi formación. A mi hermana Lennie, por ser luz y guía en mi vida; su apoyo ha sido fundamental para alcanzar muchos de los logros que hoy celebro. Y a mis hijos, por su confianza, su amor sincero y por ser mi mayor fuente de inspiración cada día.

Yo, Lennie, expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, a lo largo de mi vida, han contribuido a mi formación personal y profesional. Cada palabra de aliento, cada gesto de apoyo y cada enseñanza recibida han sido fundamentales en este camino. Hoy, este paso que doy no es solo mío, sino también de quienes me impulsaron a seguir adelante. «La graduación no es un final, sino el inicio de nuevos desafíos y oportunidades. Que este sea el comienzo de un camino lleno de aprendizajes, crecimiento y grandes logros».

AGRADECIMIENTO

A la prestigiosa Universidad Continental. A la EAP Ingeniería de Minas. A los catedráticos, que nos formaron como buenos profesionales.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ASESOR	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	15
1.1 Planteamiento y formulación del problema	15
1.1.1 Planteamiento del problema	15
1.1.2 Formulación del problema.....	16
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo general	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 Justificación e importancia.....	16
1.4 Hipótesis.....	17
1.4.1 Hipótesis general	17
1.4.2 Hipótesis específicas.....	17
1.5 Identificación de variables	17
1.5.1 Variable independiente	17
1.5.2 Variable dependiente	17
1.5.3 Matriz de operacionalización de variables.....	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes de la investigación	19
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	19
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	19
2.1.3 Antecedente local	20
2.2. Generalidades de la Unidad Minera San Cristóbal	20
2.2.1 Ubicación y accesibilidad.....	20
2.2.2 Geología regional	21
2.2.3 Geología local.....	22
2.2.4 Geología estructural.....	24
2.2.5 Geología económica	24

2.3. Bases teóricas.....	24
2.3.1 Desarrollar el uso de la herramienta de gestión <i>benchmarking</i> interno para reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal	24
2.3.1.1. Desarrollo del <i>benchmarking</i> interno.....	25
2.3.1.2. Procesos clave mina del <i>benchmarking</i> interno	26
2.4. Definición de términos.....	36
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	38
3.1 Método y alcances de la investigación.....	38
3.1.1. Métodos de la investigación	38
3.2 Alcances de la investigación	38
3.3 Diseño de la investigación	39
3.4 Población y muestra	39
3.3.1 Población	39
3.3.2 Muestra	39
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	39
3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos.....	39
3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	39
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1 Desarrollo de la herramienta de gestión <i>benchmarking</i> interno para reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal	41
4.1.1 Estudio geomecánico para la caracterización geomecánica del macizo rocoso	42
4.2 Desarrollo del <i>benchmarking</i> interno para mejorar el ciclo operativo en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.....	47
4.2.1 Ciclo de operaciones de la Rampa 616.....	47
4.2.2 Ciclo de operaciones de la Rampa SP5	53
4.2.3 Análisis del ciclo de operaciones de la Rampa 667.....	60
4.3 Desarrollo de la herramienta de gestión <i>benchmarking</i> interno para aumentar la factibilidad económica en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.....	68
4.3.1 Indicadores clave de desempeño (KPIs) de la perforación y voladura de la Rampa 616, Unidad Minera San Cristóbal	68
4.3.2 Indicadores clave de desempeño (KPIs) de la perforación y voladura de la Rampa SP5, Unidad Minera San Cristóbal	70
4.3.3 Indicadores clave de desempeño (KPIs) de la perforación y voladura de la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal	73
4.3.4 Resumen del <i>benchmarking</i> interno para reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal	76

4.4 Prueba de hipótesis.....	82
4.4.1. Prueba de hipótesis general	82
4.4.2. Análisis de datos.....	82
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES.....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....	18
Tabla 2. Accesibilidad	21
Tabla 3. Caracterización geomecánica del macizo rocoso.....	26
Tabla 4. Benchmarking interno para el desarrollo de una rampa	35
Tabla 5. Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la Rampa 616.....	44
Tabla 6. Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la Rampa SP5	45
Tabla 7. Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la Rampa 667.....	46
Tabla 8. Desarrollo de los últimos 10 disparos realizados en la Rampa 616.....	51
Tabla 9. Desarrollo de los últimos 10 disparos realizados en la Rampa SP5	58
Tabla 10. Desarrollo de los últimos 10 disparos realizados de la Rampa 667.....	64
Tabla 11. Parámetros actuales de perforación y voladura de la Rampa 616, Unidad Minera San Cristóbal	68
Tabla 12. Parámetros actuales de perforación y voladura de la Rampa SP5, Unidad Minera San Cristóbal	71
Tabla 13. Parámetros actuales de perforación y voladura de la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal	74
Tabla 14. Resumen del benchmarking interno para reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal	78
Tabla 15. Comparativa de los disparos de la Rampa 616, de la Rampa SP5 y la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.	83
Tabla 16. Estadísticas de muestras relacionadas.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación y vías de acceso.....	21
Figura 2. Plano geológico	22
Figura 3. Columna estratigráfica.....	23
Figura 4. Zonificación geomecánica de la Rampa 667, de la Rampa 616 y la Rampa SP5	43
Figura 5. Diseño de la malla de perforación y voladura de la Rampa 616	48
Figura 6. Parámetros de perforación y voladura de la Rampa 616	49
Figura 7. Fragmentación del disparo en la Rampa 616 - Unidad Minera San Cristóbal	52
Figura 8. Diseño de la malla de perforación y voladura de la Rampa SP5	55
Figura 9. Parámetros de perforación y voladura de la Rampa SP5.....	56
Figura 10. Fragmentación del disparo en la Rampa SP5 - Unidad Minera San Cristóbal	59
Figura 11. Diseño de la malla de perforación y voladura de la Rampa 667	62
Figura 12. Parámetros de perforación y voladura de la Rampa 667	63
Figura 13. Fragmentación del disparo de la Rampa 667.....	66
Figura 14. Análisis de los costos de perforación y voladura de la Rampa 616.....	69
Figura 15. Análisis de los costos de perforación y voladura de la Rampa SP5	72
Figura 16. Análisis de los costos de perforación y voladura de la Rampa 667.....	75

RESUMEN

El propósito de este estudio fue implementar la herramienta de gestión benchmarking interno para reducir los costos de avance en la Rampa 667, ubicada en la Unidad Minera San Cristóbal. Para ello, se utilizó el método científico como enfoque general, complementado con el método experimental deductivo. La investigación fue de tipo aplicada, con un nivel descriptivo y diseño experimental. Se centró en la rampa de profundización 667 del nivel 1410, en la zona Baja 2 de la Unidad Minera San Cristóbal. La recolección de datos se realizó en campo, utilizando la técnica observacional y el procesamiento de datos actuales de perforación y voladura de dicha rampa. El análisis geomecánico realizado en los proyectos Rampa 616 y SP5 indica que ambos presentan rocas clasificadas como III A y III B, características que coinciden con las de la Rampa 667. Este entendimiento geológico es fundamental para mejorar la planificación de perforación y voladura, lo que optimiza los recursos y el rendimiento en la Rampa 667. Respecto al avance por disparo, se observa un rendimiento superior con un avance de 3.80 metros, lo que refleja una mayor productividad frente a los proyectos Rampa 616 y SP5. Para mejorar el avance en estos proyectos, es recomendable ajustar parámetros como la carga explosiva y la longitud de perforación, lo que incrementaría la eficiencia operativa y reduciría los costos. La Rampa 667 también se distingue por contar con una longitud de taladro mayor, lo que permite perforar más material por ciclo y optimizar el procesamiento del material en menos tiempo. Además, al utilizar una barra de perforación de 14 pies, se logra un mayor volumen roto y tonelaje, contribuyendo a un mejor rendimiento y eficiencia en la extracción de material estéril. Finalmente, la Rampa 667 se destaca como la operación más rentable entre los tres proyectos, con un costo por metro lineal significativamente más bajo. Este costo reducido refleja una operación más eficiente, lo que implica que las prácticas implementadas como la reducción de explosivos y la optimización de maquinaria podrían aplicarse en los proyectos Rampa 616 y SP5 para mejorar la rentabilidad y productividad de las operaciones mineras.

Palabras clave: uso de la herramienta de gestión benchmarking interno.

ABSTRACT

The purpose of this study was to implement the internal benchmarking management tool to reduce development costs at Ramp 667, located in the San Cristóbal Mining Unit. To this end, the scientific method was used as a general approach, complemented by the deductive experimental method. The research was applied, with a descriptive level and experimental design. It focused on the 667 deepening Ramp of Level 1410, in Lower Zone 2 of the San Cristóbal Mining Unit. Data collection was conducted in the field, using observational techniques and processing current drilling and blasting data from the ramp. The geomechanical analysis performed on the Rampa 616 and SP5 projects indicates that both feature rocks classified as III A and III B, characteristics that match those of Ramp 667. This geological understanding is essential for improving drilling and blasting planning, optimizing resources and performance at Ramp 667. Regarding progress per shot, Ramp 667 shows superior performance with a 3.80-meter advance, reflecting greater productivity compared to the Ramp 616 and SP5 projects. To improve progress at these projects, adjusting parameters such as the explosive charge and drill length is recommended, which would increase operational efficiency and reduce costs. Ramp 667 also features a longer drill length, allowing for more material to be drilled per cycle and optimizing material processing in less time. Furthermore, by using a 14-foot drill rod, a higher broken volume and tonnage are achieved, contributing to improved performance and efficiency in waste rock extraction. Finally, Ramp 667 stands out as the most cost-effective operation among the three projects, with a significantly lower cost per linear meter. This reduced cost reflects a more efficient operation, implying that the practices implemented at Ramp 667, such as explosives reduction and machinery optimization, could be applied to the Ramp 616 and SP5 projects to improve the profitability and productivity of mining operations.

Keywords: use of the internal benchmarking management tool.

INTRODUCCIÓN

La construcción de rampas en minería subterránea representa un desafío técnico crucial, especialmente en unidades mineras como San Cristóbal, donde la rampa de profundización 667 en el nivel 1410 de la zona baja 2 enfrenta condiciones geológicas y operativas complejas. Las rampas son infraestructuras vitales en operaciones mineras, ya que facilitan el acceso a las áreas de explotación, permiten el transporte de mineral y desmonte, y aseguran la circulación de personal y equipos. Sin embargo, las fallas en su diseño y construcción pueden tener repercusiones significativas tanto en términos de seguridad como de eficiencia operativa y costos.

Las deficiencias más comunes en la construcción de rampas incluyen problemas de estabilidad en el sostenimiento, ventilación insuficiente, sistemas de drenaje inadecuados, accesos difíciles, diseños estructurales deficientes y fallas en los parámetros de perforación y voladura. Estas limitaciones no solo afectan la funcionalidad y la seguridad de la rampa, sino que también pueden extender la vida útil de la infraestructura de manera no planificada, retrasar la producción minera, incrementar los costos operativos y de mantenimiento, y aumentar el riesgo de accidentes laborales.

En particular, en la Rampa 667 estas problemáticas pueden intensificarse debido a condiciones geológicas adversas o a la implementación de métodos constructivos no optimizados. Por ello, resulta imprescindible adoptar un enfoque integral que abarque todas las etapas del ciclo de vida de la rampa: desde un diseño inicial adecuado basado en un estudio geomecánico detallado, hasta la aplicación de técnicas de construcción de alta calidad, mantenimiento periódico y monitoreo constante. Este enfoque no solo garantiza la estabilidad y la seguridad de la rampa, sino que también optimiza la eficiencia y la rentabilidad de las operaciones mineras.

La presente investigación tiene como objetivo identificar las deficiencias específicas en la rampa de profundización 667 del nivel 1410 y proponer estrategias efectivas para abordar estas problemáticas. Al implementar soluciones que integren prácticas de diseño avanzado, sostenimiento adecuado, y controles en los procesos de perforación y voladura, se busca garantizar una infraestructura segura y funcional, que contribuya al cumplimiento de los objetivos operativos y financieros de la unidad minera. En este contexto, la seguridad y la eficiencia no son solo prioridades operativas, sino también pilares fundamentales para el desarrollo sostenible de las actividades mineras.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

El costo de la construcción de una rampa en minería puede variar significativamente a nivel mundial dependiendo de una variedad de factores, incluido el tipo de mineral, la profundidad de la mina, la infraestructura existente y las condiciones geológicas. Sin embargo, para obtener una idea aproximada, se puede proporcionar un rango general de costos. La construcción de una rampa minera puede costar entre cientos de miles de dólares y varios millones de dólares. Esto puede incluir costos de ingeniería y diseño, preparación del terreno, excavación y desmonte, estabilización de rampas, instalación de sistemas de drenaje y ventilación.

Es importante destacar que el costo de la rampa también puede estar influenciado por factores externos como los costos laborales locales, los precios de los materiales de construcción y las regulaciones específicas del país o región. En resumen, el costo de construir una rampa en minería puede ser muy alto y depender de muchos factores, por lo que es crucial analizar y considerar todas las variables relevantes antes de comenzar un proyecto.

El costo de preparación de una rampa en minería puede variar a nivel nacional dependiendo de una variedad de factores, incluida la geología del terreno, la infraestructura existente, los costos laborales y las regulaciones específicas del país. Es crucial tener en cuenta que Perú tiene una historia minera próspera y una gran variedad de depósitos minerales, lo que implica que los costos pueden variar notablemente de una región a otra. El costo total de construir una rampa en minería en Perú, también puede verse afectado por variables como la infraestructura de transporte y acceso, así como las condiciones geográficas y climáticas.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cómo influye el uso de la herramienta de gestión *benchmarking* interno para reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influye el uso de la herramienta de gestión *benchmarking* interno, para mejorar el ciclo operativo en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal?
- ¿Cómo influye el uso de la herramienta de gestión *benchmarking* interno, para aumentar la factibilidad económica de la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar el uso de la herramienta de gestión *benchmarking* interno para reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.

1.2.2 Objetivos específicos

- Desarrollar el uso de la herramienta de gestión *benchmarking* interno para mejorar el ciclo operativo en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.
- Desarrollar el uso de la herramienta de gestión *benchmarking* interno para aumentar la factibilidad económica en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.

1.3 Justificación e importancia

Las fallas en la construcción de una rampa en minería pueden ocurrir en una variedad de lugares y pueden tener un impacto significativo en la seguridad, la eficiencia operativa y los costos del proyecto. Estas deficiencias incluyen estabilidad en el sostenimiento, ventilación inadecuada, drenaje insuficiente, acceso difícil, diseño estructural deficiente y problemas en la perforación y voladura. Estas deficiencias pueden prolongar la vida útil de la infraestructura, retrasar la producción, aumentar los costos de mantenimiento y aumentar el riesgo de accidentes. Es necesario un enfoque integral para abordar estas deficiencias, que incluya un diseño adecuado, construcción de alta calidad, mantenimiento regular y monitoreo continuo de la seguridad y la eficiencia operativa. La seguridad, la eficiencia y la rentabilidad de las operaciones mineras dependen de un buen diseño de la rampa a realizar.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

El uso de la herramienta de gestión *benchmarking* interno será factible y viable, para reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.

1.4.2 Hipótesis específicas

- El uso de la herramienta de gestión *benchmarking* interno será factible y viable, para mejorar el ciclo operativo en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.
- El uso de la herramienta de gestión *benchmarking* interno será factible y viable, para aumentar la factibilidad económica de la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.

1.5 Identificación de variables

1.5.1 Variable independiente

Uso de la herramienta de gestión *benchmarking* interno.

1.5.2 Variable dependiente

Reducir costos de avance.

1.5.3 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición	Dimensiones	Indicadores
V.I.: Uso de la herramienta de gestión <i>benchmarking</i> interno	El benchmarking interno es una herramienta de gestión que consiste en la identificación, análisis y comparación de las mejores prácticas dentro de una misma organización, con el fin de optimizar procesos, mejorar el desempeño y generar valor. En el contexto operativo minero, su uso permite analizar distintas áreas, turnos o frentes de trabajo dentro de la misma unidad para aplicar las estrategias más eficientes detectadas internamente.	El benchmarking interno es una herramienta de gestión que consiste en la identificación, análisis y comparación de las mejores prácticas dentro de una misma organización, con el fin de optimizar procesos, mejorar el desempeño y generar valor.	Evaluación geomecánica y geológica Evaluación de las áreas operativas	• Sistema del macizo rocoso • Tipo de roca • Burden (m) • Espaciamiento (m) • Avance efectivo (m) • Consumo de aceros de perforación y explosivos y accesorios (unid.) • kg explosivo / m³ mineral (kg/m³) • kg explosivo / TM mineral (kg/t) • % de dilución • % de sobre rotura • Tamaño de granulometría (cm)
V.D.: Reducir costos de avance	Es la disminución de los gastos operativos directos e indirectos asociados a la ejecución de cada metro lineal de avance en labores subterráneas. Esto incluye el costo de insumos (explosivos, herramientas), mano de obra, tiempo operativo y eficiencia del proceso de trabajo.	La reducción de costos de avance se refiere a la disminución de los gastos operativos directos e indirectos asociados a la ejecución de cada metro lineal de avance en labores subterráneas.	Evaluación del costo por metro lineal de una Rampa	• Costo total por metro lineal de avance (\$/m)

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

En la tesis titulada: «*Optimización de los procesos de perforación y voladura en la Sociedad Minera Nueva Rojas, concesión Bella Rica, Camilo Ponce Enríquez – Azuay*», el objetivo fue desarrollar una metodología destinada a optimizar el avance de las voladuras en la Sociedad Minera Nueva Rojas. Para ello, se llevó a cabo un levantamiento detallado de información sobre las operaciones de perforación y voladura en una labor en preparación.

La metodología propuesta presenta un enfoque correlacional, combinando el análisis cualitativo y cuantitativo. Como parte del estudio, se tomó una muestra correspondiente a un avance de 30 metros lineales. Según el método actual, se requerirían 25 voladuras para completar dicho avance. Sin embargo, con la implementación del nuevo método propuesto, sería posible reducir esta cifra a 22 voladuras, generando un ahorro estimado de \$600 gracias a la optimización de los parámetros de perforación (1).

2.1.2 Antecedentes nacionales

En la tesis titulada: «*Aplicación de la herramienta benchmarking en la optimización de las operaciones mineras de la Rampa 440 Unidad Operativa Cuatro Horas Arequipa 2023*» se planteó como objetivo principal, analizar la relación entre la aplicación del *benchmarking* y la optimización de las operaciones mineras. La investigación se desarrolló bajo un enfoque descriptivo-explicativo con un diseño experimental. La población del estudio estuvo representada por la mina Cuatro Horas, mientras que la muestra seleccionada correspondió a la Rampa 440. Entre los resultados obtenidos, se identificó un RMR básico de 45, el cual se redujo a 40 tras la corrección. En condiciones secas, el RMR alcanzó un valor de 50. Además,

en la determinación del índice Q de Barton, se obtuvo un Q de 7.75 y un Q' de 15.50. La resistencia de la roca se evaluó mediante dos métodos: el ensayo de compresión uniaxial y el ensayo con el martillo Schmidt. Los valores de resistencia registrados en el ensayo de compresión uniaxial fueron 135.26 MPa, 130.65 MPa y 125.30 MPa, resultando en un promedio de 130.40 MPa. Por su parte, el ensayo del martillo Schmidt indicó una resistencia de 117 MPa (2).

En la tesis titulada: *«Reducción y optimización de costos operativos en aceros de perforación en la RPA. (±)944W de la Empresa Especializada IESA S.A. –Unidad Minera Atacocha S.A. Nexa Resources»* el objetivo fue reducir los costos operativos de la Rampa 944 W mediante la optimización de los aceros de perforación, utilizando una metodología cuantitativa de tipo cuasi experimental. La muestra estuvo compuesta por los aceros de perforación (brocas y barras de perforación) utilizados en la rampa. Debido a la variabilidad en la vida útil de los aceros, no se pudo calcular una muestra específica. Durante el proyecto, se obtuvo un rendimiento de 397,581.878 metros con las barras y shank, utilizando 47 barras y 30 shanks. El rendimiento de las brocas fue de 365,471.797 metros, mientras que las brocas afiladas lograron 33,280.6719 metros, con un total de 240 brocas utilizadas en todo el proyecto (3).

2.1.3 Antecedente local

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 fue analizar la vida útil de los aceros de perforación para evaluar los costos operativos en las galerías de la compañía minera San Cristóbal S.A.A. en 2020, utilizando una metodología explicativa. La muestra se centró en el nivel 1120, labor SP 6 de la zona alta de la unidad productora San Cristóbal de Volcan Compañía Minera S.A.A. Se evaluó la optimización del rendimiento de los aceros de perforación en este nivel, específicamente en el tajo 120 E-W. En términos económicos, el rendimiento anual y mensual de las piezas de perforación con el equipo Boomer S1D en 2018 fue de \$11,497.98 anuales y \$383.27 mensuales(4).

2.2. Generalidades de la Unidad Minera San Cristóbal

2.2.1 Ubicación y accesibilidad

La Unidad Minera San Cristóbal está ubicada en el distrito de Yauli, en la provincia homónima del departamento de Junín. Se encuentra en la zona oriental de la cordillera occidental de los Andes, a unos 110 km en línea recta, al este de la ciudad de Lima (5).

Tabla 2. Accesibilidad

Ruta	Distancia (km)	Tipo de carretera
Lima – Morococha- <i>cut off</i>	155	Asfaltada
Cut Off – Unidad Minera San Cristóbal	25	Afirmada
Total	180	

Tomada del Departamento de Geología de la Unidad Minera San Cristóbal

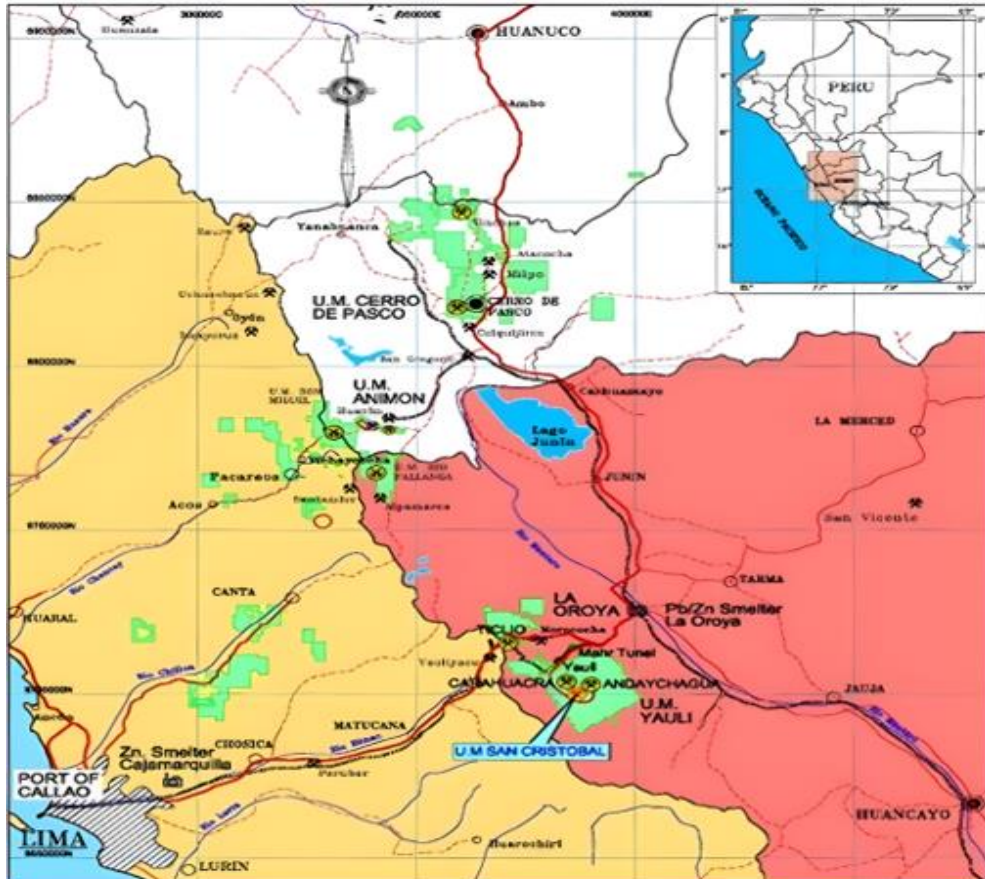
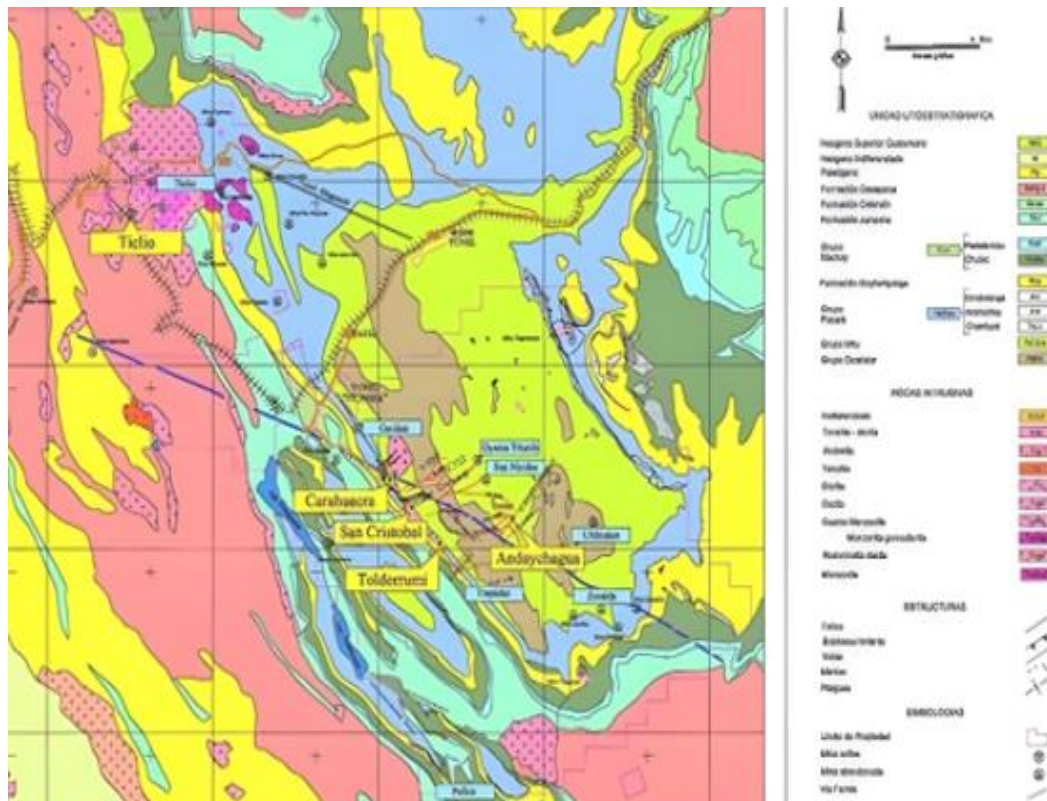


Figura 1. Ubicación y vías de acceso
Tomada del Departamento de Geología de la Unidad Minera San Cristóbal (5)

2.2.2 Geología regional

El distrito minero de San Cristóbal forma parte del complejo domal de Yauli, lo que permite el acceso a formaciones geológicas del Paleozoico, incluyendo los grupos Excélsior y Mitú (5).



COLUMNA ESTRATIGRAFICA GENERALIZADA MINA SAN CRISTOBAL								
ERA	SISTEMA	EPOCA	EDADES PISOS	UNIDAD LITOLOGICA	GRAFICO	FORMACION SEDIMENTARIA	FORMACION IGNEA	MINERALIZACION
CENOZOICA	CUATERNARIO					SEDIMENTOS NO CONCRETADOS		
	TERCIARIO			CAPAS ROJAS DASAPALCA		DISCORDANCIA CONGLOMERADOS CALIZAS LITEX CALIZAS ARENAS ROJAS	INTRUSIVAS INTERMEDIAS CUARZO - DIORITAS	
MESOZOICA	CRETACIO	INFERIOR	COMANCHERO	FORMACION JINASHA		DOLOMITAS MARINAS POCO PORFIRICA	CILINDROS DE BASALTOS A TRAVES DE TODAS LAS FORMACIONES	
		NEOGOMERO		GRUPO MACHAY FORMACION PARATIANO FORMACION CHILEO		ALTERACION DE CALIZAS VARIEDAD ESTRATIGRAFICA	BASALTO	
	TRIASICO JURASICO	INFERIOR O EQUIBRASICO (LIAS)	SINCLAIRIANO ETERNANDO	FORMACION CONDORCINGA		ALTERACION DE CALIZAS VARIEDAD PORFIRICA	BASALTO	
		SUPERIOR O NEOTRIASICO	RETIANO HORIANO	GRUPO PUCARA FORMACION AMANCHAY FORMACION CHAMBERA		LITAS ROJAS ARENAS CALIZAS CALIZAS ARENOSAS	DIORITA + CUARZO	MINERALIZACION ESTRATIGRAFICA DE Pb, Zn, Cu, Fe, con SOPREIMPUESTOS DE MINERALIZACION HIPO- TERMAL, FORMA DE CORPUS Y SANGRE
PALEOZOICA	PERMICO	SUPERIOR	OCHOA	GRUPO MITU		DISCORDANCIA	DIORITAS DE SACIA Y ARENITAS	MINERALIZACION ESTRATIGRAFICA DE Zn, Pb, Fe, Cu, Mn
		MEDIO	GUADALUPE- LEONARDO			LOTTES DE ARENITAS Y CONGLOMERADOS	INTRUSIVO INTERMEDIO TIPO CARBONIFERO CUARZO - DIORITA	
	DEVONICO	SUPERIOR	CHAMPAQUAN			DISCORDANCIA	VOLCANICOS VOLCANOCLASTICOS MORANOS	MINERALIZACION HIPO- TERMAL DE VETAS DE Fe, Pb, Zn, Cu, Fe, Mn
		NEO	ERAN (HAMILTON)	GRUPO EXCELSIOR		FLUTAS	INTRUSIVO ACIDO TIPO CHAMPE BLANCO	
			ULSTER			MANUBLES PORFIRICAS	VOLCANICOS VERDES	MINERALIZACION ESTRATIGRAFICA DE Pb, Zn
						CUARZITAS		MINERALIZACION ESTRATIGRAFICA DE ORO, PLATA
INFORMACION BASE : C' de Pesco Corp : H. V. Kabe								Por: J. Vilos M. Dib. G. Rojas E. Enero 2002

Figura 3. Columna estratigráfica
Tomada del Departamento de Geología de la Unidad Minera San Cristóbal (5)

La secuencia litológica de la Unidad Minera San Cristóbal abarca desde el Silúrico-Devónico hasta el Cretácico medio, comprendiendo diversas unidades geológicas. El grupo Excelsior presenta filitas, cuarcitas y calizas marmolizadas con vetas mineralizadas, alcanzando hasta 1800 metros de espesor. El grupo Mitú, de origen Pérmico, contiene rocas volcánicas andesíticas y dacíticas con brechas y tufos, con un espesor de 800 metros. El grupo Pucará, del Triásico superior-Liásico, está compuesto por calizas, dolomitas y pizarras. El grupo Goyllarisquiza, del Cretácico inferior, incluye pelitas rojas, areniscas y conglomerados de hasta 100 metros. Finalmente, el grupo Machay, del Cretácico medio, consta de calizas y margas con presencia de amonites (5).

2.2.4 Geología estructural

La mina San Cristóbal se encuentra en el flanco occidental del domo de Yauli, una estructura asimétrica que tiene 35 km de largo y 10 km de ancho, orientada hacia N 40° O. Presenta inclinaciones de 30°-40° en el flanco este y de 60°-80° en el oeste. Se destacan los anticlinales Chumpe y Yauli, siendo el de Chumpe el más importante, con un buzamiento de 55° hacia el suroeste y 30° hacia el noreste (5).

El fracturamiento en la mina Carahuacra está relacionado con los esfuerzos compresivos generados por el domo de Yauli, los cuales formaron el anticlinal de Chumpe durante el Cretácico. Durante el plegamiento Incaico, las calizas se deslizaban sobre las rocas volcánicas, y en la fase Quechua ocurrió la mineralización, creando vetas, mantos y cuerpos minerales por la intersección de las fracturas con los mantos en las calizas del grupo Pucará (5).

2.2.5 Geología económica

Tras el plegamiento Quechua y la generación de fracturas de tensión, la región vivió un proceso de mineralización debido a soluciones mineralizantes, probablemente originadas de stocks de monzonita cuarcifera. Este proceso dio lugar a:

- Vetas formadas por el relleno de fracturas de tensión, predominando en las rocas volcánicas del Grupo Mitu, aunque las fallas de cizalla tienen una contribución limitada (5).
- Mantos ubicados en el flanco occidental del anticlinal, en calizas del Grupo Pucará, en contacto con rocas volcánicas del Grupo Mitú, siguiendo la estratificación natural (5).
- Cuerpos formados por la intersección de vetas con mantos o la combinación de varios mantos mineralizados (5).

2.3. Bases teóricas

2.3.1 Desarrollar el uso de la herramienta de gestión *benchmarking* interno para reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal

El *benchmarking* interno es una herramienta poderosa en la gestión estratégica que permite a una organización comparar el rendimiento de sus diferentes unidades, procesos o actividades internas para identificar las mejores prácticas y áreas de mejora. Esta metodología se enfoca en evaluar el desempeño de un proceso dentro de una misma organización, permitiendo no solo la identificación de oportunidades de mejora, sino también la implementación de estrategias para alcanzar niveles de eficiencia más altos. En el contexto de la minería subterránea, el uso del *benchmarking* interno cobra una importancia especial debido a la alta complejidad y

variabilidad que caracteriza a las operaciones mineras, las cuales están directamente influenciadas por factores geológicos, tecnológicos y operacionales (6).

En particular, la Unidad Minera San Cristóbal tiene como objetivo principal optimizar los costos operacionales, reducir los tiempos de avance y mejorar la eficiencia de los equipos. Este objetivo se vuelve crucial cuando se trata de rampas de acceso subterráneo, que, si bien pertenecen a la misma operación minera, pueden presentar diferencias notables en cuanto a sus características geológicas, el tipo de equipos utilizados, las técnicas empleadas y los resultados alcanzados. Al implementar el *benchmarking* interno en estos dos procesos clave, se puede realizar una comparación exhaustiva que permita identificar las mejores prácticas implementadas en cada una de las Rampas y replicarlas para obtener mejoras en la otra.

2.3.1.1. Desarrollo del *benchmarking* interno

El *benchmarking* en términos generales se refiere a un proceso sistemático de medición y comparación de los resultados, prácticas y procesos de una unidad, empresa o departamento con las mejores unidades del sector o de la misma organización. Esta herramienta estratégica permite aprender de los procesos más eficientes y adaptar esas lecciones al entorno propio. Sin embargo, el *benchmarking* interno va más allá al centrarse en la evaluación comparativa dentro de la misma organización, lo que facilita la identificación y la transferencia de mejores prácticas de una unidad o equipo a otro. En minería subterránea, esto implica comparar las distintas rampas, equipos de perforación, voladura y limpieza, y aplicar las soluciones más eficientes a todas las unidades operativas (7).

En la Unidad Minera San Cristóbal, la optimización de los costos de avance por metro lineal es un desafío constante. Para ello, el *benchmarking* interno permite obtener información detallada sobre los aspectos clave de las operaciones en las rampas de acceso subterráneo. Al comparar las rampas, el *benchmarking* ayuda a identificar diferencias en la utilización de recursos, el consumo de equipos, la eficiencia de las técnicas de perforación y voladura, y los tiempos invertidos en cada fase del ciclo de operación.

Estas comparaciones se enfocan en perforación, voladura y limpieza, tres áreas que, al ser intensivas en recursos y tiempo, tienen un impacto directo sobre los costos de avance por metro lineal. Al realizar estas comparaciones, es posible identificar áreas en las que una rampa está siendo más eficiente que la otra, lo que abre la puerta a la replicación de las mejores prácticas para reducir los costos en ambas rampas. Este proceso de comparación no solo involucra la evaluación de los costos directos, sino también un análisis exhaustivo de la geología, el rendimiento de los equipos y la gestión de los recursos humanos (7).

2.3.1.2. Procesos clave mina del *benchmarking* interno

El *benchmarking* interno en minería se enfoca en evaluar de manera comparativa los procesos operativos esenciales para avanzar por metro lineal, tales como la perforación, voladura y limpieza. Cada una de estas actividades consume recursos significativos y afecta directamente los costos operacionales. A continuación, se describen los procesos clave de la minería subterránea y su relación con el *benchmarking* interno:

a) Estudio geomecánico: caracterización geomecánica del macizo rocoso

El estudio geomecánico es un componente esencial en la planificación y ejecución de proyectos mineros subterráneos, particularmente en la excavación de Rampas. Este estudio proporciona información detallada sobre las propiedades físicas y mecánicas de las rocas del macizo rocoso, permitiendo una correcta selección de métodos y equipos de perforación, voladura y limpieza. A través de un análisis exhaustivo en el campo y en el laboratorio, se determina cómo la roca responderá a las distintas fuerzas y condiciones a las que será sometida durante las operaciones mineras (8).

Durante el estudio geomecánico, se evalúan varias propiedades fundamentales que influirán directamente en el desarrollo de la excavación de Rampas y, por ende, en los costos operacionales. Estas propiedades se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3. Caracterización geomecánica del macizo rocoso

Parámetro geomecánico	Clasificación	Interpretación
Resistencia a la compresión uniaxial	50–100 MPa	Resistencia moderada; las rocas son lo suficientemente duras para requerir perforación robusta, pero no excesivamente difíciles.
Grado de diseminación de las fracturas	2–5 fracturas/m	Fracturación moderada; esto facilita la fragmentación de la roca en la voladura, pero no es tan severa como para causar problemas importantes.
Tipo de material de las fracturas	Material moderadamente blando	Fragmentación controlada; permite una voladura eficiente y facilita la perforación, con un moderado desgaste de herramientas.
Condición de las discontinuidades	Superficies rugosas	Discontinuidades problemáticas; las superficies rugosas pueden aumentar los costos de limpieza y afectar la estabilidad de la Rampa.

Espesor de las fracturas	1–5 mm	Fracturas pequeñas y moderadas; facilitan una voladura eficiente y controlada, pero pueden generar fragmentos irregulares que dificultan la limpieza.
Condiciones del agua en las fracturas	Agua con baja presión o flujo	Condiciones favorables; el agua con baja presión no presenta un desafío significativo en términos de estabilidad, lo que facilita la excavación.
Orientación de las fracturas	Desfavorable	Riesgo para la estabilidad; una orientación desfavorable puede comprometer la seguridad y estabilidad de la excavación, aumentando los costos de soporte estructural y seguridad.
Total (RMR)		RMR moderado; el macizo rocoso tiene características intermedias, lo que indica un comportamiento de excavación manejable, pero con algunos riesgos operacionales.

Tomada de Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes (8)

- **Relación de la caracterización geomecánica**

Las propiedades geomecánicas de la roca tienen un impacto directo sobre los costos operacionales de la minería subterránea. Cuando un macizo rocoso presenta características difíciles, como alta resistencia, abrasividad o abundantes discontinuidades, se generarán costos adicionales durante las fases de perforación, voladura y limpieza (8). Los costos asociados a estas actividades incluyen:

- ✓ **Mayor uso de explosivos:** las rocas duras o compactas requieren más explosivos para lograr la fragmentación deseada. Este aumento en el uso de explosivos implica un incremento en los costos asociados a la compra de explosivos y accesorios.
- ✓ **Desgaste acelerado de las herramientas de perforación:** las brocas y demás herramientas de perforación se desgastan más rápidamente cuando se enfrentan a rocas abrasivas o de alta resistencia. Esto genera mayores costos de mantenimiento y la necesidad de reemplazar las herramientas con mayor frecuencia.
- ✓ **Mayor tiempo de perforación:** la resistencia de la roca impacta directamente en la eficiencia de la perforación. Si la roca es dura o presenta muchas discontinuidades, el

proceso de perforación puede extenderse considerablemente, lo que aumenta los costos de mano de obra y el consumo energético de los equipos.

- ✓ **Limpieza más compleja:** las fracturas y fragmentos irregulares resultantes de una voladura en rocas fracturadas pueden hacer que el proceso de limpieza sea más difícil y lento. Este retraso incrementa el tiempo de operación de los equipos de limpieza (como el Scooptram 5YD3) y el consumo de combustible.

- **Aplicación del *benchmarking* interno**

Una de las principales ventajas del *benchmarking* interno es la capacidad de comparar cómo distintas rampas o unidades operativas dentro de la misma mina abordan las variaciones en las características geológicas del macizo rocoso. Este análisis comparativo permite identificar qué Rampas están manejando de manera más eficiente los macizos rocosos difíciles y aplicar sus técnicas en otras Rampas para optimizar los costos operacionales (8).

Además, el *benchmarking* interno ayuda a identificar oportunidades para:

- ✓ **Optimizar el uso de explosivos:** si una de las rampas está utilizando la cantidad adecuada de explosivos para una fragmentación eficiente, esta práctica puede transferirse a otras rampas para evitar el uso excesivo de explosivos y reducir costos.
- ✓ **Mejorar la eficiencia de perforación:** las rampas pueden comparar las técnicas de perforación y los tipos de herramientas utilizadas. Si una rampa ha encontrado que ciertas brocas o técnicas de perforación son más duraderas y eficientes, estas prácticas pueden ser adoptadas en la otra Rampa para reducir el desgaste y mejorar la productividad.
- ✓ **Optimizar la estrategia de limpieza:** si una de las rampas ha logrado un proceso de limpieza más eficiente, esto puede trasladarse a las otras rampas para reducir el tiempo de limpieza y el consumo de combustible.

La caracterización geomecánica del macizo rocoso es un pilar fundamental para la planificación de las operaciones mineras subterráneas. Al entender las propiedades físicas y mecánicas de la roca, los mineros pueden tomar decisiones informadas sobre los métodos de perforación, voladura y limpieza más adecuados, optimizando así los costos operacionales.

El *benchmarking* interno, al comparar las prácticas operativas entre las rampas de la Unidad Minera San Cristóbal, permite identificar qué métodos son más eficientes para manejar distintos tipos de macizos rocosos, lo que se traduce en reducción de costos, mejora en la eficiencia y

optimización de los recursos. La integración de ambos enfoques el estudio geomecánico y el *benchmarking* interno resulta en una minería más eficiente, rentable y sostenible, garantizando la competitividad de la operación en el mercado.

b) Ciclo de operaciones: Perforación, voladura y limpieza

El ciclo de operaciones en la minería subterránea es un proceso intensivo que involucra tres actividades fundamentales: perforación, voladura y limpieza. Estas actividades son cruciales para avanzar en la excavación de Rampas y otros túneles subterráneos, y su eficiencia tiene un impacto directo en los costos operacionales. El ciclo no solo depende de las características geológicas del macizo rocoso, sino también de los equipos utilizados y las estrategias operativas adoptadas. A través del *benchmarking* interno, las unidades operativas pueden comparar y mejorar sus procesos, logrando una optimización de los costos y el tiempo de ejecución (9).

A continuación, se analiza cada una de las etapas del ciclo operativo y su relación con el *benchmarking* interno para mejorar la eficiencia y reducir costos en las rampas de la Unidad Minera San Cristóbal.

• Perforación con Jumbo Boomer S1D

✓ Descripción del proceso

La perforación es el primer paso en el ciclo de operaciones subterráneas y uno de los procesos más importantes, ya que crea los agujeros en la roca para la posterior voladura. El Jumbo Boomer S1D es uno de los equipos de perforación más comunes en minería subterránea, diseñado para perforar agujeros de gran diámetro y profundidad en rocas duras. La eficiencia de este equipo depende de varios factores, como la dureza de la roca, el tipo de acero utilizado en las brocas, y el tiempo invertido en completar la perforación.

✓ Costos asociados

El costo de perforación está directamente relacionado con:

- La dureza de la roca: roca más dura o abrasiva implica mayor desgaste de las herramientas, lo que aumenta los costos operacionales.
- Tiempo de perforación: un tiempo mayor en perforación implica mayores costos de mano de obra y consumo de energía.
- Materiales y herramientas: la calidad y tipo de aceros de perforación influyen en los costos de mantenimiento y reemplazo.

✓ **Benchmarking interno**

El *benchmarking* interno entre las rampas de la Unidad Minera San Cristóbal, permite comparar el rendimiento de la perforación en diferentes condiciones geológicas. Si una Rampa ha logrado una mayor eficiencia en la perforación, optimizando el uso de brocas o utilizando técnicas más avanzadas, estas mejores prácticas pueden ser replicadas en la otra Rampa para:

- Reducir el desgaste de herramientas.
- Optimizar los tiempos de perforación, lo que disminuye el tiempo total del proyecto.
- Disminuir los costos de aceros de perforación, al utilizar materiales de mejor calidad y mayor durabilidad.

• **Voladura**

✓ **Descripción del proceso**

La voladura es el proceso mediante el cual se fractura la roca utilizando explosivos para facilitar la extracción del material. En este contexto, se emplean explosivos, cuyo tipo y cantidad dependen de la dureza de la roca, el tipo de material y la distribución de taladros de la perforación (9). El consumo de explosivos es uno de los factores más críticos que afecta los costos operacionales en minería subterránea, ya que su uso debe ser eficiente para evitar sobre costos.

✓ **Costos asociados**

El costo de voladura depende de:

- Tipo y cantidad de explosivos: rocas más duras o más compactas requieren más explosivos, lo que aumenta los costos.
- Patrón de perforación: el diseño de los agujeros de perforación influye en la cantidad de explosivos utilizados. Un patrón más eficiente puede reducir el consumo de explosivos y mejorar la fragmentación.

✓ **Benchmarking interno**

El *benchmarking* interno entre rampas ayuda a identificar diferencias en el consumo de explosivos y en la eficiencia de la voladura. Si una rampa ha logrado optimizar el uso de explosivos y aumentar la fragmentación de la roca con menos cantidad de material explosivo, sus estrategias pueden ser transferidas a la otra rampa para:

- Reducir el uso de explosivos sin comprometer la calidad de la fragmentación.
- Ajustar el patrón de perforación para maximizar la eficiencia de la voladura y disminuir los costos asociados a la fragmentación.

- **Limpieza con Scooptram 5YD3**

- ✓ **Descripción del proceso**

La limpieza es el proceso mediante el cual se retiran los escombros generados por la voladura. El equipo Scooptram 5YD3 es comúnmente utilizado en minería subterránea para transportar los escombros a través de las Rampas y vaciar las galerías (9). La eficiencia en la limpieza depende del tamaño de los fragmentos generados por la voladura y de la capacidad de los equipos para mover los escombros.

- ✓ **Costos asociados**

Los costos de limpieza incluyen:

- Consumo de combustible: la eficiencia del Scooptram 5YD3 está directamente relacionada con el tamaño de los escombros y la cantidad de combustible que consume para transportarlos.
- Tiempo de operación: la limpieza más eficiente reduce el tiempo requerido para completar la tarea, lo que disminuye los costos de mano de obra y otros gastos asociados.

- ✓ **Benchmarking interno**

El *benchmarking* interno puede ayudar a identificar diferencias en la eficiencia de la limpieza entre las rampas. Si una rampa ha logrado realizar la limpieza más rápidamente y con menor consumo de combustible, estas prácticas pueden aplicarse en la otra rampa para:

- Optimizar los tiempos de limpieza.
- Reducir el consumo de combustible y mejorar la eficiencia operativa del equipo.
- Mejorar la logística de transporte de escombros.

c) Indicadores clave de desempeño (KPIs)

Los indicadores clave de desempeño (KPIs) son esenciales para medir la eficiencia y efectividad de las operaciones mineras subterráneas. Los KPIs proporcionan una base sólida para realizar análisis comparativos entre distintas Rampas o unidades operativas, facilitando el proceso de benchmarking interno. Mediante estos indicadores, las unidades pueden identificar áreas de mejora, optimizar recursos y reducir costos operacionales, lo que impacta directamente en la rentabilidad y productividad (10).

A continuación, se describen los KPIs más relevantes para la optimización de los costos de avance por metro lineal en minería subterránea, con su respectiva interpretación y aplicación práctica.

a) Costo por metro lineal de la mano de obra (\$/metro lineal)

- **Descripción:**

Este KPI mide el costo total del personal involucrado en las operaciones de perforación, voladura y limpieza, dividido por el número de metros avanzados en la rampa. Es uno de los indicadores más relevantes para evaluar la eficiencia laboral y la productividad del equipo (10).

- **Aplicación:**

- ✓ Benchmarking interno: este indicador es útil para comparar la eficiencia laboral entre las Rampas, ayudando a identificar si una rampa tiene un uso más eficiente del personal en relación con el avance alcanzado.

- ✓ Reducción de costos: un bajo costo por metro lineal de mano de obra indica que las operaciones están siendo más productivas, lo cual es clave para reducir los costos operacionales.

- **Acciones de mejora:**

- Entrenamiento continuo para el personal.
- Optimización de las jornadas de trabajo y turnos.
- Mejora en la coordinación entre los equipos.

b) Costo por metro lineal de los aceros de perforación (\$/metro lineal)

- **Descripción:**

Este indicador evalúa el costo de los aceros de perforación utilizados durante las actividades de perforación en minería subterránea. Los aceros de perforación son un recurso fundamental, y su vida útil depende del tipo de roca y de las técnicas de perforación empleadas (10).

- **Aplicación:**

- ✓ Benchmarking interno: permite comparar cómo varía el costo de los aceros de perforación entre las rampas, especialmente cuando se enfrentan a diferentes tipos de macizos rocosos.

- ✓ Optimización: identificar las prácticas que permiten reducir el consumo de aceros sin comprometer la calidad de la perforación.

- **Acciones de mejora:**

- Selección de brocas o aceros de perforación más duraderos.
- Ajustes en la técnica de perforación para reducir el desgaste de las herramientas.

c) Costo por metro lineal de las herramientas (\$/metro lineal)

- **Descripción:**

Este KPI refleja el costo de las herramientas necesarias para llevar a cabo las tareas de perforación y mantenimiento. Incluye tanto las herramientas de perforación como otros equipos utilizados durante el proceso de excavación (10).

- **Aplicación:**

- ✓ Benchmarking interno: compara los costos de herramientas entre las rampas, lo que permite identificar si una rampa está utilizando herramientas de mayor durabilidad o eficiencia que otra.
- ✓ Optimización: mejorar la gestión de herramientas para prolongar su vida útil y reducir los costos de reposición.

- **Acciones de mejora:**

- Mantenimiento preventivo para alargar la vida útil de las herramientas.
- Mejor selección de herramientas en función de la geología de cada Rampa.

d) Costo por metro lineal de los implementos de seguridad (\$/metro lineal)

- **Descripción:**

Este KPI refleja el gasto en equipos de protección personal (EPP), necesarios para garantizar la seguridad de los trabajadores. Incluye guantes, cascos, botas, equipos de respiración, entre otros (10).

- **Aplicación:**

- ✓ Benchmarking interno: compara los costos de implementos de seguridad entre las Rampas, ayudando a identificar si se están utilizando los EPP adecuados sin exceso de gasto.
- ✓ Mejora en **seguridad**: asegura que las rampas mantengan altos estándares de seguridad sin comprometer la eficiencia en el uso de recursos.

- **Acciones de mejora:**

- Capacitación continua en seguridad.
- Uso de EPP de alta calidad que dure más tiempo, reduciendo costos a largo plazo.

e) Costo por metro lineal de los equipos en operación (\$/metro lineal)

- **Descripción:**

Este KPI mide los costos operacionales asociados con los equipos utilizados en las actividades de perforación, voladura y limpieza. Incluye el consumo de combustible, los costos de mantenimiento, y los costos de operación relacionados con el uso de maquinaria (10).

- **Aplicación:**

- ✓ Benchmarking interno: permite comparar la eficiencia operativa de los equipos entre las Rampas, ayudando a identificar las rampas con un mejor rendimiento de los equipos y menores costos operacionales.
- ✓ Reducción de costos: optimizar el uso de equipos de perforación, voladura y limpieza para reducir los costos de operación.

- **Acciones de mejora:**

- ✓ Mantenimiento preventivo y optimización de los tiempos de uso de los equipos.
- ✓ Capacitación del personal para maximizar el rendimiento de los equipos.

f) Costo por metro lineal de los explosivos y accesorios de voladura (\$/metro lineal)

- **Descripción:**

Este KPI mide el costo de los explosivos y los accesorios de voladura utilizados en las operaciones de minería subterránea. Los explosivos representan una parte significativa de los costos de avance y su uso debe ser eficiente para evitar gastos innecesarios (10).

- **Aplicación:**

- ✓ Benchmarking interno: permite comparar el consumo de explosivos entre las Rampas, ayudando a identificar qué rampas utilizan los explosivos de manera más eficiente sin afectar la calidad de la fragmentación.
- ✓ Reducción de costos: al ajustar las técnicas de voladura, se puede reducir el consumo de explosivos y mejorar la eficiencia operativa.

- **Acciones de mejora:**

- Optimización del diseño de voladura para reducir el uso de explosivos.
- Uso de explosivos de mejor rendimiento que permitan una mejor fragmentación y menor consumo

d) Relación de los costos de avance por metro lineal

La optimización de los costos de avance por metro lineal en minería subterránea es un proceso crucial para mejorar la rentabilidad y la eficiencia operativa. Este proceso implica la reducción de los costos asociados con la perforación, voladura y limpieza, lo cual impacta directamente en la productividad del proyecto minero. Una de las herramientas más efectivas para lograr esta optimización es el benchmarking interno, que permite comparar el desempeño de las distintas Rampas y adoptar las mejores prácticas de las áreas más eficientes (10).

- **Beneficios del *benchmarking* interno**

El *benchmarking* interno facilita la identificación de las áreas donde los costos son más altos y permite aplicar las mejores prácticas y estrategias de las rampas más eficientes a otras rampas. Esto puede conducir a reducciones significativas en los costos operacionales, lo que optimiza el avance por metro lineal y mejora el rendimiento general de la operación minera (10).

A continuación, se detallan algunas de las optimizaciones posibles que pueden lograrse a través del benchmarking interno, enfocados en tres procesos clave: perforación, voladura y limpieza.

El *benchmarking* interno es una herramienta esencial para optimizar los costos de avance por metro lineal en la Unidad Minera San Cristóbal, especialmente al comparar las rampas. A través de la comparación de las mejores prácticas en las áreas de perforación, voladura y limpieza, se pueden identificar oportunidades de mejora y aplicar estrategias eficientes que resulten en reducciones de costos operacionales. Al implementar un sistema de benchmarking interno adecuado y utilizando KPIs para medir el rendimiento, la unidad minera puede mejorar la eficiencia operativa, aumentar la rentabilidad y garantizar la seguridad y la calidad de las operaciones.

Tabla 4. *Benchmarking interno para el desarrollo de una rampa*

Benchmarking interno	
Procesos clave mina	Descripción
Estudio geomecánico	Caracterización geomecánica del macizo rocoso
Ciclo de operaciones	Perforación Jumbo Boomer s1d
	Voladura explosivo emulnor
	Limpieza Scooptram 5yd3
Indicadores clave de desempeño (KPIs)	• Costo por metro lineal de la mano de obra (\$/metro lineal)

- Costo por metro lineal de los aceros de perforación (\$/metro lineal)
- Costo por metro lineal del costo herramientas (\$/metro lineal)
- Costo por metro lineal de los implementos de seguridad (\$/metro lineal)
- Costo por metro lineal de los equipos en operación (\$/metro lineal)
- Costo por metro lineal de los explosivos y accesorios voladura(\$/metro lineal)

Relación de los costos de avance por metro lineal	La optimización de los costos de avance por metro lineal es un proceso continuo que se beneficia enormemente del uso del benchmarking interno. Al comparar el desempeño de las Rampas de la Unidad Minera San Cristóbal puede identificar áreas de mejora y aplicar estrategias eficientes para reducir los costos operacionales en ambas Rampas.
---	---

Tomada de Construcción de un modelo de gestión de costos en una mina subterránea (10)

2.4. Definición de términos

- **Benchmarking interno:** proceso de medición y comparación de las prácticas y resultados dentro de una misma organización para identificar las mejores prácticas y áreas de mejora (6).
- **Unidad operativa:** división o sección dentro de una organización que realiza actividades específicas, como la perforación, voladura o limpieza en minería subterránea (7).
- **Procesos operativos:** conjunto de actividades o tareas que se realizan para lograr los objetivos operacionales dentro de una operación minera (7).
- **Optimización de costos:** proceso de identificar y aplicar las mejores estrategias para reducir los costos de operación sin comprometer la calidad o la seguridad (10).
- **Rampa de acceso subterráneo:** túnel inclinado o vertical usado para acceder a las diferentes partes de una mina subterránea (9).

- **Estudio geomecánico:** estudio de las propiedades físicas y mecánicas de las rocas, para seleccionar los métodos de perforación, voladura y excavación adecuados (8).
- **Resistencia a la compresión uniaxial:** medición de la resistencia de una roca cuando se somete a una carga axial, usada para evaluar la dificultad de perforación y voladura (8).
- **Fracturación:** presencia de fisuras, grietas o fallas en la roca que afectan la estabilidad y facilidad de perforación y voladura (8).
- **Voladura:** uso de explosivos para fracturar la roca y permitir su extracción más fácil y eficiente (9).
- **KPIs (indicadores clave de desempeño):** métricas que se utilizan para medir la eficiencia y efectividad de las operaciones mineras subterráneas (10).
- **Costo por metro lineal:** mide los costos asociados a las actividades de perforación, voladura y limpieza en minería, expresado en función del avance logrado en metros (10).
- **Aceros de perforación:** materiales utilizados para las brocas de perforación, fundamentales para la creación de agujeros en las rocas de la mina (11).
- **Desgaste de herramientas:** proceso de desgaste de las brocas o herramientas utilizadas en la perforación debido al contacto con las rocas abrasivas o duras (11).
- **Fragmentación de la roca:** el proceso de división de la roca en fragmentos más pequeños, facilitado por la voladura y la presencia de discontinuidades en la roca (8).
- **Optimización del uso de explosivos:** ajuste en la cantidad y tipo de explosivos usados para reducir costos y maximizar la eficiencia en la fragmentación de la roca (9).

CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA

3.1 Método y alcances de la investigación

3.1.1. Métodos de la investigación

a) Método general

En forma general se empleará el método científico para el uso de la herramienta de gestión *benchmarking* interno, enfocado en reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.

b) Método específico

El método específico a emplear es el método experimental deductivo. El uso de la herramienta de gestión *benchmarking* interno ayudara a reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.

3.2 Alcances de la investigación

a) Tipo de investigación

Es de tipo aplicativa, ya que busca la implementación práctica de la herramienta de gestión *benchmarking* interno con el objetivo de optimizar los costos de avance en la Rampa 667 de la Unidad Minera San Cristóbal. Este tipo de estudio se centra en la aplicación de conocimientos teóricos a un contexto real para mejorar procesos dentro de la organización.

b) Nivel de investigación

Es descriptivo, porque se enfoca en analizar y caracterizar la situación actual del costo de avance en la Rampa 667, así como el impacto que tiene la implementación del *benchmarking* interno. Se recopilarán datos sobre el proceso antes y después de la aplicación de la herramienta, describiendo sus efectos sin profundizar en relaciones causales complejas.

3.3 Diseño de la investigación

Es experimental, dado que se manipulará la variable independiente (uso del *benchmarking* interno) para evaluar su efecto en la reducción del costo de avance. Se realizarán mediciones antes y después de la implementación, lo que permitirá analizar si la herramienta genera mejoras significativas en la gestión de costos en la Unidad Minera San Cristóbal.

3.4 Población y muestra

3.3.1 Población

Todas las rampas de profundización de la Unidad Minera San Cristóbal.

3.3.2 Muestra

La muestra es la rampa de profundización 667 del nivel 1410, de la zona baja 2, de la Unidad Minera San Cristóbal.

La muestra comparativa es:

- La Rampa 616, de la Unidad Minera San Cristóbal.
- La Rampa SP5 de la Zona II de la Unidad Minera San Cristóbal

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos

Observación: se realizará la recolección de datos en campo, mediante la técnica observacional y procesamiento de datos actuales de la perforación y voladura, de la rampa de profundización 667 del nivel 1410, de la zona baja 2, de la Unidad Minera San Cristóbal.

Para la investigación se utilizará como instrumento de campo. Cuaderno de notas, planos, vernier, flexómetro, y herramientas de gestión de la Unidad Minera San Cristóbal.

Recopilación: recolección de datos de la perforación, factores y parámetros, control de uso y consumo, utilizando programa Excel y hacer uso de tesis, libros y laptop para el procesamiento de los datos

3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos

- Informes
- Publicaciones
- Tesis

- Planos
- Fichas
- Libros
- Internet
- PC

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Desarrollo de la herramienta de gestión *benchmarking* interno para reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal

El *benchmarking* interno es una herramienta estratégica que permite a las organizaciones comparar sus unidades operativas para identificar las mejores prácticas y áreas de mejora. En el contexto de la Unidad Minera San Cristóbal, el *benchmarking* se aplica específicamente en identificar y comparar áreas como la perforación, voladura y limpieza para luego comprar resultados identificando mejoras a implementar para reducir el costo de avance por metro lineal en la Rampa 667. Es decir a través de esta metodología, la unidad puede evaluar los procesos de perforación, voladura y limpieza, identificar variaciones en la eficiencia entre las rampas y transferir las mejores prácticas para reducir los costos operacionales. La implementación eficaz del *benchmarking* permite mejorar la productividad y rentabilidad de la operación minera.

La optimización del costo de avance por metro lineal es uno de los desafíos más importantes en minería subterránea, ya que los costos asociados con la perforación, voladura y limpieza constituyen una parte significativa del presupuesto operativo. El *benchmarking* interno permite a la unidad minera identificar qué rampas son más eficientes en el uso de recursos, herramientas y equipos, lo que facilita la replicación de estas mejores prácticas en otras para reducir los costos y mejorar la rentabilidad global de la operación. El uso de indicadores clave de desempeño (KPIs) es crucial en este proceso, ya que permite medir la eficiencia de cada fase operativa y detectar oportunidades para optimizar los recursos.

El desempeño de las rampas en términos de perforación, voladura y limpieza puede compararse para identificar las mejores estrategias operativas y aplicarlas en otras. Esto no solo reduce los costos, sino que también mejora la eficiencia de la operación minera en general. A

través de esta herramienta, se fomenta la implementación de soluciones más sostenibles y competitivas. El *benchmarking* interno, por tanto, es fundamental para alcanzar una minería más eficiente y rentable, maximizando el uso de recursos y optimizando los procesos clave.

4.1.1 Estudio geomecánico para la caracterización geomecánica del macizo rocoso

La zonificación geomecánica es crucial para gestionar proyectos mineros como el de la Rampa 667, ya que clasifica el macizo rocoso en zonas según sus características geomecánicas, como la resistencia de la roca, las discontinuidades y la presencia de agua. Esta clasificación permite identificar zonas de riesgo, optimizar los recursos y diseñar excavaciones más seguras, asegurando que las áreas más inestables reciban refuerzos adecuados. Además, contribuye a la seguridad operativa, evitando accidentes y mejorando la eficiencia en las labores.

Por otro lado, la comparación de las labores ayuda a evaluar la efectividad de las operaciones de excavación, permitiendo identificar áreas de mejora y ajustar las técnicas, tiempos y equipos. Al comparar el rendimiento en función de las condiciones geomecánicas, se pueden hacer ajustes informados, anticipando problemas en futuras operaciones y garantizando una mejora continua en el proyecto. Este proceso facilita la toma de decisiones para optimizar el rendimiento y la calidad de las excavaciones.

Gracias al desarrollo de los Rampa 616 y Rampa SP5, se pueden implementar mejoras significativas en la Rampa 667. Estas rutas alternas no solo facilitan la circulación y optimización del flujo de trabajo, sino que también requieren un análisis geomecánico detallado para evaluar su estabilidad y su impacto en los tiempos y costos del proyecto. La zonificación geomecánica y la comparación de las labores jugarán un papel crucial al evaluar las condiciones de estas rutas, permitiendo una mejor planificación y ejecución de las operaciones. Con estas medidas, se garantiza que las rutas alternas sean seguras, eficientes y adaptadas a las necesidades del proyecto, contribuyendo a la mejora de la Rampa 667 en términos de rendimiento, seguridad y sostenibilidad.

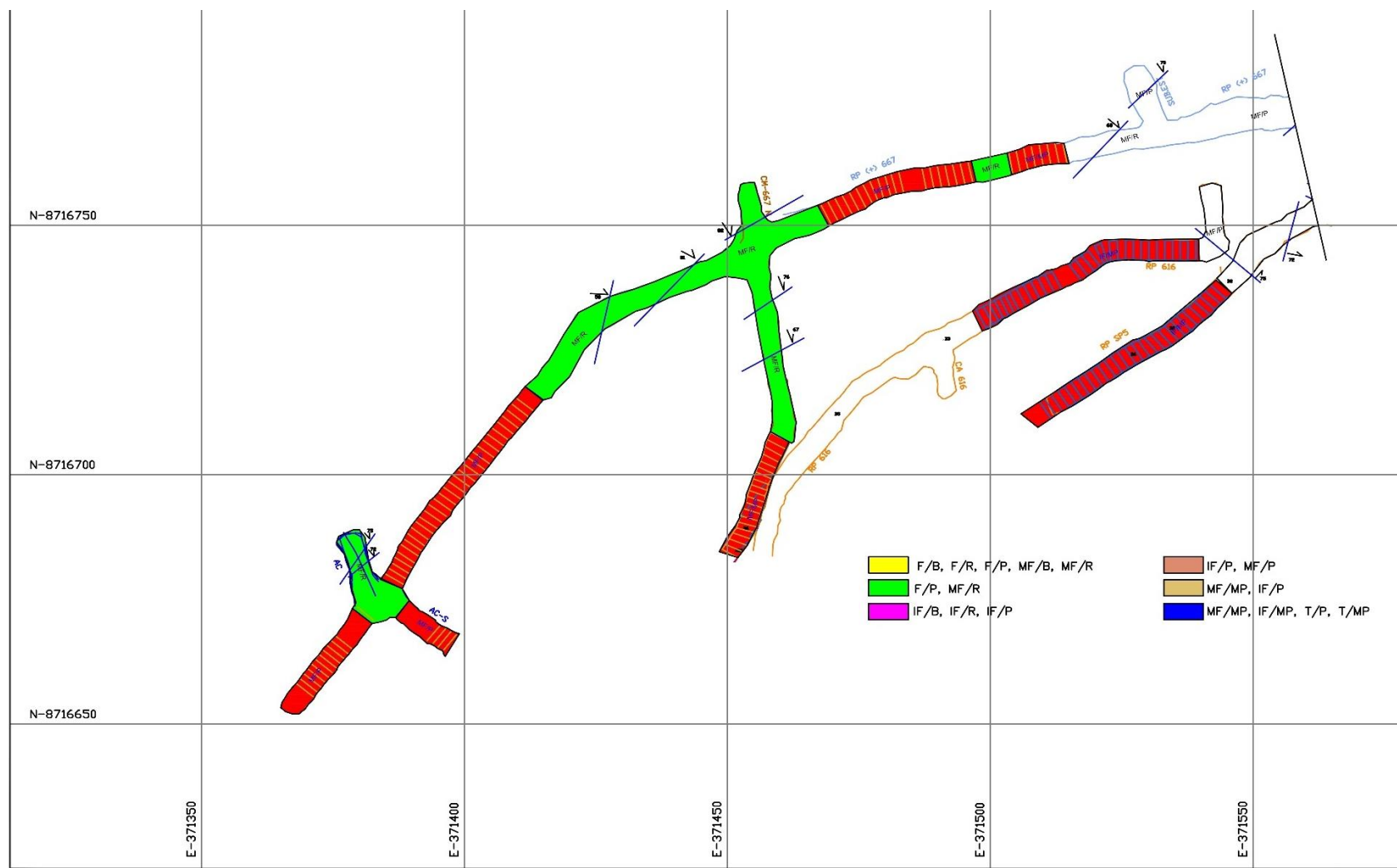


Figura 4. Zonificación geomecánica de la Rampa 667, de la Rampa 616 y la Rampa SP5
Tomada del Informe de zonificación geomecánica de la Unidad Minera San Cristóbal (12)

a) Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la Rampa 616

La caracterización geomecánica del macizo rocoso es crucial para el diseño y ejecución de proyectos de infraestructura, especialmente en áreas con excavaciones profundas o condiciones geotécnicas complejas. En el caso del Rampa 616, situado en una zona geológicamente variable, es fundamental un análisis detallado del comportamiento mecánico del macizo rocoso para garantizar la seguridad y eficiencia del proyecto.

Esta rampa se encuentra en un terreno con alta fracturación, discontinuidades y variabilidad en la resistencia de las rocas, lo que requiere una caracterización exhaustiva para evaluar su impacto en la estabilidad del proyecto y la selección de métodos de excavación y soporte.

En la siguiente tabla se muestra la caracterización geomecánica del macizo rocoso del Rampa 616, de acuerdo a la zonificación realizada

Tabla 5. Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la Rampa 616

Zona regularmente fracturada		
Parámetro	Valor	Puntos obtenidos
Resistencia a la compresión uniaxial (σ_1) (MPa)	75 MPa	7
RQD (%)	60	13
Espaciamiento de discontinuidades (cm)	0.2-0.6m	10
Familia/Buz/Dirección de Buz	3 m Long	2
Abertura	0.1-1.0mm	4
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Duro < 5mm	4
Alteración	Mod.Intempe.	3
Agua subterránea	Mojado	7
Orientación de las fracturas	-5 (Regular)	-5
RMR		50

Interpretación:

La Rampa 616 presenta un tipo de roca III A, con un RMR de 50, lo que indica una calidad geomecánica media del macizo rocoso.

Para garantizar la estabilidad del macizo rocoso y minimizar los riesgos asociados con la fracturación, se recomienda el uso de pernos split set de 7 pies para estabilizar las áreas con alta fracturación. Estos pernos ayudan a mejorar la cohesión de la roca y prevenir deslizamientos.

La instalación de malla electrosoldada proporcionará una capa adicional de soporte, evitando que fragmentos de roca caigan y asegurando la integridad de la excavación. Además, se debe aplicar shotcrete de 2 pulgadas sobre las superficies excavadas para reforzar la estructura y estabilizar el terreno. Este revestimiento también ayudará a proteger contra la humedad, mitigando los efectos del agua subterránea sobre la estabilidad del macizo.

b) Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la Rampa SP5

La caracterización geomecánica del macizo rocoso en la Rampa SP5 es crucial para la estabilidad del proyecto debido a las complejas condiciones geológicas de la zona, que incluyen zonas muy fracturadas y regularmente fracturadas. El análisis de parámetros como la resistencia a la compresión uniaxial y el RQD permite evaluar la calidad geomecánica del terreno, determinando las medidas de soporte necesarias para minimizar los riesgos de deslizamientos y colapsos. La presencia de discontinuidades, agua subterránea y alteración de las rocas requiere la implementación de técnicas de refuerzo, como pernos split set, malla electrosoldada y shotcrete, para asegurar la estabilidad y seguridad del proyecto durante las fases de excavación y construcción.

Tabla 6. Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la Rampa SP5

Zona regularmente fracturada		
Parámetro	Valor	Puntos obtenidos
Resistencia a la compresión uniaxial (σ_1) (MPa)	75 MPa	7
RQD (%)	55	13
Espaciamiento de discontinuidades (cm)	0.2-0.6m	10
Familia/Buz/Dirección de Buz	3 m Long	2
Abertura	0.1-1.0mm	4
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Duro > 5mm	2
Alteración	Mod.Intempe.	3
Agua subterránea	Mojado	7
Orientación de las fracturas	-5 (Regular)	-5
RMR		48

Interpretación:

La Rampa SP5 presenta un RMR de 48 y clasificada como tipo roca III A, refleja una calidad geomecánica media, lo que indica que las condiciones son algo mejores que en la zona muy fracturada, pero aún presentan ciertos riesgos.

Para garantizar la estabilidad en ambas zonas, se recomienda el uso de pernos split set de 7 pies, que proporcionarán un soporte eficaz para estabilizar el macizo rocoso, especialmente en las zonas con alta fracturación. Estos pernos ajustan su tensión durante la instalación, proporcionando cohesión adicional al terreno. Además, la malla electrosoldada debe instalarse para reforzar la superficie excavada y evitar la caída de fragmentos de roca suelta. Para asegurar una mayor estabilidad estructural, se debe aplicar un revestimiento de shotcrete de 2 pulgadas, lo que proporcionará una barrera adicional contra el deslizamiento y ayudará a minimizar los efectos de la humedad, estabilizando aún más el macizo rocoso durante las fases de construcción del proyecto.

c) Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la Rampa 667

La caracterización geomecánica del macizo rocoso en la Rampa 667 es un aspecto esencial para el diseño y ejecución de la infraestructura, dado que la zona presenta condiciones geológicas complejas que pueden influir directamente en la estabilidad del proyecto. Este análisis incluye la evaluación de parámetros clave como la resistencia a la compresión uniaxial, el espaciamiento y orientación de las discontinuidades, el RQD, la rugosidad de las fracturas, y las condiciones de agua subterránea. Estas propiedades determinan la resistencia y estabilidad del macizo rocoso, y son fundamentales para seleccionar las técnicas de excavación y los métodos de refuerzo adecuados, garantizando así la seguridad y la durabilidad de la obra en las fases de construcción. La correcta caracterización geomecánica permitirá mitigar los riesgos asociados con posibles deslizamientos o colapsos durante la ejecución del proyecto.

Tabla 7. Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la Rampa 667

Zona regularmente fracturada		
Parámetro	Valor	Puntos Obtenidos
Resistencia a la compresión uniaxial (σ_1) (MPa)	70 MPa	7
RQD (%)	65	13
Espaciamiento de discontinuidades (cm)	0.2-0.6m	10
Familia/Buz/Dirección de Buz	3 m Long	2
Abertura	0.1-1.0mm	4
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Limpia	2
Alteración	Mod.Intempe	3
Agua subterránea	Mojado	7
Orientación de las fracturas	-5 (Regular)	-5
RMR		48

Interpretación:

La Rampa 667 presenta un RMR de 48 y se clasificada como tipo roca III A, lo que clasifica la zona con una calidad geomecánica media.

Para garantizar la estabilidad de ambas zonas, se recomienda la instalación de pernos split set de 7 pies, que proporcionarán soporte estructural adicional en las áreas con alta fracturación. Estos pernos ayudan a mejorar la cohesión del macizo y a prevenir posibles deslizamientos. Además, se debe instalar malla electrosoldada sobre la superficie excavada, lo que actuará como una capa protectora para evitar que fragmentos de roca caigan y comprometan la seguridad. Finalmente, el uso de shotcrete de 2 pulgadas proporcionará una barrera adicional de refuerzo para estabilizar la excavación y protegerla de los efectos de la humedad y la intemperie, asegurando así la integridad estructural durante las fases de construcción del proyecto.

4.2 Desarrollo del *benchmarking* interno para mejorar el ciclo operativo en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal

4.2.1 Ciclo de operaciones de la Rampa 616

El ciclo de operaciones de la Rampa 616 es un proceso crucial en la extracción minera, el cual está compuesto por una serie de actividades técnicas interdependientes que garantizan la eficiencia y la seguridad durante las operaciones. Este ciclo involucra tres fases principales: perforación, voladura y limpieza. Cada una de estas fases se realiza con equipos especializados, como el perforador Jumbo Boomer S1, el explosivo Emulnor y el equipo Scooptram 5yd³.

La perforación realizada con el Jumbo Boomer S1 es esencial para crear los agujeros necesarios para la carga del explosivo, que a su vez facilita la fracturación del material rocoso. El uso de explosivos como el Emulnor tiene como objetivo la liberación de los minerales de la roca, optimizando el proceso de extracción. Finalmente, la limpieza con el Scooptram 5yd³ es fundamental para la remoción del material fracturado, permitiendo la continuación de las actividades mineras en condiciones óptimas.

Este ciclo debe ser manejado con precisión, ya que cualquier retraso o falla en una de sus fases puede afectar directamente la productividad de la operación minera. Además, es vital la correcta coordinación de los equipos y los tiempos de ejecución para maximizar la eficiencia y minimizar los riesgos asociados a las actividades de perforación, voladura y limpieza en la mina.

a) Perforación y voladura de la Rampa 616

La perforación y voladura de la Rampa 616 es un proceso fundamental para la extracción minera eficiente. La perforación, realizada con el equipo Jumbo Boomer S1D, permite crear agujeros de precisión para la carga de explosivos, siguiendo patrones específicos basados en estudios geotécnicos. Una vez perforado, se utiliza el explosivo Emulnor para fracturar el material rocoso de manera controlada, asegurando que la roca se rompa sin afectar la estructura circundante. Ambas fases deben estar perfectamente coordinadas para garantizar una voladura efectiva, ya que una perforación imprecisa puede comprometer el éxito del proceso.

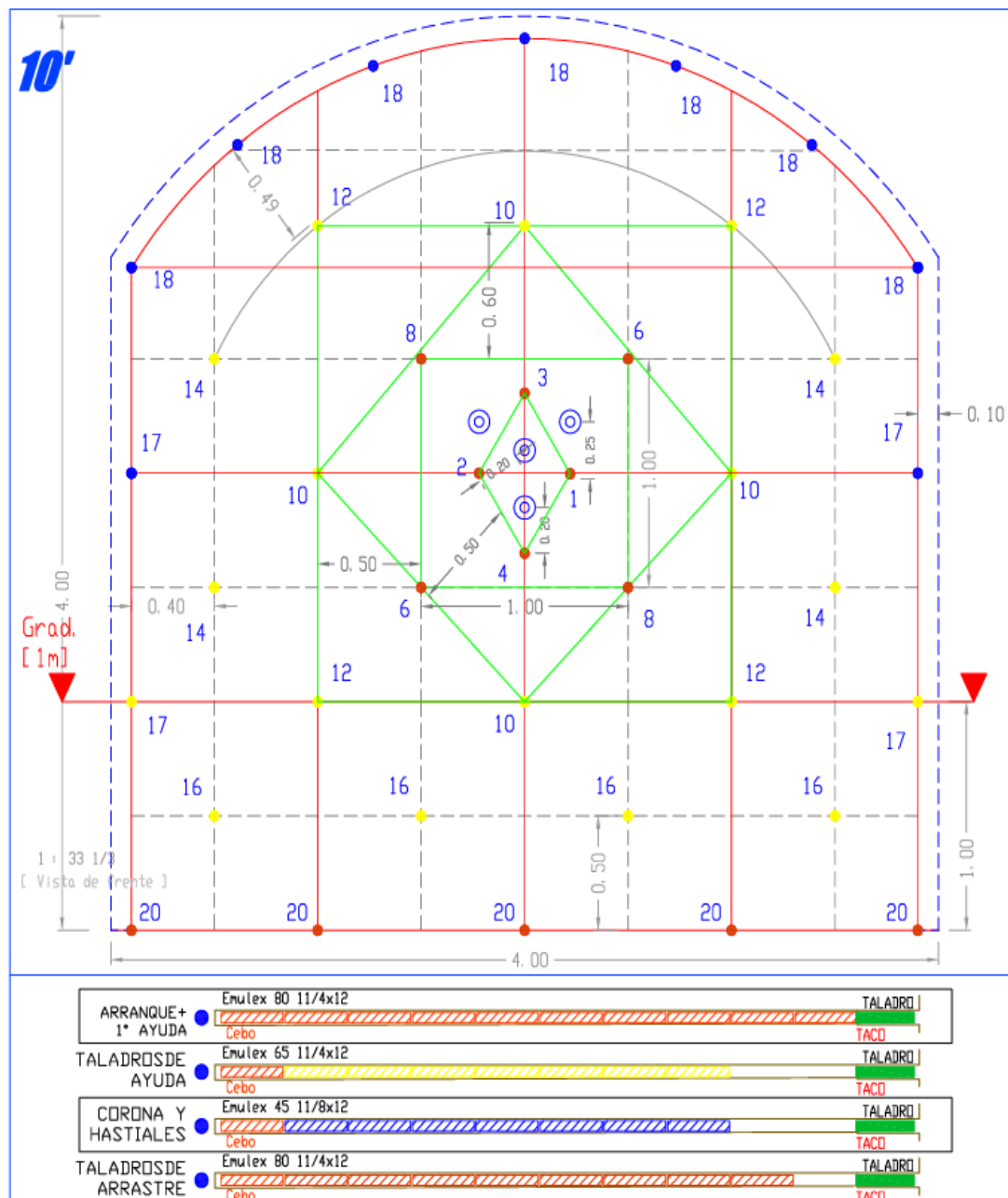


Figura 5. Diseño de la malla de perforación y voladura de la Rampa 616
 Tomada del Informe de perforación y voladura de labores de preparación y desarrollo, Unidad Minera San Cristóbal (13)

Secuencia de salida			Cartuchos de emulsion / taladro				
Secuencia	Taladro	Cantidad	Cantidad de cartuchos	Emulnor 3000 1 1/4x12" (0.391)	Emulnor 3000 1 1/4x12" (0.266)	Emulnor 1000 1 1/4x12" (0.250)	Toal de explosivos en (kg)
0	Alivio de arranque	4					
1	Arraque	4	40	10			15.64
2	1era ayuda	4	36	9			14.08
3	2da. ayuda	4	36	9			14.08
4	3era ayuda	4	32	7	1		12.01
5	Ayuda en los hastiales	4	32	1	7		9.01
6	Ayuda en los arrastres	4	32	1	7		9.01
9	Corona	5	45		1	8	11.33
10	Hastiales	6	54	1		8	14.35
11	Arrastre	5	50		10		13.30
	Total	44	357	154	115	88	112.80

Parametros de perforacion	
Seccion (m)	4.0 x 4.0 m
Area (m2)	14.7
Tipo de roca	Tipo III A - B
Tipo de material	desmonte
Densidad del material (gr/cc)	2.8
Volumen (m3)	47.12
Tonelaje (ton)	131.94
N° total de taladros	44
N° de taladros cargados	40
longitud de barra (pies)	12

Parametros de voladura	
Avance por disparo (ml)	3.1
kg de explosivo	112.80
Faneles (unid.)	40
Pentacord (m)	30
Mecha ensamblada (unid.)	2
Mecha rapida (m)	0.5
Taco de arcilla (unid.)	40
Factor de avance (kg/m)	36.39
Factor de carga (kg/m3)	2.39
Factor de potencia (kg/tn)	0.85

Figura 6. Parámetros de perforación y voladura de la Rampa 616
Tomada del Informe de perforación y voladura de labores de preparación y desarrollo, Unidad Minera San Cristóbal (13)

Interpretación:

El proceso de perforación y voladura detallado en la imagen ha sido diseñado para optimizar la extracción minera mediante una planificación precisa de los parámetros técnicos. Se define una sección de perforación de 4.0 m x 4.0 m y un volumen de material a excavar de 47.12 m³, con el objetivo de calcular la cantidad de explosivos necesarios y el tiempo requerido para realizar la voladura. La roca, clasificada como tipo III, presenta una dureza media.

El rendimiento de la voladura está diseñado para garantizar la eficiencia del proceso. Con un avance por disparo de 3.1 metros y el uso de 112.80 kg de explosivos, se optimiza la fragmentación de la roca. El factor de avance es de 36.39 kg/ml y El factor de carga es de 2.39 kg/m³, aseguran que se utilice la cantidad adecuada de explosivos en relación con el volumen de roca a fracturar. La perforación se realiza con diámetros de taladro de 45 mm y 102 mm, lo que permite un control preciso de la profundidad y del tipo de explosivo utilizado. Además, se carga explosivos en 40 de los 44 taladros perforados, lo cual es una proporción adecuada para lograr la fragmentación deseada.

La secuencia de disparo se organiza en diferentes etapas como arranque, primera ayuda, segunda ayuda, tercera ayuda, ayuda en los hastiales, ayuda en los arrastres, corona, hastiales y arrastre, asignando una cantidad específica de cartuchos a cada fase. Los accesorios de voladura como faneles y pentacord son esenciales para asegurar la correcta disposición de los explosivos en los taladros y optimizar la liberación de energía durante la voladura. El uso de tacos de arcilla ayuda a controlar la voladura, evitando los tiros fallados. En conjunto, los explosivos Emulnor 3000 y Emulnor 1000 son seleccionados para maximizar la eficiencia y minimizar el uso innecesario de materiales explosivos. Este proceso asegura una voladura segura, eficaz y económica, optimizando tanto la extracción del material como el uso de recursos.

b)Desarrollo de los últimos 10 disparos realizados en la Rampa 616

En la siguiente tabla se muestra el desarrollo de los últimos 10 disparos realizados en la Rampa 616

Tabla 8. Desarrollo de los últimos 10 disparos realizados en la Rampa 616

Labor	Rampa 616	Longitud de barra (pies)	12.00
Seccion	4.0 x 4.0 m	Densidad (kg/m3)	2.8

Cantidad de disparos	Eficiencia de perforacion y voladura (%)	Avance efectivo (m)	Volumen (m3)	Tonelaje (ton)
1	95%	3.19	46.89	131.28
2	90%	3.02	44.42	124.37
3	95%	3.19	46.89	131.28
4	95%	3.19	46.89	131.28
5	95%	3.19	46.89	131.28
6	90%	3.02	44.42	124.37
7	95%	3.19	46.89	131.28
8	90%	3.02	44.42	124.37
9	90%	3.02	44.42	124.37
10	90%	3.02	44.42	124.37
Promedio	93%	3.10	45.65	127.82

Interpretación:

Tras los disparos, la eficiencia de perforación y voladura es de 93%, lo que indica un rendimiento generalmente alto en la perforación y voladura. La operación ha logrado un avance efectivo promedio de 3.10 metros por disparo, con un volumen promedio de 45.65 m³ y un tonelaje promedio de 127.82 toneladas. Ajustar los parámetros en esos disparos podría optimizar aún más el rendimiento, lo que reduciría los tiempos de limpieza y aumentaría la productividad. En general, los resultados indican que se ha logrado un buen equilibrio entre eficiencia y producción, pero aún existe espacio para ajustar y mejorar el proceso en futuras voladuras.

c) Fragmentación del disparo en la Rampa 616

En la Rampa 616, el proceso de fragmentación está influenciado por varios factores como la cantidad y tipo de explosivo, la densidad de la roca, el perfil de los taladros y el diseño de la malla de voladura. Un control adecuado de estos factores es esencial para maximizar la productividad de la operación minera, asegurando que la fragmentación sea eficiente y rentable. En este contexto, se evaluará la fragmentación de los disparos en la Rampa 616 y su impacto en el rendimiento global de la mina.

Fragmentación del disparo de la Rampa 616 - Unidad Minera San Cristóbal

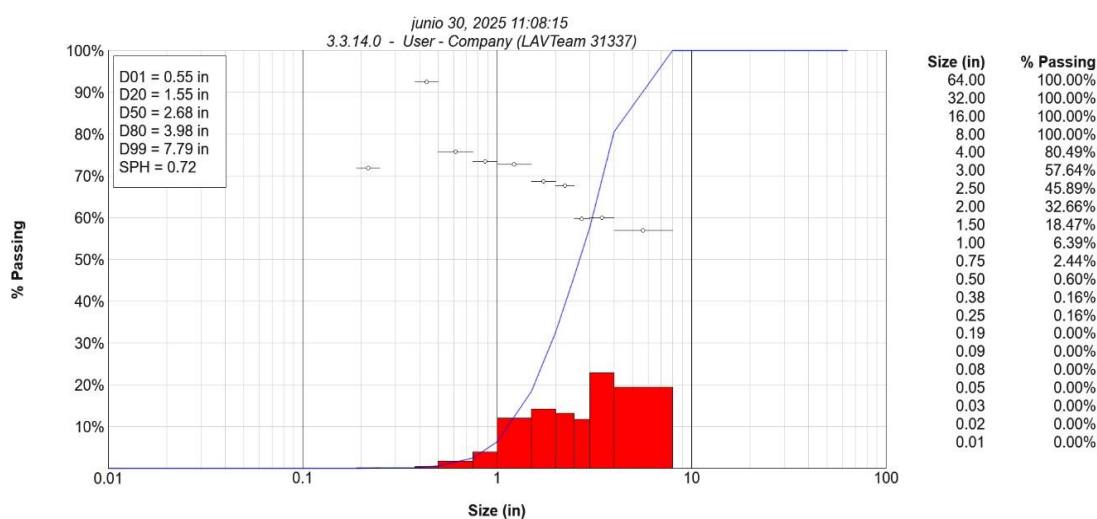


Figura 7. Fragmentación del disparo en la Rampa 616 - Unidad Minera San Cristóbal

Interpretación:

La fragmentación del disparo en la Rampa 616, con un P80 de 3.98 pulgadas, se refiere al tamaño de los fragmentos generados por la voladura. El valor P80 indica que el 80 % del material fragmentado tiene un tamaño igual o inferior a 3.98 pulgadas (aproximadamente 10.10 cm).

En términos de eficiencia, el objetivo es que esta fragmentación sea adecuada para las operaciones posteriores, como la carga y el transporte del material. Un P80 de 3.98 pulgadas ayuda a facilitar la carga sin que sean excesivamente finos (lo que podría generar pérdidas o ineficiencias en el proceso carguío y acarreo).

La eficiencia de la fragmentación se puede evaluar mediante la carga útil de material, el rendimiento de la trituración y otros aspectos operativos. En este caso, con un P80 de 3.98 pulgadas, es probable que la fragmentación sea eficiente para las etapas de transporte.

d) Limpieza Scooptram 5yd³ de la Rampa 616

La granulometría de 3.98 pulgadas, fragmentos de roca de aproximadamente 10.10 cm de diámetro son considerados de tamaño moderado para las operaciones de Scooptram. Este tamaño es lo suficientemente pequeño para que el Scooptram pueda cargarlos eficientemente, pero no tan grande como para dificultar la carga.

- ✓ Carga eficiente: fragmentos de aproximadamente 10.10 cm de tamaño pueden ser manejados fácilmente por el Scooptram 5yd³, lo que le permite cargar su capacidad total de 3.520 m³ por ciclo.

- ✓ Facilidad de manipulación: los fragmentos de tamaño moderado no causan atascos ni bloqueos en el cubo del Scooptram, lo que permite un proceso de limpieza más rápido y fluido.

- **Ciclos de limpieza con granulometría óptima**

La limpieza con Scooptram con granulometría de 3.98 pulgadas producto de los disparos se obtiene lo siguiente:

- Material a remover: 45.65 m³ de material fracturado en el frente en promedio.
- Capacidad del Scooptram 5yd³: 3.520 m³ por ciclo.
- Granulometría de 3.98 pulgadas: Los fragmentos son principalmente de 10.10 cm de tamaño, lo que es adecuado para la carga y transporte en el Scooptram 5yd³.

- **Cálculo de los ciclos de limpieza con granulometría óptima**

Teorema de cálculo:

$$\text{Ciclo de limpieza G.O} = \frac{\text{Material a remover (m3)}}{\text{Capacidad del Scooptram } (\frac{\text{m3}}{\text{ciclo}})}$$

Reemplazando

$$\text{Ciclo de limpieza G.O} = \frac{45.65 \text{ m3}}{3.520 (\frac{\text{m3}}{\text{ciclo}})}$$

$$\text{Ciclo de limpieza G.O} = 12.96 \text{ ciclos}$$

La granulometría de 3.89 pulgadas juega un papel crucial en la eficiencia de la limpieza del material roto con el Scooptram 5yd³. Cuando los fragmentos de roca tienen un tamaño moderado (aproximadamente 10.10 cm), el Scooptram puede cargar y remover el material de manera más eficiente, reduciendo el número de ciclos necesarios y los costos operativos. Sin embargo, si la granulometría es dispar (con fragmentos grandes y pequeños), la eficiencia de la limpieza se reduce, lo que aumenta los ciclos de limpieza y, por ende, los costos operativos. En resumen, una fragmentación adecuada es esencial para maximizar la productividad y reducir los costos en las operaciones mineras.

4.2.2 Ciclo de operaciones de la Rampa SP5

La perforación y voladura en la Rampa SP5 es un proceso crucial para garantizar una extracción minera eficiente y controlada. La perforación se lleva a cabo con el Jumbo Boomer S1, un equipo especializado diseñado para crear agujeros de precisión en la roca. Estos agujeros

son fundamentales para la correcta carga del explosivo, ya que deben seguir patrones específicos que se determinan a partir de estudios geotécnicos detallados. Los patrones de perforación son esenciales para asegurar que la energía del explosivo se distribuya de manera óptima durante la voladura. La precisión de la perforación es vital, ya que cualquier error en la ubicación o la profundidad de los agujeros puede afectar la efectividad de la voladura y, en última instancia, la calidad de la fragmentación de la roca.

Una vez que la perforación ha sido completada, se procede a la voladura, donde se utiliza el explosivo Emulnor para fracturar la roca de manera controlada. Este tipo de explosivo está diseñado para romper el material rocoso sin causar daños innecesarios a las estructuras circundantes. La voladura debe ser cuidadosamente planeada, ya que la cantidad y la ubicación de los explosivos influirán en la distribución de los fragmentos de roca. El objetivo es obtener una fragmentación adecuada para facilitar su remoción y posterior procesamiento sin generar riesgos ni ineficiencias. Tanto la perforación como la voladura deben estar perfectamente coordinadas para asegurar que la fracturación del material se realice de manera efectiva, maximizando la eficiencia y minimizando los posibles riesgos operativos.

a) Perforación y voladura de la Rampa SP5

La perforación y voladura en la Rampa SP5 es esencial para una extracción minera eficiente. La perforación, realizada con el Jumbo Boomer S1, crea agujeros precisos para cargar el explosivo, siguiendo patrones geotécnicos específicos. Luego, se utiliza el explosivo Emulnor para fracturar la roca controladamente, garantizando una fragmentación adecuada. La coordinación de ambas fases es clave para maximizar la eficiencia y minimizar riesgos operativos.

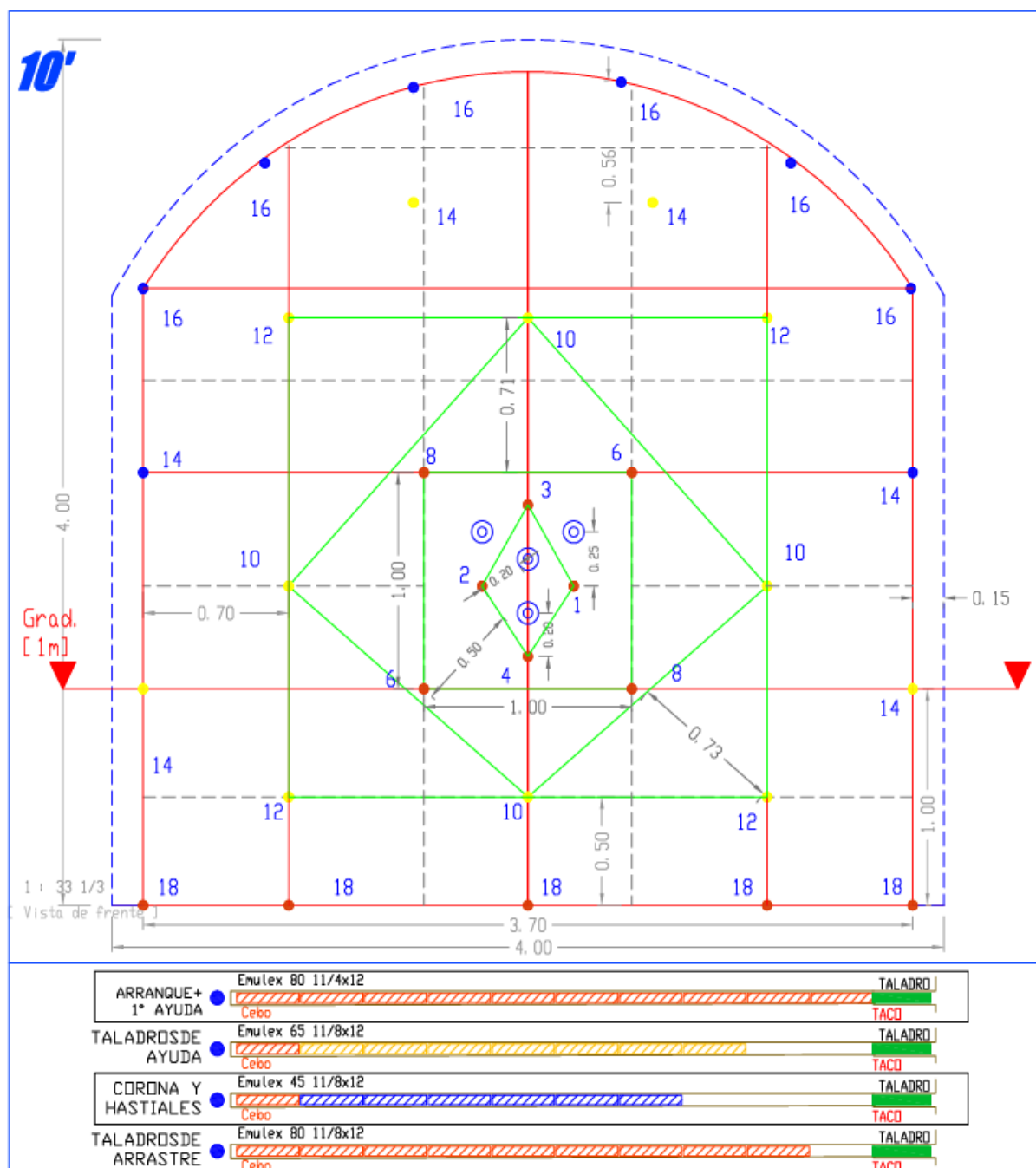


Figura 8. Diseño de la malla de perforación y voladura de la Rampa SP5
Tomada del Informe de perforación y voladura de labores de preparación y desarrollo, Unidad
Minera San Cristóbal (13)

Secuencia de salida			Cartuchos de emulsion / taladro				
Secuencia	Taladro	Cantidad	Cantidad de cartuchos	Emulnor 3000 1 1/4x12" (0.391)	Emulnor 3000 1 1/4x12" (0.266)	Emulnor 1000 1 1/4x12" (0.250)	Toal de explosivos en (kg)
0	Alivio de arranque	4					
1	Arraque	4	36	9			14.08
2	1era ayuda	4	32	8			12.51
3	2da. ayuda	4	32	8			12.51
4	3era ayuda	4	28	6	1		10.45
5	Ayuda en la corona	2	14	1	6		3.97
9	Corona	4	28		1	6	7.06
10	Hastiales	6	42	1		6	11.35
11	Arrastre	5	45		9		11.97
	Total	37	257	132	65	60	83.902

Parametros de perforacion	
Seccion (m)	4.0 x 4.0 m
Area (m2)	14.72
Tipo de roca	Tipo III A - B
Tipo de material	desmonte
Densidad del material (gr/cc)	2.8
Volumen (m3)	42.86
Tonelaje (ton)	120.02
N° total de taladros	37
N° de taladros cargados	33
N° de taladros - Alivio de arranque	4
longitud de barra (pies)	11

Parametros de voladura	
Avance por disparo (ml)	2.82
kg de explosivo	83.902
Faneles (unid.)	33
Pentacord (m)	30
Mecha ensamblada (unid.)	2
Mecha rapida (m)	0.5
Taco de arcilla (unid.)	33
Factor de avance (kg/m)	29.75
Factor de carga (kg/m3)	1.96
Factor de potencia (kg/tn)	0.70

*Figura 9. Parámetros de perforación y voladura de la Rampa SP5
Tomada del Informe de perforación y voladura de labores de preparación y desarrollo, Unidad Minera San Cristóbal (13)*

Interpretación:

El gráfico detalla un plan de perforación y voladura para un proceso de extracción minera con el objetivo de optimizar tanto la eficiencia como la seguridad en las operaciones. En cuanto a los parámetros técnicos, la sección de perforación tiene unas dimensiones de 4.0 m x 4.0 m, y el tipo de roca es desmonte (Tipo III), con un volumen de material de 42.86 m³. Este volumen permite calcular la cantidad precisa de explosivos y el rendimiento del proceso. El avance por disparo es de 2.82 m, utilizando 83.902 kg de explosivos en cada ciclo de perforación, con un factor de avance de 29.75 kg/ml y un factor de carga de 1.96 kg/m³, lo que asegura la relación adecuada entre el volumen de material a excavar y la cantidad de explosivo.

Se perforaron 37 taladros, de los cuales 33 fueron cargados con explosivos, lo que garantiza un control preciso sobre la profundidad y la distribución de los explosivos, asegurando una fracturación eficiente y controlada de la roca. La longitud de carga está organizada con diferentes tipos de explosivos, representados por colores, para optimizar la liberación de energía y obtener una fragmentación adecuada.

La secuencia de disparo está organizada en fases como arranque, producción, y ayuda de corona, asignando una cantidad específica de cartuchos a cada fase para asegurar una detonación controlada y eficiente. Los accesorios de voladura esenciales, como faneles, Pentacord, mechas ensambladas, y tacos de arcilla, aseguran la correcta colocación de los explosivos y protegen los taladros durante la voladura. Finalmente, los cartuchos de emulsión se detallan con medidas específicas y se utilizan cantidades precisas de cada tipo para optimizar la distribución de los explosivos, mejorando el rendimiento de la voladura.

b)Desarrollo de los últimos 10 disparos realizados en la Rampa SP5

En la siguiente tabla se muestra el desarrollo de los últimos 10 disparos realizados en la Rampa SP5

Tabla 9. Desarrollo de los últimos 10 disparos realizados en la Rampa SP5

Labor	Rampa SP5	Longitud de barra (pies)	11.00
Seccion	4.0 x 4.0 m	Densidad (kg/m3)	2.8

Cantidad de disparos	Eficiencia de perforacion y voladura (%)	Avance efectivo (m)	Volumen (m3)	Tonelaje (ton)
1	95%	2.90	42.62	119.35
2	90%	2.74	40.38	113.06
3	90%	2.74	40.38	113.06
4	90%	2.74	40.38	113.06
5	95%	2.90	42.62	119.35
6	95%	2.90	42.62	119.35
7	95%	2.90	42.62	119.35
8	95%	2.90	42.62	119.35
9	90%	2.74	40.38	113.06
10	90%	2.74	40.38	113.06
Promedio	93%	2.82	41.50	116.20

Interpretación:

Tras los disparos, la eficiencia de perforación y voladura es de 93 %, lo que indica un rendimiento generalmente alto en la perforación y voladura. La operación ha logrado un avance efectivo promedio de 2.82 metros por disparo, con un volumen promedio de 41.50 m³ y un tonelaje promedio de 116.20 toneladas. Ajustar los parámetros en esos disparos podría optimizar aún más el rendimiento, lo que reduciría los tiempos de limpieza y aumentaría la productividad. En general, los resultados indican que se ha logrado un buen equilibrio entre eficiencia y producción, pero aún existe espacio para ajustar y mejorar el proceso en futuras voladuras.

c) Fragmentación del disparo en la Rampa SP5

En la Rampa SP5, el proceso de fragmentación está influenciado por varios factores, como la cantidad y tipo de explosivo, la densidad de la roca, el perfil de los taladros y el diseño de la malla de voladura. Un control adecuado de estos factores es esencial para maximizar la productividad de la operación minera, asegurando que la fragmentación sea eficiente y rentable. En este contexto, se evaluará la fragmentación de los disparos en la Rampa SP5 y su impacto en el rendimiento global de la mina.

Fragmentación del disparo de la Rampa SP5 - Unidad Minera San Cristóbal

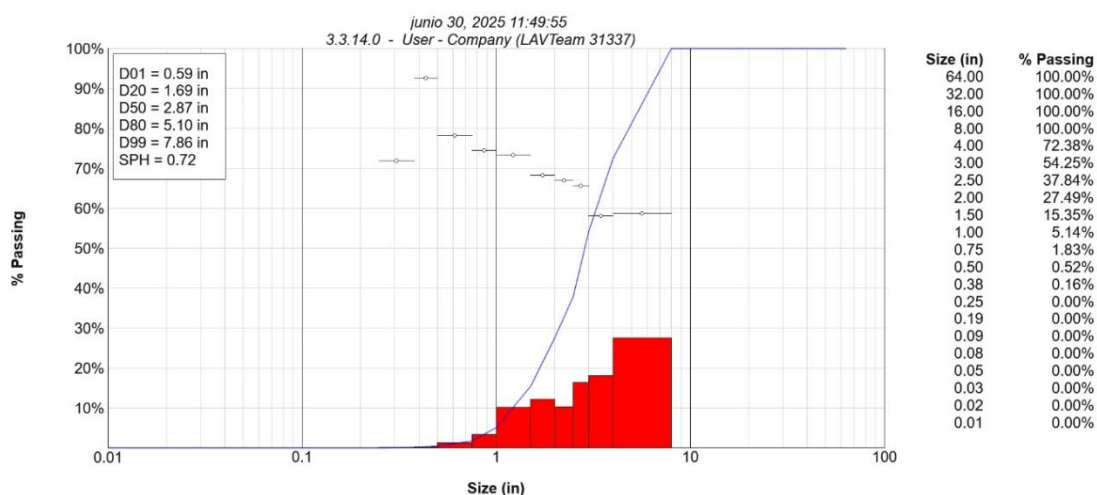


Figura 10. Fragmentación del disparo en la Rampa SP5 - Unidad Minera San Cristóbal

Interpretación:

La fragmentación del disparo en la Rampa SP5, con un P80 de 5.10 pulgadas, describe el tamaño de los fragmentos resultantes de la voladura. El valor P80 indica que el 80 % del material fragmentado tiene un tamaño igual o menor a 5.10 pulgadas, lo que equivale a aproximadamente 12.95 cm. Este tamaño es clave para las operaciones mineras de transporte.

En términos de eficiencia, un valor de P80 de 5.10 pulgadas es adecuado para el transporte del material, ya que los fragmentos no son demasiado grandes, lo que facilita su carga y manejo, pero tampoco son excesivamente pequeños. La fragmentación con un P80 adecuado también permite optimizar los costos operativos, ya que reduce la necesidad de procesamiento adicional.

d) Limpieza Scooptram 5yd³ de la Rampa SP5

La granulometría de 5.10 pulgadas, fragmentos de roca de aproximadamente 12.95 cm de diámetro son considerados de tamaño moderado para las operaciones de Scooptram. Este tamaño es lo suficientemente pequeño para que el Scooptram pueda cargarlos eficientemente, pero no tan grande como para dificultar la carga.

- ✓ Carga eficiente: fragmentos de aproximadamente 12.95 cm de tamaño pueden ser manejados fácilmente por el Scooptram 5yd³, lo que le permite cargar su capacidad total de 3.655 m³ por ciclo.
- ✓ Facilidad de manipulación: los fragmentos de tamaño moderado no causan atascos ni bloqueos en el cubo del Scooptram, lo que permite un proceso de limpieza más rápido y fluido.

- **Ciclos de limpieza con granulometría óptima**

En la limpieza con Scooptram con granulometría de 5.10 pulgadas producto de los disparos, se obtiene lo siguiente:

- Material a remover: 41.50 m³ de material fracturado en el frente en promedio.
- Capacidad del Scooptram 5yd3: 3.655 m³ por ciclo.

- **Cálculo de los ciclos de limpieza con granulometría óptima**

Teorema de cálculo:

$$\text{Ciclo de limpieza } G.O = \frac{\text{Material a remover (m3)}}{\text{Capacidad del Scooptram } (\frac{m3}{\text{ciclo}})}$$

Reemplazando

$$\text{Ciclo de limpieza } G.O = \frac{41.50 \text{ m3}}{3.655 (\frac{m3}{\text{ciclo}})}$$

$$\text{Ciclo de limpieza } G.O = 11.354 \text{ ciclos}$$

La granulometría de 5.10 pulgadas, que corresponde a fragmentos de roca de aproximadamente 12.95 cm, es crucial para la eficiencia de la limpieza con el Scooptram 5yd³. Fragmentos de tamaño moderado permiten que el Scooptram cargue y remueva el material de manera eficiente, reduciendo los ciclos de limpieza y los costos operativos. En cambio, una granulometría dispareja, con fragmentos grandes y pequeños, disminuye la eficiencia de la limpieza, incrementando los ciclos y, por lo tanto, los costos. En resumen, una fragmentación adecuada es clave para maximizar la productividad y minimizar los costos en las operaciones mineras.

4.2.3 Análisis del ciclo de operaciones de la Rampa 667

a) Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la Rampa 667

Los parámetros de perforación y voladura son fundamentales para el éxito de las operaciones mineras, ya que influyen directamente en la eficiencia, seguridad y costos operativos. La correcta planificación de estos parámetros es esencial para obtener una fragmentación adecuada del material, lo cual facilita su carga y transporte posterior. En este contexto, los parámetros de perforación y voladura de la Rampa 616 y la Rampa SP5 proporcionan una base sólida para optimizar los procesos en la Rampa 667.

La Rampa 616 y la Rampa SP5 presentan diferentes características operativas, pero ambos comparten un enfoque similar en cuanto a la malla de perforación, el tipo de explosivos utilizados y el avance esperado durante las operaciones. Estos parámetros se han optimizado en función de la geología local, la granulometría de la roca y las capacidades de los equipos de perforación y carga. La información obtenida de estos proyectos puede servir como una valiosa referencia para mejorar los parámetros de perforación y voladura de la Rampa 667, permitiendo una adaptación a las condiciones específicas de esta nueva sección de la mina.

En este análisis comparativo entre los parámetros de perforación y voladura de las Rampa 616 y SP5, y cómo estos pueden aplicarse para mejorar la eficiencia de perforación y voladura en la Rampa 667. Al hacerlo, se pretende maximizar la productividad, reducir los costos operativos y mejorar la seguridad en la operación minera, basándose en los aprendizajes previos obtenidos de los otros dos proyectos.

b) Perforación y voladura de la Rampa 667

Los parámetros de perforación y voladura de las Rampa 616 y SP5 proporcionan una base sólida para mejorar la Rampa 667, adaptándolos a sus condiciones específicas.

Aunque las dos rampas tienen condiciones operativas distintas, comparten enfoques similares en cuanto a malla de perforación, explosivos y avance. Estos parámetros se optimizan según la geología local, la granulometría de la roca y las capacidades de los equipos. La información de estos proyectos previos es crucial para maximizar la productividad y controlar los costos en la Rampa 667.

El análisis comparativo permite aplicar las lecciones aprendidas para mejorar la malla de perforación y voladura en la Rampa 667, maximizando la eficiencia, reduciendo costos y optimizando la seguridad en esta nueva fase operativa.

Diseño de Malla 4.0 m. x 4.0 m.
Tipo de roca IIIB - IIIA (RMR 41- 50)

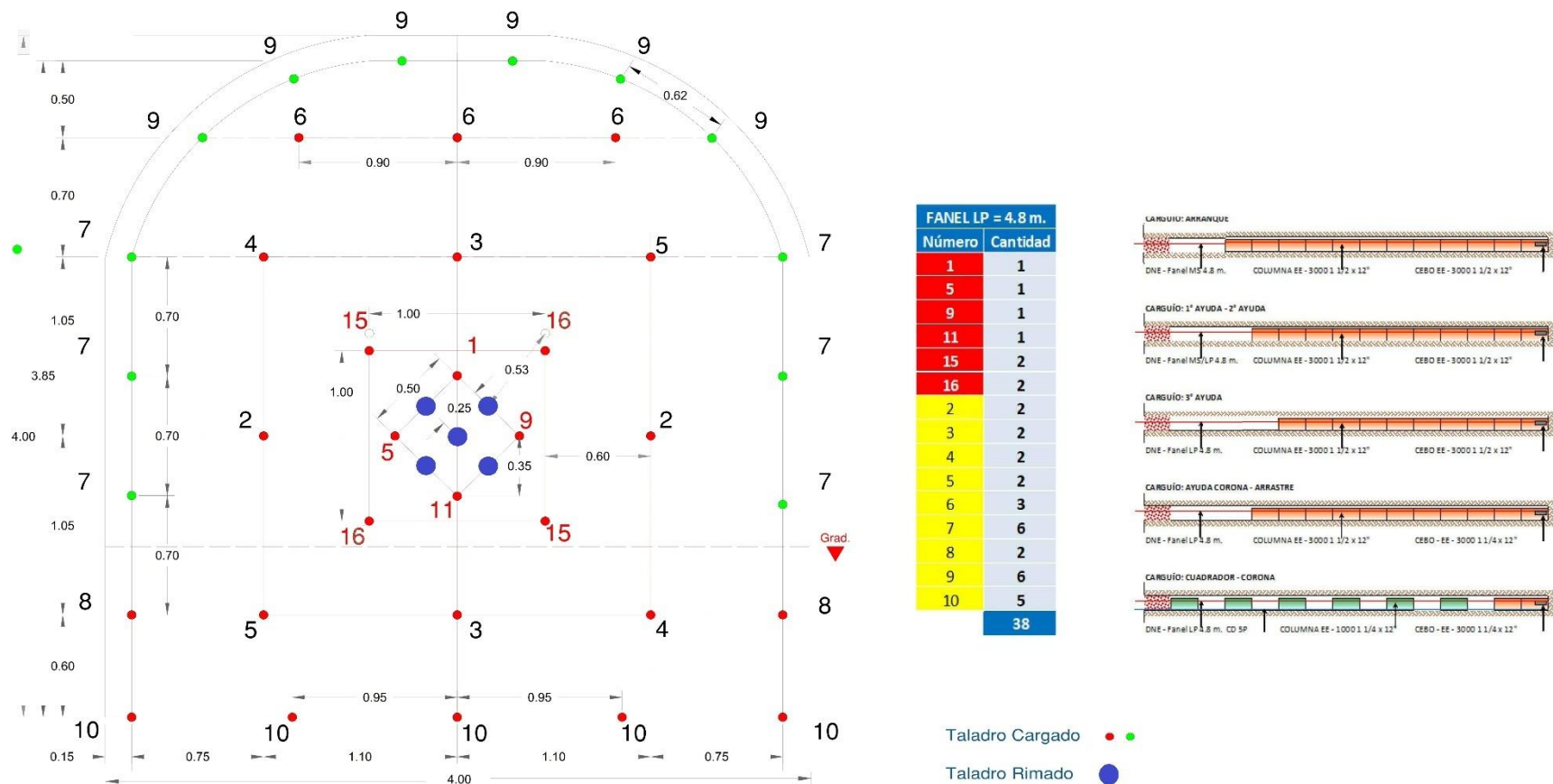


Figura 11. Diseño de la malla de perforación y voladura de la Rampa 667
Tomada del Informe de perforación y voladura de labores de preparación y desarrollo, Unidad Minera San Cristóbal (13)

		14 ft		
TIPO	CANT.	EE - 3000 1 1/2x12"	EE - 3000 1 1/4x12"	EE - 1000 1 1/4x12"
Arranque	4	12		
1° Ayuda	4	11		
2° Ayuda	4	11		
3° Ayuda	4	10		
Ayda corona	3		11	
Cuadrador	8		2	6
Corona	6		2	6
Arrastre	5		11	
TOTAL	38	176	116	84

RESULTADOS	UND	14 ft
Avance	m.	3.80
Eficiencia de avance	%	97%
Densidad	tn/m ³	2.70
Volumen roto	m ³	55.9
Tonelaje roto	tn	151.0
Factor de avance	kg/m	32.11
Factor de carga	kg/m ³	2.18
Factor de potencia	kg/tn	0.81
Factor de energía	MJ/m ³	8.7

PERFORACIÓN	UND	14 ft
Longitud perforación	m.	3.90
Taladros cargados	und.	38
Taladros rimados	und.	5
Taladros alivio	und.	-
Diámetro broca	mm.	45
Diámetro rimadora	mm.	102

VOLADURA	UND	14 ft
Emulnor 3000 1 1/2x12"	cart.	176
Emulnor 3000 1 1/4x12"	cart.	116
Emulnor 1000 1 1/4x12"	cart.	84
Total explosivo	kg.	122
Cordón detonante 5P	m.	65
Mecha rápida	m.	0.2
Fanel LP	pzs.	38
Carmex 7'	pzs.	2

Figura 12. Parámetros de perforación y voladura de la Rampa 667
Tomada del Informe de perforación y voladura de labores de preparación y desarrollo, Unidad
Minera San Cristóbal (13)

Interpretación:

El gráfico presenta los parámetros de perforación y voladura en la Rampa 667, cuyo objetivo es optimizar la eficiencia y garantizar la seguridad durante las operaciones. En cuanto a los parámetros técnicos, la sección de perforación tiene unas dimensiones de 4.0 m x 4.0 m, adaptadas a las condiciones del terreno. El tipo de roca es desmonte (tipo III), con un volumen de material de 55.9 m³, lo que permite calcular de manera precisa la cantidad de explosivos necesarios y estimar el rendimiento del proceso de voladura.

El avance por disparo es de 3.80 m, lo que indica que, en cada ciclo de perforación, se avanza una distancia de 3.80 metros en la roca. En cada disparo se utilizan 122 kg de explosivos, lo que asegura que la cantidad de explosivos sea suficiente para fracturar el material de manera controlada y eficiente. Además, el factor de avance es de 32.11 kg/ml y el factor de carga es de 2.18 kg/m³ asegura que la relación entre el volumen de material a excavar y la cantidad de

explosivo utilizado sea adecuada, lo que contribuye a obtener una fragmentación eficiente sin utilizar explosivos en exceso.

Se perforaron un total de 43 taladros, de los cuales 38 fueron cargados con explosivos. Este enfoque permite un control preciso sobre la profundidad y la distribución de los explosivos, lo que garantiza una fracturación eficiente y controlada de la roca, minimizando los riesgos asociados a voladuras ineficaces.

c) Desarrollo de los últimos 10 disparos realizados de la Rampa 667

La Rampa 616 y la Rampa SP5 presentan un rendimiento similar con una eficiencia de 90%, logrando una fragmentación eficiente del material. Sin embargo, la Rampa 616 tiene un avance efectivo ligeramente mayor, lo que sugiere que la Rampa SP5 podría optimizar su perforación para mejorar la perforación de la roca. Además, la Rampa 616 muestra un mayor volumen y tonelaje por disparo, lo que indica una mejor extracción de material estéril y podría reducir los tiempos de limpieza.

Para mejorar la Rampa 667, se recomienda analizar los parámetros de la Rampa 616, ya que su mayor volumen y tonelaje sugieren una fragmentación más eficiente. Ajustar el avance de perforación y distribución de explosivos en la Rampa 667 optimizaría el rendimiento, reduciendo tiempos de limpieza y aumentando la productividad y seguridad operativa.

En la siguiente tabla se muestra el desarrollo de los últimos 10 disparos realizados de la Rampa 667

Tabla 10. Desarrollo de los últimos 10 disparos realizados de la Rampa 667

Labor	Rampa 667	Longitud de barra	14.00
Seccion	4.0 x 4.0 m	Densidad (kg/m3)	2.8

Cantidad de disparos	Eficiencia de perforacion y voladura (%)	Avance efectivo (m)	Volumnen (m3)	Tonelaje (ton)
1	95%	3.76	55.41	155.15
2	87%	3.45	50.74	142.08
3	93%	3.67	53.95	151.07
4	95%	3.76	55.41	155.15
5	97%	3.84	56.58	158.41
6	95%	3.76	55.41	155.15
7	97%	3.84	56.58	158.41
8	95%	3.76	55.41	155.15
9	97%	3.84	56.58	158.41
10	97%	3.84	56.58	158.41
Promedio	95%	3.8	55.26	154.74

Interpretación:

La eficiencia de perforación y voladura: Con un promedio del 95%, la eficiencia es alta, lo que indica que la operación ha sido generalmente efectiva en la fracturación de la roca y el uso adecuado de los explosivos. La alta eficiencia ayuda a garantizar que la roca se fractura de manera adecuada sin generar excesos de fragmentación.

El avance efectivo: el promedio de avance efectivo es de 3.8 metros por disparo. Este valor refleja una perforación constante y eficiente en cada ciclo de perforación, lo que sugiere que el proceso de perforación está optimizado para obtener un buen progreso en la excavación del material.

El volumen: el volumen promedio extraído por disparo es de 55.26 m³, lo que refleja una extracción estable y consistente de material en cada ciclo. Este volumen está alineado con las capacidades de los equipos de perforación y voladura, permitiendo un flujo constante de material para las etapas posteriores de la operación minera.

El tonelaje: el tonelaje promedio es de 154.74 toneladas por disparo. Este valor es consistente con el volumen de material extraído y demuestra un buen aprovechamiento del material removido, lo que contribuye a mantener un flujo constante de material en el proceso de extracción de material estéril.

Los promedios muestran que la Rampa 667 está operando de manera eficiente, con un equilibrio adecuado entre la eficiencia de perforación y voladura, el avance efectivo, el volumen extraído y el tonelaje, lo que garantiza una operación minera productiva y bien gestionada.

d) Fragmentación del disparo de la Rampa 667

La fragmentación de los disparos es un aspecto crucial. La Rampa 616 y la Rampa SP5 utilizan parámetros de fragmentación que buscan optimizar la carga y manejo del material extraído, pero con diferentes tamaños de fragmentos.

En la Rampa 616, el tamaño de los fragmentos, determinado por un valor P80, está diseñado para asegurar que el material sea lo suficientemente pequeño como para facilitar su carga y transporte, sin generar fragmentos tan finos que puedan resultar en pérdidas o ineficiencias. En cambio, en la Rampa SP5, el tamaño de los fragmentos es un poco mayor, lo que asegura que los fragmentos sean lo suficientemente manejables para el transporte, sin ser tan grandes como para dificultar la carga.

El análisis comparativo de estas fragmentaciones revela que la Rampa 667 podría beneficiarse de ajustar sus parámetros de fragmentación para optimizar la eficiencia operativa. Al lograr una fragmentación adecuada, se pueden reducir los costos operativos y mejorar la productividad, especialmente en las etapas de transporte y carga, garantizando un proceso más fluido y eficiente.

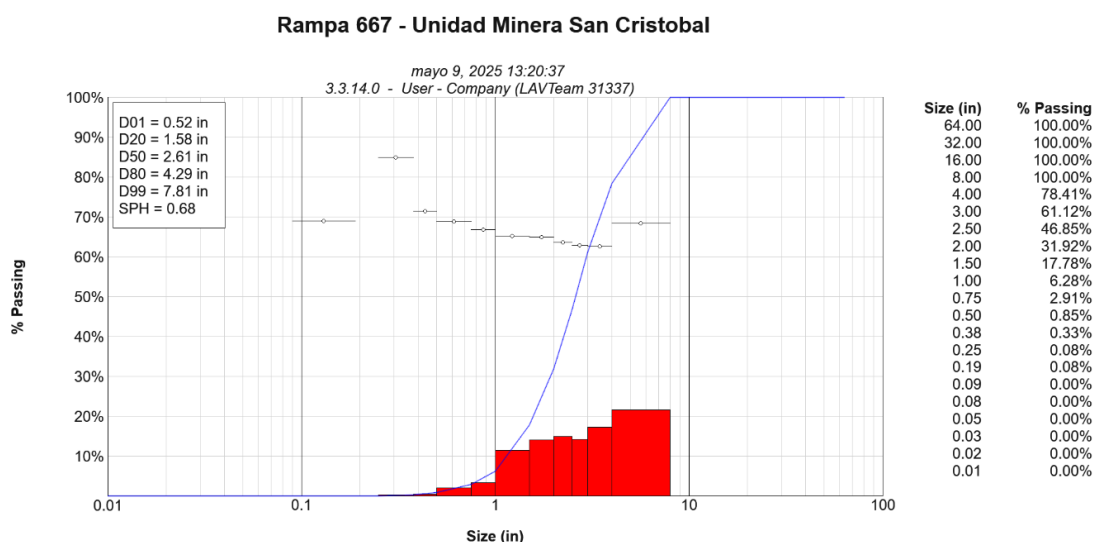


Figura 13. Fragmentación del disparo de la Rampa 667

Interpretación:

La fragmentación del disparo en la Rampa 667 con un P80 de 4.29 pulgadas define el tamaño de los fragmentos generados por la voladura. El valor P80 indica que el 80% del material fragmentado tiene un tamaño igual o inferior a 4.29 pulgadas (aproximadamente 10,85 cm). Este tamaño resulta fundamental para las operaciones de transporte, ya que permite un manejo eficiente del material, evitando tanto fragmentos excesivamente grandes que dificulten la carga, como fragmentos demasiado pequeños que podrían generar pérdidas o ineficiencias.

Desde la perspectiva de eficiencia, un P80 de 4.29 pulgadas es óptimo para facilitar el transporte del material. Los fragmentos son lo suficientemente pequeños para facilitar su manipulación, pero no tan finos como para requerir procesamiento adicional. Además, una fragmentación adecuada no solo mejora el proceso de carga y transporte, sino que también optimiza los costos operativos, reduciendo la necesidad de pasos adicionales en el procesamiento del material.

e) Limpieza con el Scooptram 5yd³ de la Rampa 667

La granulometría de 4.29 pulgadas, fragmentos de roca de aproximadamente 10,85 cm de diámetro son considerados de tamaño moderado para las operaciones de Scooptram. Este

tamaño es lo suficientemente pequeño para que el Scooptram pueda cargarlos eficientemente, pero no tan grande como para dificultar la carga.

- ✓ Carga eficiente: fragmentos de aproximadamente 10,85 cm de tamaño pueden ser manejados fácilmente por el Scooptram 5yd3, lo que le permite cargar su capacidad total de 3.823 m³ por ciclo.
- ✓ Facilidad de manipulación: los fragmentos de tamaño moderado no causan atascos ni bloqueos en el cubo del Scooptram, lo que permite un proceso de limpieza más rápido y fluido.

- **Ciclos de limpieza con granulometría óptima**

La limpieza con Scooptram con granulometría de 4.29 pulgadas producto de los disparos se obtiene lo siguiente:

- Material a remover: 55.9 m³ de material fracturado en el frente en promedio.
- Capacidad del Scooptram 5yd3: 3.823 m³ por ciclo.

- **Cálculo de los ciclos de limpieza con granulometría óptima**

Teorema de cálculo:

$$\text{Ciclo de limpieza } G.O = \frac{\text{Material a remover (m}^3\text{)}}{\text{Capacidad del Scooptram } (\frac{\text{m}^3}{\text{ciclo}})}$$

Reemplazando

$$\text{Ciclo de limpieza } G.O = \frac{55.90 \text{ m}^3}{3.823 (\frac{\text{m}^3}{\text{ciclo}})}$$

$$\text{Ciclo de limpieza } G.O = 14.66 \text{ ciclos}$$

La granulometría de 4.29 pulgadas, con fragmentos de aproximadamente 10,85 cm, es ideal para las operaciones con el Scooptram 5yd³, ya que facilita la carga eficiente del material sin causar bloqueos o atascos en el cubo. Con esta granulometría, el Scooptram puede manejar su capacidad total de 3.823 m³ por ciclo, lo que optimiza los tiempos de limpieza. El cálculo muestra que, para remover los 55.9 m³ de material fracturado, se requieren 14.66 ciclos. Este proceso eficiente de limpieza puede mejorarse manteniendo la granulometría adecuada, lo que reduce el número de ciclos y, por ende, los costos operativos y tiempos de trabajo, maximizando la productividad general de la operación.

4.3 Desarrollo de la herramienta de gestión *benchmarking* interno para aumentar la factibilidad económica en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal

4.3.1 Indicadores clave de desempeño (KPIs) de la perforación y voladura de la Rampa 616, Unidad Minera San Cristóbal

Los indicadores clave de desempeño (KPIs) son fundamentales para evaluar la eficiencia y productividad de las operaciones mineras, particularmente en las actividades de perforación y voladura de la Rampa 616, en la Unidad Minera San Cristóbal. Estos KPIs permiten supervisar y gestionar los procesos que afectan directamente la calidad del material extraído, la optimización de los costos operativos y la seguridad. La correcta ejecución de la perforación y voladura es vital para mejorar la fragmentación del material, facilitando su carga y transporte, lo que contribuye a reducir costos y aumentar la productividad. El análisis de los KPIs en perforación y voladura asegura la eficiencia operativa al ajustar parámetros técnicos como el volumen de material, la cantidad de explosivos y el avance por disparo, optimizando así el rendimiento y la seguridad en las operaciones mineras. A continuación, se presentan los parámetros actuales de perforación y voladura de la Rampa 616, Unidad Minera San Cristóbal.

Tabla 11. Parámetros actuales de perforación y voladura de la Rampa 616, Unidad Minera San Cristóbal

Parámetros de perforación		
Tipo de roca:	III	
Sección	4 x 4	m
Longitud de la Barra (pie)	12.00	pie
Número de taladros del frente	44.00	tal
Número de taladros cargados	40.00	tal
Eficiencia de perforación	95%	%
Longitud de avance de perforación	3.35	mts

Parámetros de voladura		
Eficiencia de disparo	91%	%
Longitud de Carga	3.2	m
Avance efectivo	3.1	m
Volumen disparado	45.65	m ³
Consumo de kilogramos por taladro	2.82	kg/tal
Factor de carga por metro lineal:	36.4	Kg/m
kg explosivo	112.8	Kg

Tomada de Estructura de costos de perforación y voladura de la Rampa 616, Unidad Minera San Cristóbal (14)

En el anexo 2 se detalla la estructura de costos de perforación y voladura de la Rampa 616, correspondiente a la Unidad Minera San Cristóbal. A continuación, se presenta un resumen de los costos totales de perforación y voladura de la Rampa 616.

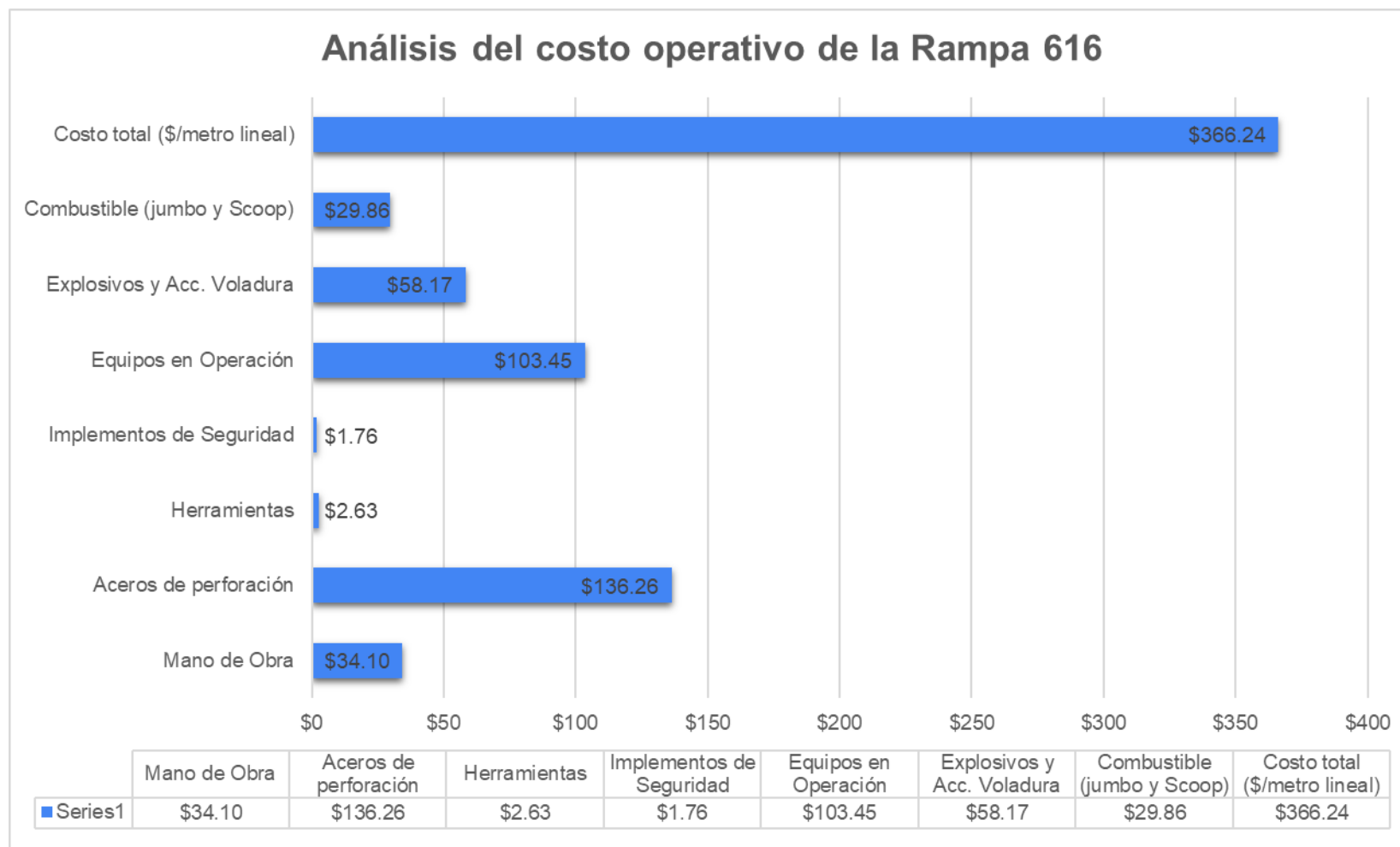


Figura 14. Análisis de los costos de perforación y voladura de la Rampa 616
Tomada de Estructura de costos de perforación y voladura de la Rampa 616, Unidad Minera San Cristóbal (14)

Interpretación

La estructura de costos detallada en la imagen muestra el desglose de los gastos asociados a la perforación y voladura de la Rampa 616 en la Unidad Minera San Cristóbal. Los elementos clave de los costos son los siguientes:

- La mano de obra: el costo asociado a la mano de obra es 34.10 \$/ml, que cubre el trabajo de los operarios involucrados en el proceso.
- Los aceros de perforación: el costo es de 138.28 \$/ml, que corresponde a los materiales y componentes necesarios para perforar la roca.
- Las herramientas: el costo es de 2.63 \$/ml corresponden al costo de las herramientas utilizadas en el proceso de perforación y voladura.
- Los implementos de seguridad: el costo es de 1.76 \$/ml para garantizar la seguridad de los operarios durante las actividades de perforación y voladura.
- Los equipos en operación: el costo es de 103.45 \$/ml cubren el costo de los equipos y maquinarias utilizados en el proceso, como los perforadores y otros equipos de apoyo.
- Los explosivos y accesorios de voladura: el costo es de 58.17 \$/ml para la compra y uso de los explosivos y los accesorios necesarios para realizar la voladura.
- **El combustible (Jumbo y Scoop):** el costo es de 29.86 \$/ml, lo que cubre el consumo de energía de los equipos de perforación (Jumbo) y de carga (Scoop).

Costo total (\$/metro lineal): el costo total por metro lineal de perforación y voladura es 366.24 \$/ml.

4.3.2 Indicadores clave de desempeño (KPIs) de la perforación y voladura de la Rampa SP5, Unidad Minera San Cristóbal

Los indicadores clave de desempeño (KPIs) son cruciales para evaluar la eficiencia y productividad de las operaciones mineras, especialmente en la perforación y voladura de la Rampa SP5 en la Unidad Minera San Cristóbal. Estos KPIs permiten monitorear procesos que afectan la calidad del material extraído, los costos operativos y la seguridad. Una ejecución adecuada de la perforación y voladura es esencial para mejorar la fragmentación del material, facilitando su carga y transporte, lo que reduce costos y mejora la productividad. El análisis de

estos KPIs permite ajustar parámetros técnicos como el volumen de material, los explosivos y el avance por disparo, asegurando una operación eficiente y segura. A continuación, se presentan los parámetros actuales de perforación y voladura de la Rampa SP5.

Tabla 12. Parámetros actuales de perforación y voladura de la Rampa SP5, Unidad Minera San Cristóbal

Parametros de perforacion		
Tipo de roca:	III	
Seccion	4 x 4	m
Longitud de la Barra (pie)	11.00	pie
Numero de taladros del frente	37.00	tal
Numero de taladros cargados	33.00	tal
Eficiencia de perforacion	95%	%
Longitud de avance de perforación	3.00	m

Parametros de voladura		
Eficiencia de disparo	91%	
Longitud de Carga	2.70	m
Avance efectivo	2.82	m
Volumen disparado	41.50	m3
Consumo de kilogramos por taladro	2.54	kg/ts
Factor de carga:	29.75	Kg/m
kg explosivo	83.90	Kg

Tomada de Estructura de costos de perforación y voladura de la Rampa 616, Unidad Minera San Cristóbal (14)

En el anexo 3 se detalla la estructura de costos de perforación y voladura de la Rampa SP5, correspondiente a la Unidad Minera San Cristóbal.

A continuación, se presenta un resumen de los costos totales de perforación y voladura de la Rampa SP5.

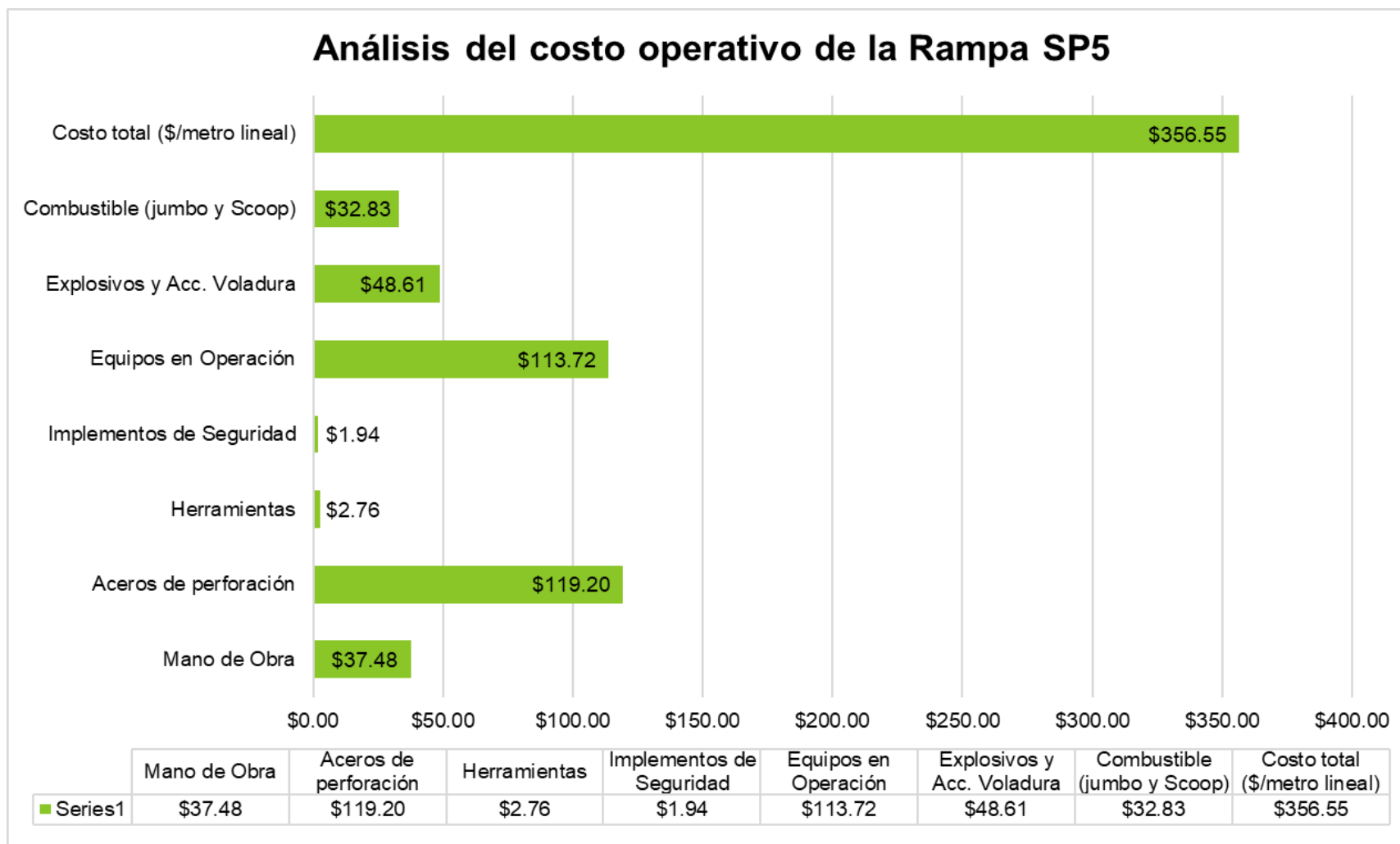


Figura 15. Análisis de los costos de perforación y voladura de la Rampa SP5
Tomada de Estructura de costos de perforación y voladura de la Rampa 616, Unidad Minera San Cristóbal (14)

Interpretación

La estructura de costos presentada muestra el desglose de los gastos asociados a la perforación y voladura de la Rampa SP5 en la Unidad Minera San Cristóbal. Los costos clave incluyen:

- La mano de obra: el costo es de 27.82 \$/ml, que cubre el trabajo de los operarios involucrados en la perforación y voladura.
- Los aceros de perforación: el costo es de 132.39 \$/ml para los materiales y componentes necesarios para realizar la perforación.
- Las herramientas: el costo es de 3.61 \$/ml corresponden a las herramientas utilizadas en las actividades de perforación y voladura.
- Los implementos de seguridad: el costo es de 1.44 \$/ml para garantizar la seguridad de los trabajadores durante la operación.
- Los equipos en operación: el costo es de 84.39 \$/ml cubren los costos de los equipos utilizados, como perforadoras y otra maquinaria necesaria.
- Los explosivos y accesorios de voladura: el costo es de 58.85 \$/ml, que incluye los materiales necesarios para la voladura.
- El combustible (Jumbo y Scoop): el costo es de 24.36 \$/ml cubre el consumo de combustible para los equipos de perforación y carga.

El costo total por metro lineal de perforación y voladura es de 332-86 \$/ml. Esta estructura proporciona una visión detallada de cómo se distribuyen los recursos y costos en el proceso de perforación y voladura, lo cual es esencial para optimizar la operación y mejorar la eficiencia general.

4.3.3 Indicadores clave de desempeño (KPIs) de la perforación y voladura de la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal

Gracias al análisis de los resultados obtenidos de la Rampa 616 y la Rampa SP5, se ha logrado mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos asociados a la perforación y voladura en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal. Los indicadores clave de desempeño

(KPIs) han permitido optimizar procesos en tiempo real, maximizando la productividad, reduciendo costos y mejorando la seguridad.

Las principales mejoras incluyen una reducción en el costo por metro lineal, al optimizar el uso de explosivos y mejorar la fragmentación del material. También se ha optimizado el avance por disparo, aumentando la eficiencia de la perforación y reduciendo tiempos. Además, se ha incrementado la eficiencia de perforación y voladura, mejorando la fragmentación del material y facilitando su carga y transporte.

En conclusión, los KPIs han sido fundamentales para realizar ajustes en la Rampa 667, lo que ha permitido reducir costos y mejorar la productividad, asegurando una operación minera más eficiente y rentable.

En la siguiente tabla se muestra los parámetros actuales de perforación y voladura de la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.

Tabla 13. Parámetros actuales de perforación y voladura de la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal

Parametros de perforacion		
Tipo de roca:	III	
Seccion	4 x 4	m
Longitud de la Barra (pie)	14	pie
Numero de taladros del frente	43	tal
Numero de taladros cargados	38	tal
Eficiencia de perforacion	95%	%
Longitud de avance de perforación	4.05	m

Parametros de voladura		
Eficiencia de disparo	97%	
Longitud de Carga	3.6	m
Avance efectivo	3.8	m
Volumen disparado	55.9	m ³
Consumo de kilogramos por taladro	3.21	kg/ts
Factor de carga:	32.11	Kg/m
kg explosivo	122	Kg

Tomada de Estructura de costos de perforación y voladura de la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal (14)

En el anexo 4 se detalla la estructura de costos de perforación y voladura de la Rampa 667, correspondiente a la Unidad Minera San Cristóbal.

A continuación, se presenta un resumen de los costos totales de perforación y voladura de la Rampa 667.



Figura 16. Análisis de los costos de perforación y voladura de la Rampa 667
Tomada de Estructura de costos de perforación y voladura de la Rampa 616, Unidad Minera San Cristóbal (14)

Interpretación

La estructura de costos mostrada en la imagen desglosa los gastos asociados a la perforación y voladura de la Rampa 667 en la Unidad Minera San Cristóbal. Los costos clave son los siguientes:

- La mano de obra: el costo es de 27.82 \$/ml asignados al pago de los operarios involucrados en el proceso de perforación y voladura.
- Los aceros de perforación: el costo es de 132.39 \$/ml en materiales y componentes necesarios para realizar la perforación.
- Las herramientas: el costo es de 3.61 \$/ml destinados a las herramientas utilizadas en el proceso.
- Los implementos de seguridad: el costo es de 1.44 \$/ml para garantizar la seguridad de los trabajadores durante las operaciones.
- Los equipos en operación: el costo es de 84.39 \$/ml para el mantenimiento y uso de los equipos de perforación y otros equipos operativos.
- Los explosivos y accesorios de voladura: el costo es de 58.85 \$/ml para la compra y uso de explosivos y los accesorios asociados a la voladura.
- El combustible (Jumbo y Scoop): el costo es de 24.36 \$/ml cubriendo el consumo de combustible de los equipos de perforación y carga.

El costo total por metro lineal de perforación y voladura es de 332.86 \$/ml. Este desglose permite entender cómo se distribuyen los recursos en el proceso de perforación y voladura, ayudando a optimizar la operación y reducir los costos.

4.3.4 Resumen del *benchmarking* interno para reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal

El *benchmarking* interno realizado en la Unidad Minera San Cristóbal se centra en la comparación y análisis de los procesos de perforación y voladura de tres proyectos clave: la Rampa 616, la Rampa SP5 y la Rampa 667. Este análisis tiene como objetivo identificar áreas de mejora para optimizar los costos y aumentar la eficiencia operativa, especialmente en lo que respecta al avance por disparo y los costos asociados. A través de este proceso de comparación,

se busca implementar las mejores prácticas y ajustes operativos que permitan reducir los costos de avance en la Rampa 667, mejorando la productividad, reduciendo el consumo de recursos y maximizando el rendimiento de los equipos. El estudio revela oportunidades clave para aplicar cambios en los parámetros operativos y en la gestión de recursos, lo que contribuirá significativamente a la sostenibilidad y rentabilidad de las operaciones mineras en la unidad.

Tabla 14. Resumen del benchmarking interno para reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal

Benchmarking interno					
Procesos clave mina	Descripción	Rampa 616	Rampa SP5	Rampa 667	Relación de mejora
Estudio geomecánico	Caracterización geomecánica del macizo rocoso	RMR - 43 y 50	RMR - 46 y 48	RMR - 42 y 48	El mapeo geomecánico realizado en la Rampa 616 y SP5 indica que ambos presentan el mismo tipo de roca, clasificada como III A y III B. Este factor es crucial ya que la Rampa 667 cuenta con el mismo tipo de roca
	Perforación	Sección 4.0 m x 4.0 barra 12 pies Avance por disparo de 3.10 metros	Sección 4.0 m x 4.0 barra 11 pies Avance por disparo de 2.82 metros	Sección 4.0 m x 4.0 barra 14 pies Avance por disparo de 3.80 metros	La Rampa 667 tiene el mayor avance por disparo (3.10 metros), lo que se traduce en una mayor productividad en comparación con la Rampa SP5 (2.82 metros). Mejorar el avance por disparo en la Rampa SP5 podría incrementar la eficiencia y reducir los costos operativos al aprovechar mejor cada ciclo de perforación.
Ciclo de operaciones	Voladura	Consumo de explosivos es 112.8 kg El factor de avance es de 36.39 Kg/ml y El factor de carga es de 2.39 Kg/m ³ Por disparo, el volumen roto es de 45.65 m ³ y un tonelaje promedio de 127.82 toneladas.	Consumo de explosivos es 83.90 kg El factor de avance es de 29.75 kg/ml y El factor de carga es de 1.96 kg/m ³ Por disparo, el volumen roto es de 41.50 m ³ y un tonelaje promedio de 116.20 toneladas.	Consumo de explosivos es 122 kg El factor de avance es de 32.11 kg/ml y El factor de carga es de 2.18 kg/m ³ Por disparo, el volumen roto es de 55.26 m ³ y un tonelaje promedio de 154.74 toneladas.	En la Rampa 667 se tiene una longitud de taladro mayor que en la Rampa 616 y la Rampa SP5 En comparación con la Rampa 616 y la Rampa SP5, la Rampa 667: Cuenta con un factor de avance de 32.11 kg/ml, el cual es más eficiente porque se tiene más avance En la Rampa 616 y SP5, se ha visto que se utilizaron barras de diferentes longitudes esto ayudo a que en la Rampa 667 se empleara una barra de 14 pies, gracias a ellos en los disparos se obtuvo más volumen roto al igual que el tonelaje

		El valor P80 es de 3.98 pulgadas (10.10 cm).	El valor P80 es de 5.10 pulgadas (12.95 cm).	El valor P80 es de 4.29 pulgadas (10,85 cm).	En la Rampa 616, la granulometría es muy fina y dificulta el carguío y acarreo, pero en la Rampa SP5 se tuvo una granulometría manejable, en la Rampa 667 se tiene como estándar una granulometría de 4 a 5 pulgadas
	Limpieza	Ciclo de limpieza G.O es de 12.96 ciclos	Ciclo de limpieza G.O es de 11.354 ciclos	Ciclo de limpieza G.O es de 14.66 ciclos	En la Rampa 667 se ha incrementado el número de ciclos de limpieza, resultará en una mejora significativa en la productividad
Indicadores clave de desempeño (KPIs)	Costo por metro lineal de la mano de obra (\$/metro lineal)	34.10 \$/ml	37.48 \$/ml	27.82 \$/ml	Rampa 667: 0 Rampa 616: +3.38 \$/ml; Rampa SP5: -6.28 \$/ml
	Costo por metro lineal de los aceros de perforación (\$/metro lineal)	136.26 \$/ml	119.20 \$/ml	132.39 \$/ml	Rampa 667: 0 Rampa 616: -17.06 \$/ml; Rampa SP5: -3.87 \$/ml
	Costo por metro lineal del costo herramientas (\$/metro lineal)	2.63 \$/ml	2.76 \$/ml	3.61 \$/ml	Rampa 667: 0 Rampa 616: +0.13 \$/ml; Rampa SP5: +0.98 \$/ml
	Costo por metro lineal de los implementos de seguridad (\$/metro lineal)	1.76 \$/ml	1.94 \$/ml	1.44 \$/ml	Rampa 667: 0 Rampa 616: +0.18 \$/ml; Rampa SP5: -0.32 \$/ml

Costo por metro lineal de los equipos en operación (\$/metro lineal)	103.45 \$/ml	113.72 \$/ml	84.39 \$/ml	Rampa 667: 0 Rampa 616: +10.27 \$/ml; Rampa SP5: -19.06 \$/ml
Costo por metro lineal de los explosivos y accesorios voladura (\$/metro lineal)	58.17 \$/ml	48.61 \$/ml	58.85 \$/ml	Rampa 667: 0 Rampa 616: -9.56 \$/ml; Rampa SP5: +0.68 \$/ml
Costo por metro lineal del combustible (Jumbo y Scoop): (\$/metro lineal)	29.86 \$/ml	32.83 \$/ml	24.36 \$/ml	Rampa 667: 0 Rampa 616: +2.97 \$/ml; Rampa SP5: -5.50 \$/ml
Costo total (\$/metro lineal)	366.24 \$/ml	356.55 \$/ml	332.86 \$/ml.	Rampa 667: 0 Rampa 616: -9.69 \$/ml; Rampa SP5: -33.38 \$/ml

Tomada de Estructura de costos de perforación y voladura de la Rampa 616, Unidad Minera San Cristóbal (14)

Interpretación

El mapeo geomecánico de los proyectos Rampa 616 y SP5 revela que ambos contienen rocas de tipo III A y III B, lo mismo que la Rampa 667. Este conocimiento geomecánico mejora la planificación de perforación y voladura, optimizando recursos y rendimiento en la Rampa 667.

La Rampa 667 tiene el mejor rendimiento en avance por disparo con 3.80 metros, lo que refleja mayor productividad en comparación con la Rampa 616 y SP5. Para mejorar el avance en estos últimos, se recomienda ajustar parámetros como la carga explosiva y la longitud de perforación.

La Rampa 667 utiliza una barra de 14 pies, lo que permite perforar más material por ciclo y aumentar el tonelaje extraído en menos tiempo, mejorando así la eficiencia en comparación con la Rampa 616 y la Rampa SP5.

La Rampa 616 tiene una granulometría fina que dificulta el proceso de carga y acarreo, aumentando los costos operativos. En cambio, la Rampa SP5 y la Rampa 667 cuentan con una granulometría más manejable entre 4-5 pulgadas, lo que facilita el transporte y reduce los costos operativos.

La Rampa 667 ha incrementado el número de ciclos de limpieza, lo que contribuye a una mejora significativa en la productividad de la operación.

La Rampa 667 es la operación más rentable, con un costo por metro lineal de 332.86 \$/ml, significativamente más bajo que la Rampa 616 con un costo por metro lineal de 366.24 \$/ml y la Rampa SP5 con un costo por metro lineal de 356.55 \$/ml. Este costo reducido refleja una operación más eficiente y optimizada en cuanto a perforación, voladura, y uso de explosivos y equipos.

La optimización del costo en la Rampa 667 en relación la Rampa 616 es de 33.37 \$/ml y la optimización del costo en la Rampa 667 en la Rampa SP5 es de 23.69 \$/ml. El consumo de explosivos y la eficiencia operativa podrían ser optimizados, siguiendo el modelo de la Rampa 667, para reducir el costo total por metro lineal.

4.4 Prueba de hipótesis

4.4.1. Prueba de hipótesis general

En el presente estudio, se plantearon dos hipótesis principales: la hipótesis nula y la hipótesis alternativa, las cuales se detallan a continuación:

a) Hipótesis nula

- H_0 : El uso de la herramienta de gestión *benchmarking* interno no será factible y viable para reducir el costo de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.

b) Hipótesis alternativa

- H_a : El uso de la herramienta de gestión *benchmarking* interno será factible y viable para reducir el costo de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.

4.4.2. Análisis de datos

La hipótesis planteada en esta investigación establece que existe una relación significativa que respalda el uso de la herramienta de gestión *benchmarking* interno para reducir el costo de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal se obtuvieron 30 disparos realizados en cada labor de preparación para después comparar y analizar mejoras.

• Criterios de decisión:

- Si $P \leq 0.05$, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a
- Si $P > 0.05$, aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a .

A continuación, se presenta la tabla con la comparación de los resultados obtenidos de los 30 disparos realizados

Tabla 15. Comparativa de los disparos de la Rampa 616, de la Rampa SP5 y la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.

Numero de disparos	Rampa 616 "barra de 12 pies"	Rampa SP5 "barra de 11 pies"	Rampa 667 "barra de 14 pies"
	Avance efectivo (m)		
Disp. 1	3.19	2.90	3.76
Disp. 2	3.02	2.74	3.45
Disp. 3	3.19	2.74	3.67
Disp. 4	3.19	2.74	3.76
Disp. 5	3.19	2.90	3.84
Disp. 6	3.02	2.90	3.76
Disp. 7	3.19	2.90	3.84
Disp. 8	3.02	2.90	3.76
Disp. 9	3.02	2.74	3.84
Disp. 10	3.02	2.74	3.84

a) Prueba de t para muestras relacionada

Tabla 16. Estadísticas de muestras relacionadas

Estadísticos de muestras relacionadas

		Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	BP.548	3,0200	10	,13880	,04389
	RP.667	3,7520	10	,11980	,03788
Par 2	BP.566	2,7410	10	,07310	,02312
	RP.667	3,7520	10	,11980	,03788

Correlaciones de muestras relacionadas

		N	Correlación	Sig.
Par 1	BP.548 y RP.667	10	-,284	,426
Par 2	BP.566 y RP.667	10	,163	,652

Prueba de muestras relacionadas

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	BP.548 - RP.667	-,73200	,20751	,06562	-,88045	-,58355	-11,155	9	,000
Par 2	BP.566 - RP.667	-1,01100	,12974	,04103	-1,10381	-,91819	-24,642	9	,000

Tomada de IBM SPSS Statistics for Windows, versión 25.0 (15)

Interpretación:

El análisis realizado arrojó un valor de P de 0.000, que del valor de 0.05, lo que permite aceptar la hipótesis alternativa (Ha) y rechazar la hipótesis nula (Ho). Esto confirma que el uso de la herramienta de gestión benchmarking interno será factible y viable para reducir el costo de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.

CONCLUSIONES

1. El mapeo geomecánico realizado en los proyectos Rampa 616 y Rampa-SP5 revela que ambos presentan el mismo tipo de roca, clasificada como III A y III B. Este factor es crucial para entender la naturaleza del material en la Rampa 667, ya que esta también cuenta con el mismo tipo de roca. Este conocimiento geomecánico permite una mejor planificación de la perforación y voladura, lo que facilita la optimización de los recursos y el rendimiento en la Rampa 667.
2. En términos de avance por disparo, la Rampa 667 presenta el mejor rendimiento con un avance de 3.80 metros, lo que refleja una mayor productividad en comparación con la Rampa 616 y SP5, cuyo avance es inferior. Para mejorar el avance en la Rampa 616 y SP5, se deben ajustar los parámetros como la carga explosiva o la longitud de perforación, esto podría incrementar significativamente la eficiencia de las operaciones y, en consecuencia, reducir los costos operativos, optimizando cada ciclo de perforación.
3. La Rampa 667 se distingue por contar con una longitud de taladro mayor que las Rampa 616 y SP5. Esto se traduce en un mayor volumen de material perforado por ciclo, lo que optimiza la cantidad de material que puede ser procesado en menos tiempo. La longitud de barra utilizada en la Rampa 667 es de 14 pies, lo que permitió obtener un mayor volumen roto y un tonelaje superior en comparación con los otros dos proyectos. Esto evidencia que, con la elección de una barra adecuada, se mejora el rendimiento y se optimiza la extracción.
4. En cuanto a la granulometría, la Rampa 616 presenta una granulometría muy fina que dificulta el proceso de carga y acarreo, lo que puede generar pérdidas operativas y aumentar los costos operativos. En contraste, la Rampa SP5 tiene una granulometría más manejable, el cual ha servido para poder implementar en la Rampa 667 y mantener un estándar de granulometría de entre 4 a 5 pulgadas, lo que facilita tanto el transporte como la carga del material roto, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo los costos asociados con la manipulación del material. En la Rampa 667 se ha incrementado el número de ciclos de limpieza, resultará en una mejora significativa en la productividad.
5. La Rampa 667 destaca como la operación más rentable entre los tres proyectos, con un costo por metro lineal significativamente más bajo con un costo total por metro lineal de 332.86 \$/ml en comparación con la Rampa 616 con un costo total por metro lineal de 366.24 \$/ml y la Rampa SP5 con un costo total por metro lineal de 356.55 \$/ml. Este costo reducido

refleja una operación más eficiente en cuanto a recursos utilizados, gracias a una mejor planificación de perforación y voladura, menor consumo de explosivos y un uso más eficiente de los equipos. Para mejorar la rentabilidad de las Rampas 616 y SP5, se recomienda reducir el consumo de explosivos, optimizar el uso de maquinaria y mejorar la fragmentación del material, tomando como modelo las prácticas eficientes implementadas en la Rampa 667. Implementar estos ajustes puede resultar en una significativa reducción de costos operativos y una mayor productividad en las operaciones mineras.

6. La optimización del costo en la Rampa 667 en relación a la Rampa 616 es de 33.37 \$/ml y la optimización del costo en la Rampa 667 en la Rampa SP5 es de 23.69 \$/ml. El consumo de explosivos y la eficiencia operativa podrían ser optimizados, siguiendo el modelo de la Rampa 667, para reducir el costo total por metro lineal.
7. El análisis llevado a cabo dio como resultado un valor de P de 0.000, el cual es inferior al valor de 0.05. Esto permite aceptar la hipótesis alternativa (H_a) y rechazar la hipótesis nula (H_o). En consecuencia, se confirma que la implementación de la herramienta de gestión *benchmarking* interno es factible y viable para reducir los costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar el conocimiento geomecánico sobre la clasificación de roca para mejorar la planificación y optimización de perforación y voladura en otras rampas y proyectos similares, aprovechando las características geológicas para maximizar los recursos y el rendimiento.
2. Se recomienda ajustar los parámetros de carga explosiva y longitud de perforación en las Rampas 616 y SP5 para mejorar el avance por disparo y aumentar la productividad, lo que permitirá reducir los costos operativos y optimizar los ciclos de perforación.
3. Se recomienda adoptar una longitud de taladro mayor en otros proyectos, similares a la Rampa 667, para aumentar el volumen de material perforado por ciclo, lo que optimizará la extracción y permitirá procesar más material en menos tiempo.
4. Se recomienda mantener un estándar de granulometría más manejable de 4 a 5 pulgadas como en la Rampa 667 para facilitar el transporte y carga del material, mejorando la eficiencia operativa. Además, aumentar el número de ciclos de limpieza en otros proyectos para incrementar la productividad.
5. Se recomienda reducir el costo por metro lineal en los proyectos Rampa 616 y SP5 mediante la reducción del consumo de explosivos, la optimización del uso de maquinaria y una mejor planificación de perforación y voladura, tomando como modelo las prácticas eficientes de la Rampa 667.
6. Se recomienda implementar mejoras en el consumo de explosivos y la eficiencia operativa siguiendo el modelo de la Rampa 667 para reducir el costo total por metro lineal en los proyectos Rampa 616 y SP5, lo que permitirá optimizar los costos operativos y aumentar la productividad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GONZALEZ, Brayan. Optimización de los procesos de perforación y voladura en la Sociedad Minera Nueva Rojas, concesión Bella Rica, Camilo Ponce Enríquez - Azuay. Tesis (Título de Ingeniero de Minas) . Cuenca : Universidad del Azuay, 2022.
2. RAMOS, Javier y CARRASCO, Yhonny. Aplicación de la herramienta benchmarking en la optimización de las operaciones mineras de la Rampa 440 Unidad Operativa Cuatro Horas Arequipa 2023. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Abancay : Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, 2023.
3. ANASTARES, Richard y ZENTENO, Floro. Reducción y optimización de costos operativos en aceros de perforación en la RPA. (±)944W de la Empresa Especializada IESA S.A. – Unidad Minera Atacocha S.A. Nexa Resources. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Cerro de Pasco : Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2023.
4. QUITO, Juan y BABILONIA, Ratmi . Análisis de la vida útil de aceros de perforación para evaluar costos operativos en galerías Compañía Minera San Cristóbal S.A.A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo : Universidad Continental, 2020.
5. DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA . *Informe de estudio de las reservas y recursos minerales*. Yauli - Oroya : Unidad Minera San Cristobal, 2020.
6. ROBERT J. BOXWELL, Jr. *Benchmarking for Competitive Advantage*. Madrid : McGraw-Hill, 1994. ISBN: 84-481-1837-5.
7. AYALA, Ghercy y PALACIOS, Fernando. *Herramientas de Gestión para la optimización del minado subterráneo*. Trujillo : Revista Ciencia y Tecnología, 2024. ISSN 1810-6781.
8. RAMIREZ, Pedro y ALEJANO, Leandro. *Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes*. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
9. PORTAL MINERO S.A. *Guía de Ingeniería en Operaciones Mineras II*. Chile : Portal Minero Ediciones, 2010.

- 10 ESCUDERO, William, GUADALUPE, Enrique y ROMERO, Alfonso. *Construcción de un modelo de gestión de costos en una mina subterránea*. Lima : Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2022. ISSN-L:1561-0888.
11. EPIROC S.A. *Aceros de perforacion conicos*. Lima : RDT, 2018.
12. AREA DE GEOMECANICA. *Informe de zonificación Geomecanica*. Yauli : Unidad Minera San Cristóbal, 2024.
13. AREA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA. *Informe de perforación y voladura de labores de preparación y desarrollo* . Yauli : Unidad Minera San Cristóbal, 2024.
14. ÁREA DE COSTOS Y PRESUPUESTOS. *Estructura de costos de perforación y voladura* . Yauli : Unidad Minera San Cristóbal, 2024.
15. IBM CORP. *IBM SPSS Statistics for Windows, versión 25.0*. Armonk, NY : IBM Corp., 2017.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

Uso de la herramienta de gestión benchmarking interno para reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristobal

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general
¿Cómo influye el uso de la herramienta de gestión benchmarking interno para reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal?	Desarrollar el uso de la herramienta de gestión benchmarking interno para reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.	El uso de la herramienta de gestión benchmarking interno será factible y viable para reducir costos de avance en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas
¿Cómo influye el uso de la herramienta de gestión benchmarking interno para mejorar el ciclo operativo en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal?	Desarrollar el uso de la herramienta de gestión benchmarking interno para mejorar el ciclo operativo en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.	El uso de la herramienta de gestión benchmarking interno será factible y viable para mejorar el ciclo operativo en la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.
¿Cómo influye el uso de la herramienta de gestión benchmarking interno para aumentar la factibilidad económica de la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal?	Desarrollar el uso de la herramienta de gestión benchmarking interno para aumentar la factibilidad económica de la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.	El uso de la herramienta de gestión benchmarking interno será factible y viable para aumentar la factibilidad económica de la Rampa 667, Unidad Minera San Cristóbal.

Anexo 2

Estructura de costos de perforación y voladura de la Rampa 616, correspondiente a la Unidad Minera San Cristóbal

ESTRUCTURA DE COSTOS: Rampa 616 - 4 x 4 (JUMBO)						
Taladros Perforados /disparo	44.0	Longitud efectiva Perforación mts				3.35
Taládros cargados	40.0	Eficiencia perforación				91%
Factor de carga (Kg/taladro) :	2.8	Rendimiento (m/disparo):				3.10
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U. \$/ Unid	Total \$/.	Total \$/./MET.
1.1 Mano de Obra						34.10
Capataz	tarea	1	20%	26.32	5.26	
Bodeguero	tarea	1	20%	26.32	5.26	
Mecánico	tarea	1	20%	26.32	5.26	
electricista Equipos	tarea	1	20%	26.32	5.26	
Operador Jumbo	tarea	1	100%	30.70	30.70	
Ayudante Jumbo	tarea	1	100%	30.70	30.70	
Operador Scoop	tarea	1	50%	30.70	15.35	
Ayudante	tarea	1	40%	13.16	5.26	
Ayudante de servicios	tarea	1	20%	13.16	2.63	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U. \$/ Unid	Total \$/.	Total \$/./MET.
1.2 Aceros de perforación						136.26
Aceite de Perforación	Gln	0.33	100%	7.23	2.39	
Barras de Perforación	mp	501.60	100%	0.22	108.68	
Brocas de perforación 51 mm	mp	501.60	100%	0.35	177.82	
Rimadora	mp	45.60	100%	1.50	68.52	
Shank adapter	mp	501.60	100%	0.09	47.08	
Copas de afilado	mp	501.60	100%	0.04	17.93	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U. \$/ Unid	Total \$/.	Total \$/./MET.
1.3 Herramientas						2.63
Lampa	pieza	2.00	100%	0.14	0.28	
Pico	pieza	2.00	100%	0.16	0.31	
Combo 6 Lbs	pieza	1.00	100%	0.10	0.10	
Llave Stilson de 8"	pieza	1.00	100%	0.07	0.07	
LLave Francesa 8"	pieza	1.00	100%	0.06	0.06	
Maquina Ban Dit	pieza	1.00	100%	0.48	0.48	
Cinta Ban Dit 1/2	rollo	1.00	100%	0.51	0.51	
Cinta Ban Dit 3/8	rollo	1.00	100%	0.43	0.43	
Barretilla de 4'	pieza	1.00	100%	0.26	0.26	
Barretilla de 6'	pieza	1.00	100%	0.31	0.31	
Barretilla de 8'	pieza	1.00	100%	0.34	0.34	
Barretilla de 10'	pieza	1.00	100%	0.38	0.38	
Barretilla de 12'	pieza	1.00	100%	0.38	0.38	
Disco de jebe	pieza	1.00	100%	0.05	0.05	
Taco de Arcilla	pieza	40.00	100%	0.05	2.11	
Ocre Polvo Rojo	kg	0.17	100%	2.63	0.44	
Escaleras telescopicas	pieza	1.00	100%	1.47	1.47	
Arco de sierra + hoja	pieza	1.00	100%	0.17	0.17	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U. \$/ Unid	Total \$/.	Total \$/./MET.
1.4 Implementos de Seguridad						1.76
Tareas sin ropa de agua	tareas	6.00	100%	0.59	3.57	
Tareas con ropa de agua	tareas	3.00	100%	0.63	1.90	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U. \$/ Unid	Total \$/.	Total \$/./MET.
1.5 Equipos en Operación						103.45
Jumbo 01 Brazo	Hm	2.82	100%	62.23	175.49	
Scooptram Sandvick	Hm	2.80	100%	51.86	145.21	
(A) Total Costo Directo						278.20
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U. \$/ Unid	Total \$/.	Total \$/./MET.
(B) Explosivos y Acc. Voladura						58.17
Emulnor 3000 1 1/4" X 12	kg	60.21	100%	1.44	86.77	
Emulnor 3000 1 1/4" X 12	kg	30.59	100%	1.64	50.20	
Emulnor 1000 1 1/4" X 12	kg	22.00	100%	1.04	22.90	
MECHA RAPIDA	m	0.50	100%	0.88	0.44	
PENTACORD	m	30.00	100%	0.28	8.40	
FANELES	unid	40.00	100%	0.28	11.05	
MECHA EMSAMBLADA	unid	2.00	100%	0.28	0.55	
(C) Combustible						29.86
Petroleo Jumbo	Gln	4.23	100%	6.00	25.38	
Petroleo Scoop	Gln	11.20	100%	6.00	67.20	
COSTO TOTAL POR UNIDAD VALORIZADA (A+B+C)						366.24

Tomada de Estructura de costos de perforación y voladura, Unidad Minera San Cristóbal

Anexo 3

Estructura de costos de perforación y voladura de la Rampa SP5, correspondiente a la Unidad Minera San Cristóbal

ESTRUCTURA DE COSTOS: Rampa SP5 4 x 4 (JUMBO)						
Taladros Perforados /disparo		37.0	Longitud efectiva Perforación mts		3.00	
Taládras cargados		33.0	Eficiencia perforación		91%	
Factor de carga (Kg/taladro) :		2.5	Rendimiento (m/disparo):		2.82	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U. \$/ Unid	Total \$.	Total \$/ MET.
1.1 Mano de Obra						37.48
Capataz	tarea	1	20%	26.32	5.26	
Bodeguero	tarea	1	20%	26.32	5.26	
Mecánico	tarea	1	20%	26.32	5.26	
electricista Equipos	tarea	1	20%	26.32	5.26	
Operador Jumbo	tarea	1	100%	30.70	30.70	
Ayudante Jumbo	tarea	1	100%	30.70	30.70	
Operador Scoop	tarea	1	50%	30.70	15.35	
Ayudante	tarea	1	40%	13.16	5.26	
Ayudante de servicios	tarea	1	20%	13.16	2.63	
1.2 Aceros de perforación						119.20
Acerte de Perforación	Gln	0.33	100%	7.23	2.39	
Barras de Perforación	mp	386.65	100%	0.22	83.77	
Brocas de Perforación 51 mm	mp	386.65	100%	0.35	137.07	
Rimadora	mp	41.80	100%	1.50	62.81	
Shank adapter	mp	386.65	100%	0.09	36.29	
Copas de afilado	mp	386.65	100%	0.04	13.82	
1.3 Herramientas						2.76
Lampa	pieza	2.00	100%	0.14	0.28	
Pico	pieza	2.00	100%	0.16	0.31	
Combo 6 Lbs	pieza	1.00	100%	0.10	0.10	
Llave Stilson de 8"	pieza	1.00	100%	0.07	0.07	
LLave Francesa 8"	pieza	1.00	100%	0.06	0.06	
Maquina Ban Dit	pieza	1.00	100%	0.48	0.48	
Cinta Ban Dit 1/2	rollo	1.00	100%	0.51	0.51	
Cinta Ban Dit 3/8	rollo	1.00	100%	0.43	0.43	
Barretilla de 4'	pieza	1.00	100%	0.26	0.26	
Barretilla de 6'	pieza	1.00	100%	0.31	0.31	
Barretilla de 8'	pieza	1.00	100%	0.34	0.34	
Barretilla de 10'	pieza	1.00	100%	0.38	0.38	
Barretilla de 12'	pieza	1.00	100%	0.38	0.38	
Disco de jebe	pieza	1.00	100%	0.05	0.05	
Taco de Arcilla	pieza	33.00	100%	0.05	1.74	
Ocre Polvo Rojo	kg	0.17	100%	2.63	0.44	
Escaleras telescopicas	pieza	1.00	100%	1.47	1.47	
Arco de sierra + hoja	pieza	1.00	100%	0.17	0.17	
1.4 Implementos de Seguridad						1.94
Tareas sin ropa de agua	tareas	6.00	100%	0.59	3.57	
Tareas con ropa de agua	tareas	3.00	100%	0.63	1.90	
1.5 Equipos en Operación						113.72
Jumbo 01 Brazo	Hm	2.82	100%	62.23	175.49	
Scooptram Sandvick	Hm	2.80	100%	51.86	145.21	
(A) Total Costo Directo						275.11
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U. \$/ Unid	Total \$.	Total \$/ MET.
(B) Explosivos y Acc. Voladura						48.61
Emulnor 3000 1 1/4" X 12	kg	51.61	100%	1.44	74.38	
Emulnor 3000 1 1/4" X 12	kg	17.29	100%	1.64	28.37	
Emulnor 1000 1 1/4" X 12	kg	15.00	100%	1.04	15.62	
MECHA RAPIDA	m	0.50	100%	0.88	0.44	
PENTACORD	m	30.00	100%	0.28	8.40	
FANELES	unid	33.00	100%	0.28	9.34	
MECHA EMSAMBLADA	unid	2.00	100%	0.28	0.55	
(C) Combustible						32.83
Petroleo Jumbo	Gln	4.23	100%	6.00	25.38	
Petroleo Scoop	Gln	11.20	100%	6.00	67.20	
COSTO TOTAL POR UNIDAD VALORIZADA (A+B+C)						356.55

Tomada de Estructura de costos de perforación y voladura, Unidad Minera San Cristóbal

Anexo 4

Estructura de costos de perforación y voladura de la Rampa 667, correspondiente a la Unidad Minera San Cristóbal

ESTRUCTURA DE COSTOS: Rampa 667 4 x 4 (JUMBO)						
Taladros Perforados /disparo		43.0	Longitud efectiva Perforación mts		4.05	
Taládro cargados		38.0	Eficiencia perforación		97%	
Factor de carga (Kg/taladro) :		3.2	Rendimiento (m/disparo):		3.80	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U.	Total	Total
				\$/ Unid	\$/	\$/ /MET.
1.1 Mano de Obra						27.82
Capataz	tarea	1	20%	26.32	5.26	
Bodeguero	tarea	1	20%	26.32	5.26	
Mecánico	tarea	1	20%	26.32	5.26	
electricista Equipos	tarea	1	20%	26.32	5.26	
Operador Jumbo	tarea	1	100%	30.70	30.70	
Ayudante Jumbo	tarea	1	100%	30.70	30.70	
Operador Scoop	tarea	1	50%	30.70	15.35	
Ayudante	tarea	1	40%	13.16	5.26	
Ayudante de servicios	tarea	1	20%	13.16	2.63	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U.	Total	Total
				\$/ Unid	\$/	\$/ /MET.
1.2 Aceros de perforación						132.39
Aceite de Perforación	Gln	0.33	100%	7.23	2.39	
Barras de Perforación	mp	571.90	100%	0.22	123.91	
Brocas de perforación 51 mm	mp	571.90	100%	0.35	202.75	
Rimadora	mp	66.50	100%	1.50	99.93	
Shank adapter	mp	571.90	100%	0.09	53.67	
Copas de afilado	mp	571.90	100%	0.04	20.45	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U.	Total	Total
				\$/ Unid	\$/	\$/ /MET.
1.3 Herramientas						3.61
Lampa	pieza	2.00	100%	0.14	0.28	
Pico	pieza	2.00	100%	0.16	0.31	
Combo 6 Lbs	pieza	1.00	100%	0.10	0.10	
Llave Stilson de 8"	pieza	1.00	100%	0.07	0.07	
LLave Francesa 8"	pieza	1.00	100%	0.06	0.06	
Maquina Ban Dit	pieza	1.00	100%	0.48	0.48	
Cinta Ban Dit 1/2	rollo	1.00	100%	0.51	0.51	
Cinta Ban Dit 3/8	rollo	1.00	100%	0.43	0.43	
Barretilla de 4'	pieza	1.00	100%	0.26	0.26	
Barretilla de 6'	pieza	1.00	100%	0.31	0.31	
Barretilla de 8'	pieza	1.00	100%	0.34	0.34	
Barretilla de 10'	pieza	1.00	100%	0.38	0.38	
Barretilla de 12'	pieza	1.00	100%	0.38	0.38	
Tubo PVC 1 1/2 x 3.00 Mts.	uni	6.00	100%	0.95	5.68	
Disco de jebe	pieza	1.00	100%	0.05	0.05	
Taco de Arcilla	pieza	38.00	100%	0.05	2.00	
Ocre Polvo Rojo	kg	0.17	100%	2.63	0.44	
Escaleras telescópicas	pieza	1.00	100%	1.47	1.47	
Arco de sierra + hoja	pieza	1.00	100%	0.17	0.17	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U.	Total	Total
				\$/ Unid	\$/	\$/ /MET.
1.4 Implementos de Seguridad						1.44
Tareas sin ropa de agua	tareas	6.00	100%	0.59	3.57	
Tareas con ropa de agua	tareas	3.00	100%	0.63	1.90	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U.	Total	Total
				\$/ Unid	\$/	\$/ /MET.
1.5 Equipos en Operación						84.39
Jumbo 01 Brazo	Hm	2.82	100%	62.23	175.49	
Scooptram Sandvick	Hm	2.80	100%	51.86	145.21	
(A) Total Costo Directo						249.65
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U.	Total	Total
				\$/ Unid	\$/	\$/ /MET.
(B) Explosivos y Acc. Voladura						58.85
EMULNOR 3000 1 1/2 X 12	kg	68.82	100%	1.44	99.17	
EMULNOR 3000 1 1/4 X 12	kg	30.86	100%	1.64	50.64	
EMULNOR 1000 1 1/2 X 12	kg	21.00	100%	1.04	21.86	
FANELES LP	und	38.00	100%	0.88	33.38	
CARMEX 7 pies	und	2.00	100%	0.28	0.56	
MECHA RAPIDA	m	0.20	100%	0.28	0.06	
CORDON DETONANTE 5P	unid	65.00	100%	0.28	17.96	
(C) Combustible						24.36
Petroleo Jumbo	Gln	4.23	100%	6.00	25.38	
Petroleo Scoop	Gln	11.20	100%	6.00	67.20	
COSTO TOTAL POR UNIDAD VALORIZADA (A+B+C)						332.86

Tomada de Estructura de costos de perforación y voladura, Unidad Minera San Cristóbal