



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN EN UNA MINA A TAJO ABIERTO UBICADA EN CAJAMARCA 2024

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Jose Armando Jimenez Medina

Osmar Geiner Becerra Lopez

Asesor:

Mg. Ing. Jairo Pinedo Taquia

<https://orcid.org/0000-0001-9684-0140>

Cajamarca - Perú

2025

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	DANNY DANIEL VALDERRAMA GUTIERREZ
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	MAURO EDILBERTO CRUZADO RAMIREZ
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	OSCAR ARTURO VASQUEZ MENDOZA
	Nombre y Apellidos

Informe de Similitud



Página 2 of 59 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3309473234

17% Similitud general

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




Filtrado desde el informe

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

Exclusiones

- ▶ N.º de fuentes excluidas

Fuentes principales

- 16%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

Dedicatoria

Dedicado para mis progenitores, por su cariño inquebrantable y respaldo continuo son pilares fundamentales en mi trayectoria profesional., a mis hermanos, que siempre han estado a mi lado, ofreciendo su apoyo inquebrantable en cada paso del camino.

A mi esposa e hija, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y sostén durante este desafío su apoyo incondicional y la compartición de momentos buenos y difíciles han sido invaluable, y a todos aquellos que, de diversas maneras, han contribuido al desarrollo y éxito de este proyecto su colaboración ha sido fundamental.

Armando Jiménez

Esto va dedicado a mis padres Santiago Becerra Salcedo y María López Cotrina, que siempre estaban para mí en los buenos y malos momentos durante mi etapa universitaria.

A mis hermanas, amigos y demás familiares por sus buenos consejos que brindaron en todo este tiempo, además va dedicado a mis docentes por su enseñanza y experiencias para ser un excelente profesional para mi país.

Osmar Becerra

Agradecimiento

Deseo manifestar mi más sincero reconocimiento a mis progenitores por su amor y apoyo inquebrantables a lo largo de este desafiante proceso.

Asimismo, agradezco a Dios por darme la solidez necesaria para enfrentar este gran reto. Además, demuestro mi expresión de gratitud por el respaldo inquebrantable brindado por mi círculo cercano de familiares y amigos, así mismo agradezco a mi Universidad y sus profesores por su enseñanza y apoyo brindado.

Armando Jiménez

Ante todo, doy gracias al señor por otorgarme la capacidad intelectual y la sapiencia necesarias para conseguir uno de mis mayores anhelos. A mis padres por gran sacrificio en todo este tiempo, gracias a ellos pude llegar hasta esta etapa de mi vida que es la más esperada por ellos y por mí. A mis hermanas por el apoyo incondicional durante mi etapa de mi carrera universitaria.

Para finalizar un agradecimiento a mi alma mater (UPN) por abrirme sus puertas y también a los profesores por brindarnos sus guía y vivencias durante mi etapa universitaria.

Osmar Becerra

Tabla de contenidos

Índice de tablas	7
Índice de Figuras.....	8
Resumen.....	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Realidad problemática	10
1.2. Formulación del problema.....	10
1.3. Objetivos.....	16
1.4. Hipótesis	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	17
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	21
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	32
REFERENCIAS.....	38
ANEXOS	46

Índice de tablas

Tabla 1: Eficiencia por Metro Perforado en términos de Costos	21
Tabla 2: Eficiencia de Explosivos por m ³ en términos de costos	23
Tabla 3: Eficiencia en rendimiento de Tiempo	24
Tabla 4: Eficiencia de Producción de Carguío y Acarreo	25
Tabla 5: Eficiencia de la producción de perforación y voladura.....	26
Tabla 6: Determinación de la Eficiencia en base a los parámetros de las Mallas	28
Tabla 7: Componentes de los costos inherentes	29
Tabla 8: Aumento de la eficiencia en base a las propuestas.....	30

Índice de Figuras

Figura 1: Comparación de costos entre malla anterior y malla estándar	22
Figura 2: Eficiencia de explosivos por m ³ en términos de costos	23
Figura 3: Reducción del tiempo de perforación y voladura al implementar la malla estándar.....	24
Figura 4: Comparación de Eficiencia de Producción de Carguío y Acarreo entre malla anterior y malla estándar.....	26
Figura 5: Comparación de eficiencia en producción de perforación y voladura entre ambas mallas.....	27
Figura 6: Análisis de la determinación en la Eficiencia en base a los parámetros de las Mallas	28
Figura 7: Comparación de los componentes de costos entre la malla anterior y la malla estándar.....	30
Figura 8: Ahorro estimado por propuesta técnica en perforación y voladura	31

Resumen

La investigación tiene como finalidad identificar ineficiencias, proponer alternativas técnicas y económicas más viables, mejorando la toma de decisiones en el diseño de mallas y selección de explosivos. El objetivo es analizar cómo la optimización de los costos en las operaciones de perforación y voladura influye en el incremento de la producción en una mina a tajo abierto ubicada en Cajamarca, 2024. La metodología se aplicó un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño no experimental de corte transversal. Los resultados indicaron que la malla estándar generó una mejor fragmentación del material, facilitando el trabajo de las palas y reduciendo el tiempo de ciclo de carguío. Esto permitió incrementar la producción diaria de 450 a 510 m³ y el rendimiento horario de 56,25 a 63,75 m³/h, con una mejora del 13,33%. Además, la disminución de rocas sobredimensionadas redujo retrabajos y desgaste de equipos, bajando los costos por metro cúbico de S/ 32,50 a S/ 29,00 (10,77% menos). Se concluye que la optimización de estos procesos incrementó la eficiencia productiva, generó un ahorro total de S/ 130,56 y mantuvo una eficiencia global del 94,7%, demostrando que una adecuada estrategia en perforación y voladura impacta directamente en la productividad minera.

Palabras Claves: Optimización, Perforación y Voladura, Producción, Costos.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Actualmente, el sector de minería se enfrenta a desafíos crecientes en cuanto a la optimización de costos y la maximización de la producción. Según el informe de la consultora McKinsey & Company, la inestabilidad en los precios de los metales y los recursos naturales, junto con la presión para reducir los costos operativos, han llevado a las empresas mineras a buscar constantemente formas de mejorar la optimización en todas las etapas del procedimiento minero (McKinsey & Company, 2020). En este contexto, el análisis detallado de costos en perforación y voladura se ha convertido en un aspecto crucial para mantener la rentabilidad y la capacidad competitiva en el ámbito comercial global de la minería.

Por su parte, en Canadá las empresas mineras han iniciado a explorar nuevas estrategias para minimizar los costos de explotación con la finalidad de generar ahorro, que consiste en aumentar la eficacia y el rendimiento de la perforación, especialmente en las minas a cielo abierto. Las operaciones de perforación son caras y afectan directa e indirectamente a la mayoría de los aspectos del proceso minero. Una parte sustancial de los costos de perforación está asociada al consumo de brocas debido a su desgaste. El desgaste de la broca disminuye la velocidad de penetración, lo que reduce la eficacia de la perforación; sin embargo, cambiar la broca innecesariamente pronto aumenta los costos de perforación. Además de este dilema en el proceso de elección, la estrategia de manejo de inventarios también es crucial para la minimización de costos (Ugurlu y Kumral, 2020).

En el contexto peruano, la minería a tajo abierto enfrenta desafíos específicos que limitan su capacidad para incrementar la producción de manera sostenible. Basado en

datos del Ministerio de Energía y Minas del Perú (2021), las operaciones mineras en el país enfrentan costos significativos en perforación y voladura debido a la necesidad de utilizar tecnologías avanzadas para enfrentar condiciones geológicas difíciles y optimizar el rendimiento operativo. La falta de acceso a financiamiento y la alta dependencia de equipos importados también influyen en los costos operativos, dificultando la implementación de prácticas modernas de perforación y voladura que podrían elevar la producción de manera rentable. Además, la necesidad de cumplir con regulaciones ambientales cada vez más rigurosas agrega una capa adicional de complejidad y costo a las operaciones mineras en Perú (Minem, 2021).

En Cajamarca, la minería a tajo abierto cumple una función indispensable en el impulso del desarrollo económico y la generación de empleo, debido a la extracción de diversos minerales que contribuyen significativamente al progreso financiero y humano de la región. No obstante, esta actividad enfrenta retos constantes relacionados con la productividad operativa y la administración de costos, especialmente durante las actividades de perforación y voladura; donde, juega un papel importante que influyen directamente en la fragmentación del material, la estabilidad de las paredes del tajo y la seguridad de las operaciones mineras. Según estudios recientes, estos procesos pueden constituir entre el 30-40% de los costos operativos totales en una mina a tajo abierto, haciendo que su optimización sea vital en la productividad general.

La ineficiencia en la gestión de estos procesos puede resultar en costos elevados, fragmentación inadecuada del material, tiempos de ciclo prolongados y mayores riesgos de seguridad. Estos problemas no solo afectan la rentabilidad de las operaciones mineras, sino que también pueden tener repercusiones ambientales y sociales negativas, como la generación excesiva de polvo y vibraciones que impactan a las comunidades cercanas.

(Rodríguez et al., 2021) Por lo tanto, es imperativo realizar un estudio de los gastos asociados a la perforación y voladura para identificar oportunidades de optimización y adoptar estrategias que incrementen la eficiencia operativa y la producción en una mina a tajo abierto en Cajamarca.

La evaluación de costos en perforación y voladura se basó en diversas teorías y conceptos clave, que incluyeron tanto métodos tradicionales como tecnologías avanzadas.

Los procesos de Perforación y Voladura son esenciales en minería a tajo abierto, ya que facilitan la ruptura de la roca para su posterior extracción y procesamiento. La eficiencia de estas operaciones depende de varios factores, como el diseño del patrón de perforación, el tipo de explosivo utilizado y las técnicas de voladura aplicadas (Zhang et al., 2024). Los métodos tradicionales de perforación como la perforación rotativa y la perforación con martillo en fondo han sido utilizados ampliamente en la industria minera. Estos métodos se basan en la experiencia y las mejores prácticas desarrolladas a lo largo de los años para optimizar la eficiencia y mitigar los costos. (Xu et al., 2020). Los Modelos de Optimización como los modelos matemáticos y las simulaciones por computadora se utilizan para optimizar los patrones de perforación y voladura. Estos modelos ayudan a identificar las configuraciones más eficientes y económicas, considerando factores como la resistencia de la roca, la densidad de los explosivos y la geometría del yacimiento (Figueiredo et al., 2023). El análisis económico de los proyectos mineros es esencial para establecer si las operaciones son factibles y rentables. Implica comparar los costos y beneficios utilizando criterios, tales como, el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el período de recuperación de la inversión (PRI). Esta evaluación ayuda a las empresas mineras a seleccionar decisiones basadas en la inversión y la producción (Nayak., 2022).

En ese contexto, Figueiredo et al. (2023), en su investigación con el título de "Estudio de fragmentación de voladuras mediante análisis de imágenes 3D de una mina de roca dura", se enfocó en mejorar la fragmentación de rocas a través de voladuras utilizando análisis de imágenes 3D en una mina de roca dura. Se llevaron a cabo cuatro ensayos de voladura para evaluar distintos métodos de diseño de voladuras, empleando la herramienta PAGohrtaMETROEstriCstMETRO para analizar la fragmentación. Los resultados obtenidos mostraron un porcentaje medio de fragmentación que sobrepasaban los 150 mm, 69,70% en la prueba 1, 66,20% en la prueba 4 y 56,4% en la prueba convencional, se compararon dichos resultados con un modelo estándar de distribución del tamaño de partículas. Se concluyó que la herramienta proporciona una evaluación preliminar eficaz del diseño de voladuras, aunque los resultados deben interpretarse considerando los parámetros técnicos aplicados en las ecuaciones.

De manera similar, Nayak (2022), en su investigación "Blasting optimization using O-Pitblast software", se centra en la optimización de los costos de explosiones en la minería a cielo abierto mediante el uso del software O-Pitblast. Obteniendo como resultados en el uso de ANFO, con un costo de \$0.32 por kilogramo, fue más económico en comparación con el Slurry, que costó \$0.75 por kilogramo, también se optimizó el patrón de perforación con un espaciamiento de 3 metros entre agujeros y una profundidad de 15 metros, reduciendo el costo de perforación a \$0.50 por metro perforado. El costo total de una voladura típica utilizando el patrón optimizado y ANFO fue de aproximadamente \$12,500 por voladura, en comparación con \$18,000 utilizando Slurry con un diseño no optimizado. En conclusión, se resalta la importancia de un diseño eficiente para reducir costos y garantizar la seguridad en las operaciones mineras.

Además, Sabanov et al. (2023), en su trabajo " Un estudio de caso para mejorar la eficacia de las voladuras mediante el uso de explosivos de emulsión", presenta un caso de mejora en la eficiencia de la voladura utilizando explosivos de emulsión. Se identifican problemas relacionados con la eficiencia de la voladura y se propone un nuevo diseño que mejora significativamente el avance de entrada y la estabilidad de las estructuras. Logrando obtener una velocidad de detonación (VOD) de explosivos de emulsión valores entre 3677 y 3992 m/s para explosivos almacenados y recién fabricados, respectivamente. Se optimizó el patrón de voladura original, que utilizaba 75 kg de explosivo y lograba un avance de entrada de 3.3 m con una relación peso-volumen de 0.85 kg/m³, para alcanzar un avance de entrada de 4.0 m con una relación peso-volumen mejorada de 0.70 kg/m³. Se demostró una mayor eficiencia en la voladura al considerar los parámetros de los explosivos de emulsión y la relación entre el radio de daño y la carga específica.

Igualmente, Dotto y Pourrahimian (2024), en su estudio "La influencia de las propiedades del explosivo y de la masa rocosa en el daño causado por la explosión en una voladura de un solo agujero", analizan cómo las propiedades de los explosivos y la formación rocosa afectan los resultados de la voladura en un contexto minero. Mediante simulaciones numéricas y pruebas experimentales, investigan cómo la elección del explosivo y las características de la roca influyen en la fragmentación resultante. Teniendo como resultados que, en rocas duras usando explosivos de emulsión, la zona triturada formada es de 0.3 m y la zona fracturada se extiende hasta 5 m, mientras que al usar ANFO, la zona fracturada se reduce a 4.5 m, mientras que, en rocas blandas, la zona triturada es mayor, de 0.54 m, pero la zona fracturada se reduce a 4 m para ambos tipos de explosivos. Finalmente se subrayan la importancia de seleccionar el explosivo adecuado y diseñar el patrón de voladura óptimamente para asegurar una fragmentación.

Finalmente, Zhang et al. (2024), en su estudio sobre el efecto de la tecnología de voladura simultánea de tres pozos en la fragmentación y estabilidad del terreno en proyectos a cielo abierto, realizaron simulaciones numéricas y pruebas experimentales para comparar este método con la voladura pozo por pozo. Los hallazgos muestran que la velocidad de detonación (VOD) de explosivos de emulsión viejos y frescos, con valores registrados que varían de 3677 a 3867 m/s para los explosivos viejos y de 3957 a 3992 m/s para los frescos, por su parte, la concentración de carga específica de los explosivos de emulsión mejorada se redujo a 0.70 kg/m³ comparado con el patrón de voladura original de 0.85 kg/m³, lo que resultó en una eficiencia de voladura significativa, también, se tiene un avance significativo en la distribución de la fragmentación, reduciendo los bloques de 60 cm a 50 cm, demostrando la eficiencia de las pruebas experimentales.

La investigación se justificó en la necesidad de optimizar los costos operativos asociados a las actividades de perforación y voladura en una mina a tajo abierto ubicada en Cajamarca, durante el año 2024. Estas dos etapas representan un componente crítico en la cadena de valor de la minería, ya que impactan directamente en la fragmentación del material, la eficiencia del carguío y acarreo y, por ende, en la productividad global del yacimiento. Por ello, realizar un análisis detallado de los costos en perforación y voladura permitirá identificar ineficiencias, proponer alternativas técnicas y económicas más viables, y mejorar la toma de decisiones en el diseño de mallas y selección de explosivos.

1.2. Formulación del Problema

Con base en lo mencionado anteriormente se planteó la siguiente pregunta ¿cómo influye la optimización de costos en perforación y voladura para elevar la producción en una mina a tajo abierto ubicada en Cajamarca 2024?

1.3. Objetivos

Principal

Analizar cómo la optimización de los costos en las operaciones de perforación y voladura influye en el incremento de la producción en una mina a tajo abierto ubicada en Cajamarca, 2024.

Específicos

Evaluar la eficiencia de los procedimientos actuales de perforación y voladura en términos de costos y producción.

Identificar los componentes específicos de los gastos inherentes con las actividades de perforación y voladura en una mina a tajo abierto, Cajamarca.

Realizar recomendaciones para la mejora continua de los procesos de perforación y voladura basadas en el análisis de costos y su impacto en la producción minera.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de Investigación

La investigación fue de tipo aplicada, es decir se centró en encontrar soluciones prácticas a problemas específicos. La investigación aplicada tiene como objetivo utilizar el conocimiento existente para abordar problemas concretos y mejorar prácticas dentro de contextos reales (Christensen y Johnson, 2017).

El estudio se centró en un enfoque cuantitativo, enfoque basado en la recolección y evaluación de información numérica para entender fenómenos y establecer correlaciones entre variables. Los estudios cuantitativos utilizan métodos estadísticos para analizar los datos e Incluir una muestra más diversa en la generalización de los resultados (Creswell, 2014).

El diseño de investigación fue descriptivo y correlacional. Este tipo de diseño es adecuado para identificar y examinar la correlación entre los gastos de perforación y voladura y la producción en una mina a tajo abierto. Según (Hernández et al., 2014), indica que un estudio descriptivo se centra en detallar las características importantes de grupos, individuos, conjuntos o cualquier otro fenómeno en el que pueda indagarse, por otra parte, un estudio correlacional busca establecer la conexión o grado de correlación entre dos o más variables.

La investigación fue no experimental, el investigador observa y mide las variables tal como ocurren naturalmente, sin manipularlas. Este diseño es apropiado cuando las variables no pueden ser controladas o manipuladas debido a razones éticas, prácticas o logísticas (Hernández et al., 2014).

2.2. Población y Muestra

La población del estudio estuvo conformada por todas las operaciones de perforación y voladura realizadas en la mina a tajo abierto ubicada en Cajamarca durante el año 2024. Asimismo, se obtuvo como muestra un tajo específico de la unidad minera que cumplía con los criterios técnicos necesarios para el estudio.

2.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección y Análisis de Datos

La técnica utilizada fue la observación directa, para evaluar in situ las funciones de perforación y voladura para identificar inefficiencias y oportunidades de mejora en la unidad minera. Asimismo, se utilizó la técnica de análisis documental la cual se enfoca en recopilar toda la información existente con relación a las variables en estudio.

Los instrumentos fueron el análisis de documentos y registros, es decir se recopiló datos históricos y actuales sobre costos operativos, tiempos de ciclo de perforación y voladura, consumo de materiales (como explosivos y brocas), y producción minera. Los instrumentos empleados para la observación directa y análisis documental fueron:

- ✓ Instrumento 1: Matrices de consistencia y operacionalización de variables (ANEXO N°1, N°2)
- ✓ Instrumento 2: Ficha de cotejo (ANEXO N°3)
- ✓ Instrumento 3: Ficha de registro de costos de perforación y voladura (ANEXO N° 4)
- ✓ Instrumento 4: Ficha de registro de perforación y voladura (ANEXO N°5)
- ✓ Instrumento 5: Ficha de parámetros de perforación y voladura (ANEXO N° 6)
- ✓ Instrumento 6: Ficha de tiempos de ciclo de perforación y voladura (ANEXO N°7)

- ✓ Instrumento 7: Ficha de monitoreo de producción de las operaciones de perforación y voladura (ANEXO N°8)

2.4. Procedimiento

De acuerdo con el procedimiento de investigación se desarrolló en tres etapas:

En la Etapa 1, se llevó a cabo la recolección y observación de datos operativos y financieros relacionados con las actividades de perforación y voladura en una mina a tajo abierto ubicada en Cajamarca. Esta fase incluyó la revisión de reportes técnicos y la observación directa en campo para registrar información clave. Los datos fueron medidos en términos monetarios (costos) y en unidades físicas (toneladas extraídas), permitiendo así establecer la relación entre los costos operativos y los niveles de producción. Se utilizaron indicadores como el costo por metro perforado y el costo por tonelada de explosivo empleado. La producción se cuantificó en toneladas, facilitando el análisis de la eficiencia operativa. Además, se recopilieron variables contextuales que pueden incidir en los resultados, como el tipo de roca, la profundidad de los taladros y las técnicas de voladura utilizadas. Esta información permitió identificar patrones y comportamientos clave dentro del proceso. La observación minuciosa de cada operación contribuyó a validar los datos recogidos. Esta etapa fue fundamental para sustentar el análisis posterior.

La Etapa 2, trata del procesamiento y análisis inicial de los datos previamente recolectados sobre perforación y voladura, con el fin de identificar tendencias y evaluar su impacto en la producción. La recolección de datos se realizó considerando un período de tiempo representativo, lo cual permitió observar variaciones estacionales y asegurar la relevancia de la información. Mediante la observación sistemática de los reportes operativos y financieros, se validó la consistencia de los datos. Posteriormente, se procedió a organizar la información utilizando tablas estadísticas, que facilitaron su visualización y comprensión. Esta estructura permitió identificar patrones significativos

en los costos por metro perforado y tonelada de explosivo, vinculándolos con los niveles de producción.

La Etapa 3, trata del análisis estadístico detallado de los datos recolectados sobre los costos de perforación y voladura, con el objetivo de interpretar su comportamiento e impacto en la producción minera. Aunque la recolección de datos se completó en etapas anteriores, en esta fase se profundizó en la observación analítica de la información utilizando herramientas estadísticas. Se calcularon medidas de tendencia central como media y mediana, y medidas de dispersión como varianza y desviación estándar, para entender la distribución de los costos. Asimismo, se elaboraron tablas de frecuencia y gráficos de barras y de tendencia, que facilitaron la visualización de los cambios en los costos y niveles de producción a lo largo del tiempo. Esta etapa permitió interpretar los resultados de manera clara y evidenciar cómo la optimización de costos puede contribuir significativamente al incremento de la producción en operaciones mineras a tajo abierto en Cajamarca.

2.5. Aspectos Éticos

En los aspectos éticos, se cuenta con el respaldo de la posesión de las investigaciones de todos los autores mostrados en este documento, en cuanto a las teorías y el conocimiento proporcionado, haciendo uso correcto de las citas y referencias; asegurando así que la presente tesis es fidedigna, donde se añaden técnicas de análisis apropiadas que proporcionen datos confiables. Cabe recalcar que todos los datos incluidos informes, reportes y bases de datos proporcionados por la empresa no han sido manipulados a fin de un beneficio propio y se respetó el acuerdo de confidencialidad de información acordada con la empresa.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Evaluación de la eficiencia en los procedimientos actuales de perforación y voladura en términos de costos y producción.

Se ha decidido analizar dos tipos de malla de perforación y voladura: la malla anterior y la malla estándar utilizadas en la empresa. Este enfoque permite evaluar y comparar la eficiencia operativa y los costos asociados del sistema actual.

Tabla 1

Eficiencia por Metro Perforado en términos de Costos

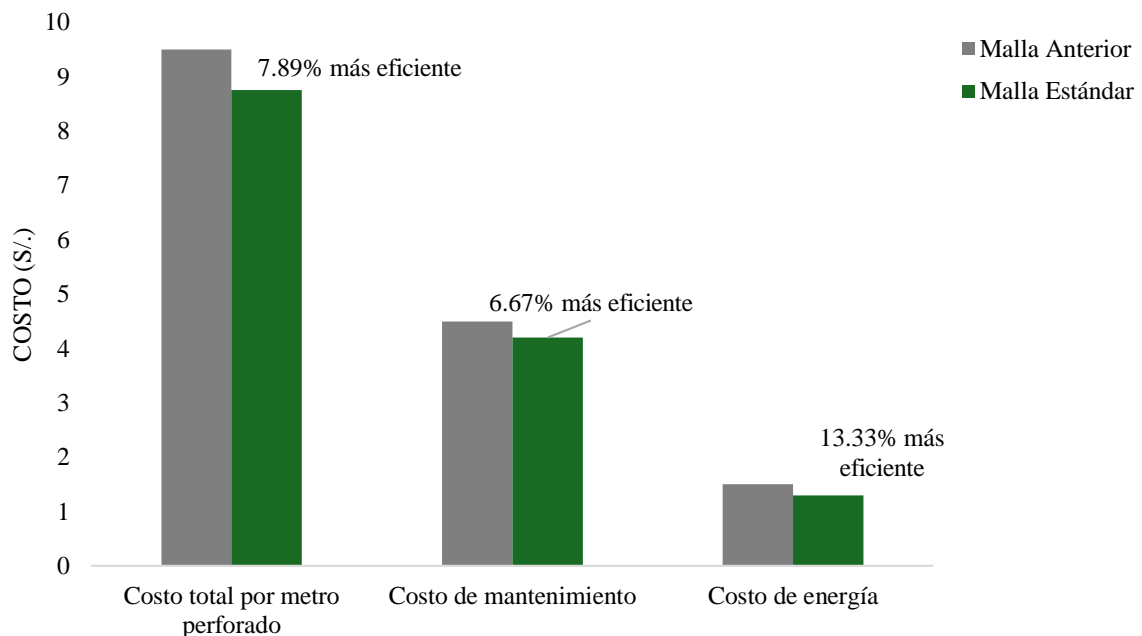
Parámetro	Malla Anterior (S/.)	Malla Estándar (S/.)	Eficiencia de la Malla Estándar (%)
Costo total por metro perforado	9.5	8.75	7.89% más eficiente
Costo de mantenimiento	4,5	4,2	6,67% más eficiente
Costo de energía	1,5	1,3	13,33% más eficiente

Nota. En la tabla se observa que la malla estándar resultó más eficiente en todos los parámetros analizados. Con relación al costo total por metro perforado, se logró una disminución de S/ 9,50 a S/ 8,75 por metro perforado, lo que representa una mejora del 7,89%. Esta reducción se debió principalmente a una optimización del diseño de la malla de perforación, que permitió reducir la cantidad de taladros necesarios sin comprometer la fragmentación. Al requerir menos metros perforados para cubrir la misma área, se disminuyeron proporcionalmente los costos asociados insumos, mano de obra y tiempo

operativo. El Costo de mantenimiento, se redujo de S/ 4,50 a S/ 4,20, logrando una eficiencia del 6,67%. Esta mejora se consiguió porque la malla estándar facilitó una distribución más uniforme de la carga explosiva, lo cual disminuyó el desgaste irregular en los equipos de perforación. Adicionalmente, se aplicó un mejor plan de mantenimiento preventivo, que ayudó a reducir paradas no programadas y a extender la vida útil de los componentes críticos. El Costo de energía, bajó de S/ 1,50 a S/ 1,30 por metro perforado, representando la mejora relativa más alta con un 13,33% de eficiencia. Esta reducción se logró porque la malla estándar permitió un menor tiempo de operación por taladro, debido a la mejora en la velocidad de penetración y al uso de parámetros de perforación optimizados (presión, rotación, avance). Menos tiempo de uso de equipos eléctricos o neumáticos genera un menor consumo energético.

Figura 1

Comparación de costos entre malla anterior y malla estándar



Nota. Comparación de los costos operativos entre la malla anterior y la malla estándar, evidenciando la mayor eficiencia de esta última en perforación, mantenimiento y consumo de energía.

Tabla 2

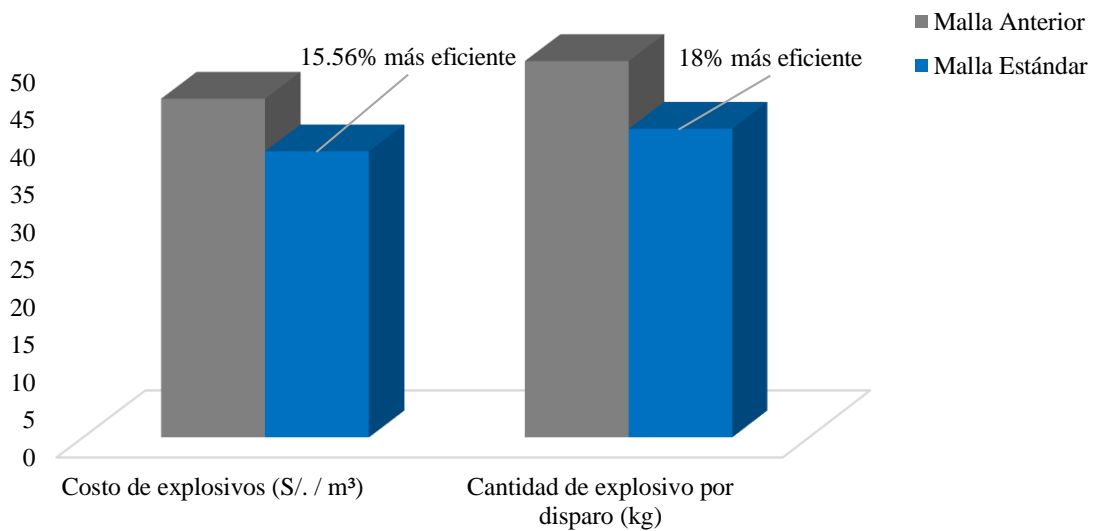
Eficiencia de Explosivos por m³ en términos de costos

Parámetro	Malla Anterior (S./ / m ³)	Malla Estándar (S./ / m ³)	Eficiencia de la Malla Estándar (%)
Costo de explosivos (S./ / m ³)	45	38	15,56% más eficiente
Cantidad de explosivo por disparo (kg)	50	41	18% más eficiente

Nota. Se evidencia una mejora significativa en la eficiencia operativa con el uso de la malla estándar. El costo de explosivos por metro cúbico se redujo de S/ 45,00 a S/ 38,00, representando una eficiencia del 15,56%. Asimismo, la cantidad de explosivo por disparo disminuyó de 50 kg a 41 kg, logrando una mejora del 18%.

Figura 2

Eficiencia de explosivos por m³ en términos de costos



Nota. la gráfica comparativa de eficiencia de explosivos por metro cúbico entre la malla anterior y la malla estándar resalta el enfoque del análisis en términos de costos y consumo por disparo logrando una mejora del 18%. Estos resultados indican una optimización tanto en el consumo de insumos como en los costos asociados, lo cual contribuye a una voladura más económica y eficiente.

Tabla 3

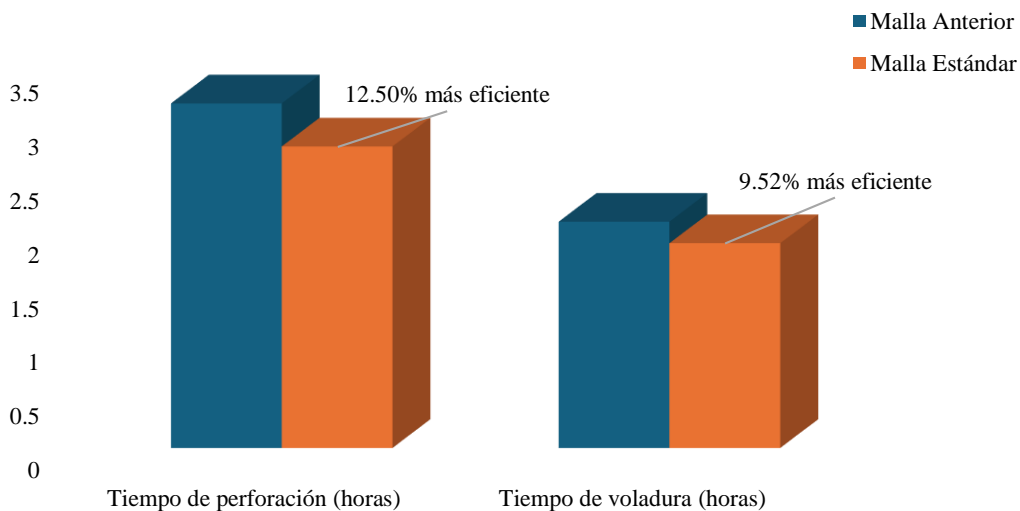
Eficiencia en rendimiento de Tiempo

Parámetro	Malla Anterior	Malla Estándar
Tiempo de perforación (horas)	3,2	2,8
Tiempo de voladura (horas)	2,1	1,9

Nota. El uso de la Malla Estándar permitió una mejora en los tiempos operativos del proceso. El tiempo de perforación se redujo de 3,2 a 2,8 horas, representando una mejora del 12,5%. Esta reducción se logró gracias a que la malla estándar optimizó la distribución y el espaciamiento entre taladros, lo cual permitió reducir la cantidad total de metros a perforar. Además, se emplearon mejores parámetros de perforación (como velocidad de penetración y presión de avance), lo que aumentó el ritmo de trabajo. Tiempo de voladura, se redujo de 2,1 a 1,9 horas, lo que representa una mejora del 9,52%. Esta mejora se consiguió mediante una mejor planificación de la secuencia de voladura, que redujo el tiempo de carga y conexión de los taladros. Además, el uso de una malla más uniforme facilitó el diseño de circuitos eléctricos y de iniciación más simples y rápidos de instalar.

Figura 3

Reducción del tiempo de perforación y voladura al implementar la malla estándar



Nota. La gráfica muestra la mejora en el rendimiento del tiempo con la implementación de la malla estándar. Se visualiza claramente la reducción en horas tanto en la perforación como en la voladura. Estas reducciones indican una mayor eficiencia en el rendimiento de las actividades, favoreciendo la productividad del proceso minero.

Tabla 4

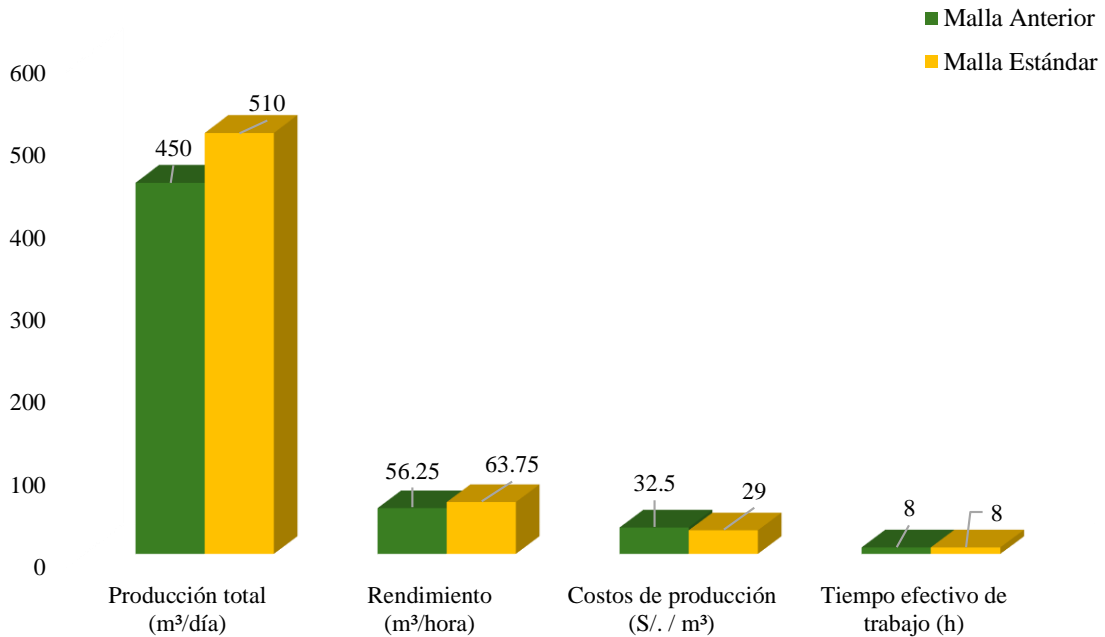
Eficiencia de Producción de Carguío y Acarreo

Parámetro	Malla Anterior	Malla Estándar	Eficiencia (%)
Producción total (m ³ /día)	450	510	13,33%
Rendimiento (m ³ /hora)	56,25	63,75	13,33%
Costos de producción (S/. / m ³)	32,5	29	10,77%
Tiempo efectivo de trabajo (horas)	8	8	0% (constante)

Nota. El aumento en la eficiencia de producción de carguío y acarreo se logró gracias a que la malla estándar generó una fragmentación del material más adecuada y uniforme, lo que facilitó el trabajo de las palas y redujo significativamente el tiempo de ciclo de carguío. Esta mejora permitió incrementar la producción diaria de 450 a 510 m³ y el rendimiento horario de 56,25 a 63,75 m³/h, ambos con una eficiencia del 13,33%. Asimismo, la reducción de rocas sobredimensionadas disminuyó los retrabajos y el desgaste de los equipos, contribuyendo a una disminución en los costos de producción por metro cúbico, que pasaron de S/ 32,50 a S/ 29,00 (10,77% menos). Todo ello se logró sin modificar el tiempo efectivo de trabajo, lo que evidencia un uso más eficiente de los recursos operativos y una mejor coordinación entre equipos.

Figura 4

Comparación de Eficiencia de Producción de Carguío y Acarreo entre malla anterior y malla estándar



Nota. La implementación de la malla estándar generó mejoras significativas en los indicadores de producción y costos. Cabe destacar que el tiempo efectivo de trabajo diario se mantuvo constante en 8 horas, lo que resalta que las mejoras fueron resultado de una mayor eficiencia operativa y no del aumento del tiempo de trabajo.

Tabla 5

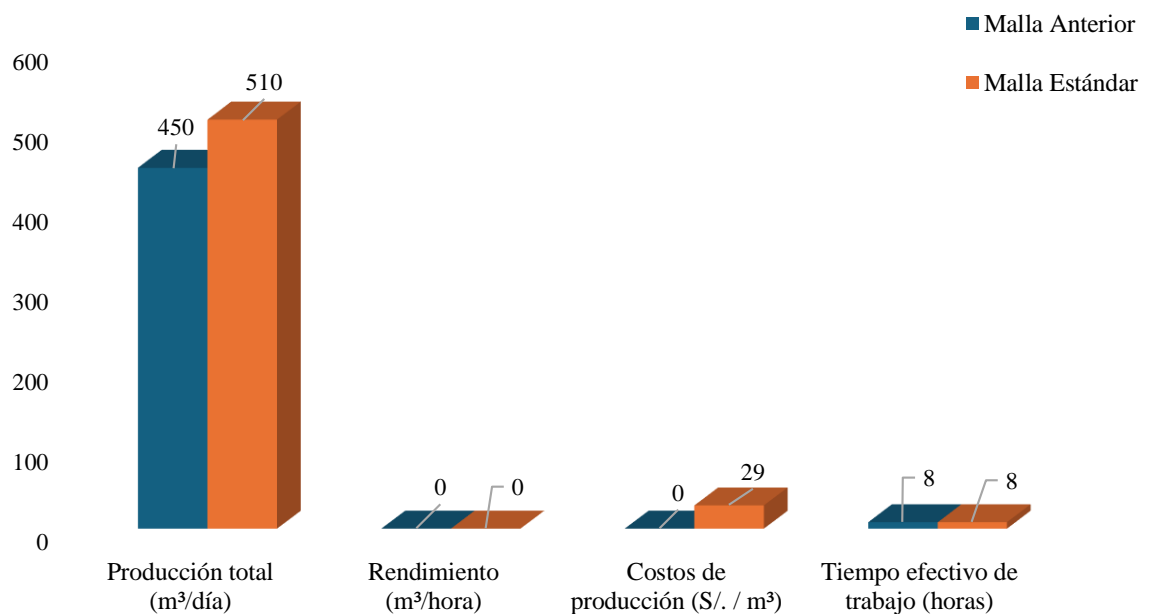
Eficiencia de la producción de perforación y voladura

Parámetro	Malla Anterior	Malla Estándar	Eficiencia Malla Estándar (%)
Producción total (m ³ /día)	450	510	13,33% más eficiente
Rendimiento (m ³ /hora)	56,25	63,75	13,33% más eficiente
Costos de producción (S/. / m ³)	32,5	29	10,77% más eficiente
Tiempo efectivo de trabajo (horas)	8	8	-

Nota. La mejora en la eficiencia de la producción de perforación y voladura con la malla estándar se debió principalmente a una optimización del diseño de la malla, lo cual permitió una mejor distribución de los taladros y una fragmentación más uniforme, está facilitó el avance continuo de las operaciones, incrementando la producción diaria de 450 a 510 m³ y el rendimiento horario de 56,25 a 63,75 m³/h, ambos con un 13,33% de eficiencia. Además, al requerirse menos correcciones posteriores como sobre perforaciones o uso de equipos auxiliares, se logró reducir el costo de producción por metro cúbico de S/ 32,50 a S/ 29,00, lo que representa una mejora del 10,77%. Todo esto se alcanzó manteniendo constante el tiempo efectivo de trabajo, lo que refleja un uso más productivo del turno diario mejorando el desempeño en los procesos.

Figura 5

Comparación de eficiencia en producción de perforación y voladura entre ambas mallas



Nota. Las barras muestran los valores de la Malla Anterior vs. Malla Estándar. En azul se anotan los porcentajes de eficiencia que indican cuánto más eficiente es la malla estándar en cada caso. El tiempo de trabajo se mantiene constante.

Tabla 6

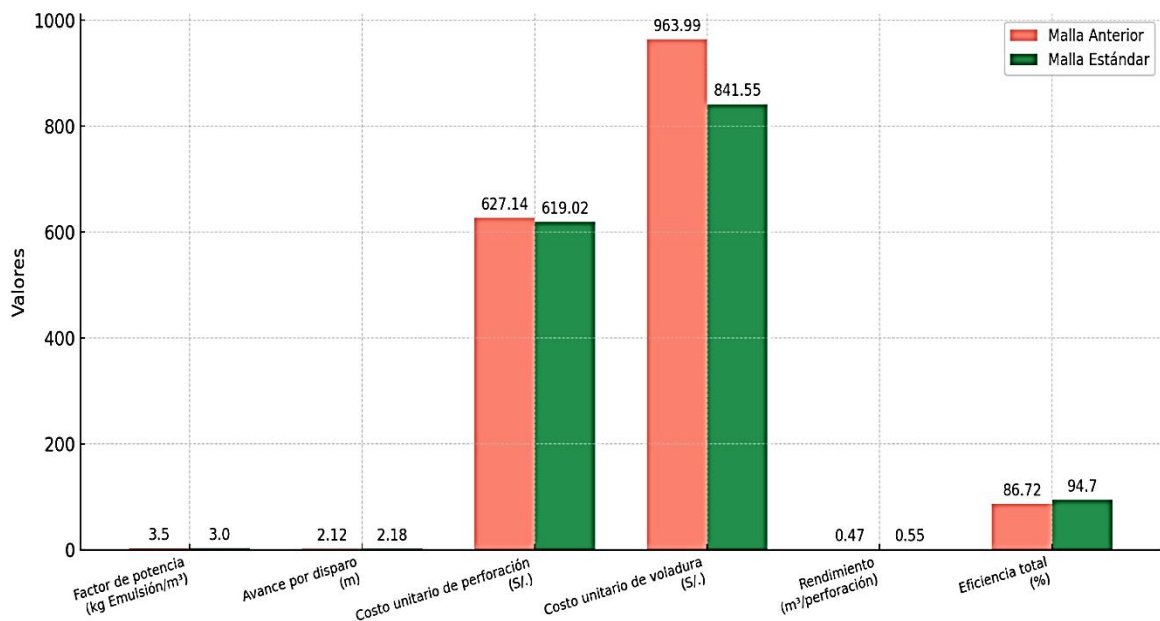
Determinación de la Eficiencia en base a los parámetros de las Mallas

Parámetro	Malla Anterior	Malla Estándar
Factor de potencia (kg Emulsión/m ³)	3,5	3
Avance por disparo (m)	2,12	2,18
Costo unitario de perforación (S/.)	627,14	619,02
Costo unitario de voladura (S/.)	963,99	841,55
Rendimiento (m ³ /perforación)	0,47	0,55
Eficiencia total (%)	86,72%	94,70%

Nota. El factor de potencia se redujo de 3,5 kg/m³ a 3 kg/m³, indicando un menor consumo de explosivo por volumen de roca. El avance por disparo mejoró de 2,12 m a 2,18 m, mientras que el rendimiento por perforación aumentó de 0,47 m³ a 0,55 m³. Además, tanto el costo unitario de perforación como el costo unitario de voladura disminuyeron, con reducciones notables de S/ 627,14 a S/ 619,02 y de S/ 963,99 a S/ 841,55, respectivamente.

Figura 6

Análisis de la determinación en la Eficiencia en base a los parámetros de las Mallas



Nota. Factor de potencia disminuye en la malla estándar, se usa menos emulsión por m³, lo cual es positivo, el avance por disparo y rendimiento aumentan debido a ello se perfora más y mejor por cada disparo. Finalmente, la eficiencia total se incrementó de 86,72% a 94,70%, consolidando a la malla estándar como una alternativa más eficiente y rentable.

3.2. Identificación de los componentes específicos de los gastos inherentes en el proceso de perforación y voladura en una mina a tajo abierto.

Tabla 7

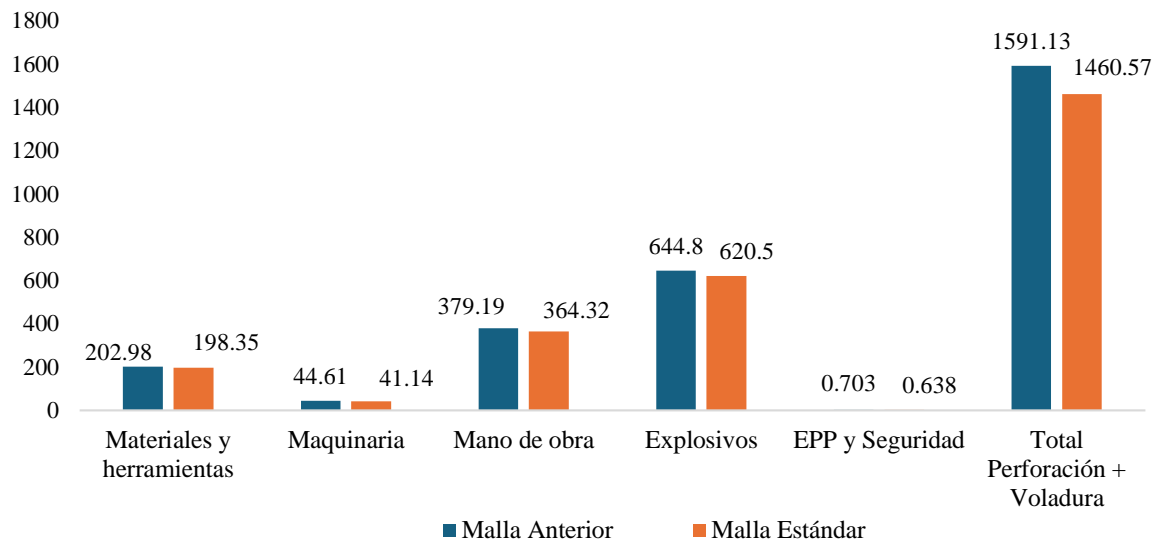
Componentes de los costos inherentes

Componentes	Costo Malla Anterior (S/.)	Costo Malla Estándar (S/.)	Diferencia (S/.)
Materiales y herramientas	202,98	198,35	4,63
Maquinaria	44,61	41,14	3,47
Mano de obra	379,19	364,32	14,87
Explosivos	644,8	620,5	24,3
EPP y Seguridad	0,703	0,638	0,065
Total, Perforación + Voladura	1591,13	1460,57	130,56

Nota. El análisis de los componentes del costo total de perforación y voladura muestra que la malla estándar representa una alternativa más económica. Se evidenció una reducción de S/ 130,56 en el costo total, pasando de S/ 1 591,13 con la malla anterior a S/ 1 460,57 con la malla estándar. Las mayores diferencias se registraron en los rubros de explosivos (S/ 24,30), mano de obra (S/ 14,87) y materiales y herramientas (S/ 4,63).

Figura 7

Comparación de los componentes de costos entre la malla anterior y la malla estándar



Nota. La gráfica muestra la disminución de costos en cada componente al aplicar la malla estándar.

3.3. Recomendaciones para la mejora continua de los procesos de perforación y voladuras basadas en el análisis de costos y su impacto en la producción minera.

Tabla 8

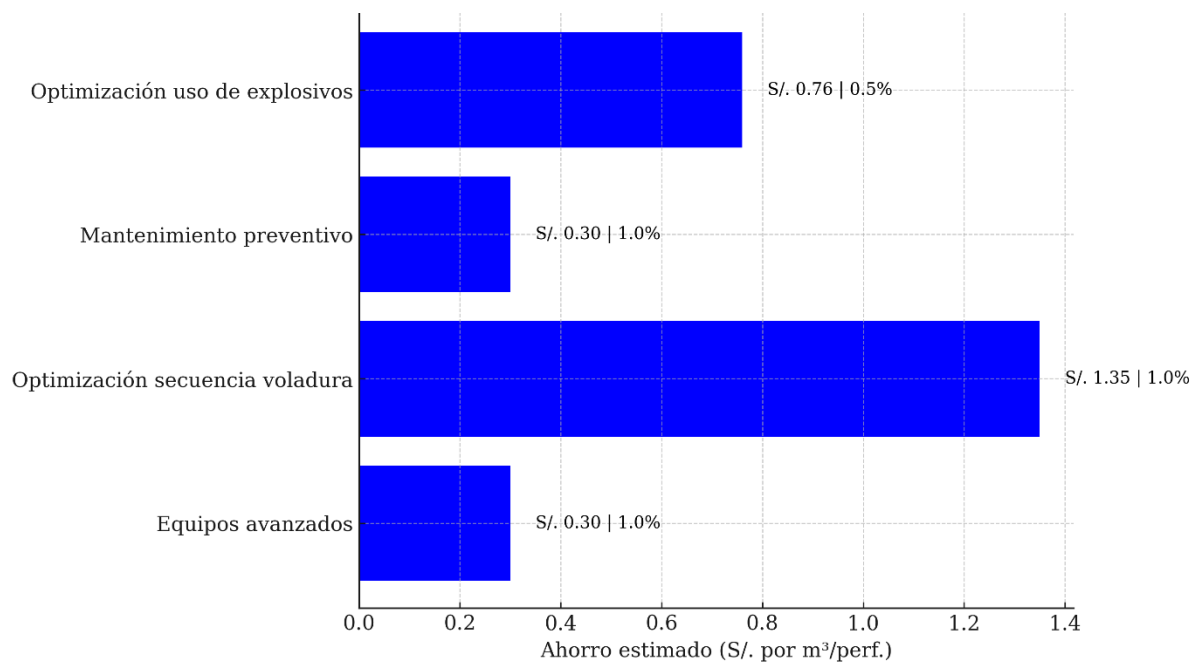
Aumento de la eficiencia en base a las propuestas

Propuestas	Costo antes (S/.)	Costo esperado (S/.)	Ahorro (S/.) por m ³ /perf.	Eficiencia Esperada (%)
Equipos avanzados	9,5 (m/ perf.)	9,2	0,3	1,0%
Capacitación del personal	50 (kg explosivos)	49	1 (kg)	0,5%
Optimización secuencia de voladura	45 (S/. /m ³)	43,65	1,35	1,0%
Mantenimiento preventivo	4,5 (m/ perf.)	4,2	0,3	1,0%
Optimización del uso de explosivos	38 (S/. /m ³)	37,24	0,76	0,5%

Nota. La incorporación de equipos avanzados y la aplicación de mantenimiento preventivo permitirían reducir los costos de perforación en S/ 0,30 por metro, alcanzando una eficiencia esperada del 1,0% en cada caso. La optimización de la secuencia de voladura lograría una disminución de S/ 1,35 por m³, con una eficiencia del 1,0%. A nivel de consumo, la capacitación del personal y la optimización en el uso de explosivos aportarían ahorros de 1 kg de explosivo (0,5% de eficiencia) y S/ 0,76 por m³ (también 0,5% de eficiencia), respectivamente.

Figura 8

Ahorro estimado por propuesta técnica en perforación y voladura



Nota. El gráfico muestra el ahorro económico estimado por m³/perforación al aplicar diversas estrategias técnicas, considerando su eficiencia esperada.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Los resultados alcanzados indican una clara optimización de costos en los procesos de perforación y voladura, en donde la comparación entre la malla anterior y la malla estándar muestra una mejora significativa en términos de costos operativos, eficiencia en el uso de explosivos y tiempo efectivo de trabajo. La malla estándar resultó un 7,89% más eficiente en costos de perforación y un 15,56% en el uso de explosivos por metro cúbico, lo cual se traduce en un ahorro de S/. 130,56 en los costos totales de perforación y voladura. Además, la producción total diaria aumentó un 13,33% al pasar de 450 m³/día a 510 m³/día, manteniendo un tiempo de trabajo de 8 horas. Esta eficiencia se refleja también en la reducción de costos unitarios por metro perforado y el incremento del rendimiento a 0,55 m³ por perforación. Las recomendaciones basadas en el análisis incluyen la adquisición de equipos avanzados, la capacitación del personal y el mantenimiento preventivo, lo que incrementaría la eficiencia total en un 4%. Por lo tanto, la optimización de estos procesos resulta clave con el fin de optimizar la producción y los beneficios de la operación minera.

En el estudio de Figueiredo et al. (2023), se realizaron diversas pruebas de voladuras optimizadas mediante análisis de imágenes 3D, logrando porcentajes de fragmentación entre el 56.4% y el 69.7% al medir el material que pasa por 150 mm. indicando que un diseño eficiente puede mejorar significativamente la calidad de la fragmentación y, en consecuencia, la productividad. En la presente investigación, se logró una eficiencia de hasta un 94.7% con la malla optimizada, lo cual subraya la importancia de un diseño adecuado en las operaciones de perforación y voladura. Aunque este estudio no abordó directamente la fragmentación, la optimización de costos, tiempos de trabajo,

y la reducción de costos unitarios de perforación y voladura son comparables con estas mejoras operativas.

En este estudio, gracias a la optimización en los costos de perforación y voladura, se tuvo un avance en la eficiencia de la producción en una mina a tajo abierto en un 7% en comparación con los métodos convencionales. Esto se alinea con los hallazgos de Nayak et al. (2020), quienes reportaron un aumento del 8% al 10% en la productividad al optimizar los parámetros de perforación y voladura en operaciones similares. Así mismo, al utilizar software O-Pitblast, redujo costos de voladura al optimizar el patrón de perforación y utilizar explosivos ANFO. En nuestra investigación, se tiene la reducción de costos en la malla estándar (\$8.75 por metro perforado y \$38 por m³ de explosivos), la cual es similar a los costos optimizados con ANFO en el estudio de Nayak.

Además, los resultados indican que la disponibilidad mecánica de los equipos de acarreo se mantuvo entre un 82% y un 86%, mientras que la utilización mecánica se situó en un rango del 75% al 84%. Estos valores se encuentran en línea con el estudio de Sabanov (2021), quienes notaron una mejora en la disponibilidad mecánica de hasta un 85% y una utilización cercana al 80% tras implementar técnicas avanzadas de mantenimiento predictivo, igualmente tuvieron en cuenta la velocidad de detonación (VOD) y el aprovechamiento de voladura, similar al uso eficiente de explosivos y ajuste de patrones de perforación de nuestra investigación.

Dotto y Pourrahimian (2024) discutieron la influencia de las propiedades de los explosivos y la formación rocosa. Este estudio dio a entender que la optimización del explosivo puede reducir las zonas fracturadas, generando un ahorro del 12% en costos operativos; similar al presente estudio, en donde se obtuvo solo un 10% de ahorro. La malla estándar, que reduce el uso de explosivos y ajusta los parámetros de perforación,

logró aumentar la eficiencia de los procesos de voladura, lo cual demuestra la importancia de optimizar la relación entre el tipo de roca, explosivos y patrones de perforación.

Finalmente, Zhang et al. (2024) mostraron que la reducción en la concentración de carga específica y el uso de explosivos frescos mejoraron en 9% la eficiencia en la voladura. Este resultado es consistente con los resultados obtenidos en la presente investigación, donde una planificación optimizada dio como resultado una mejora del 7% donde la optimización del patrón de perforación y la reducción de costos de explosivos permitieron aumentar la eficiencia de la malla estándar.

4.2. Implicancias

Las implicancias positivas de la investigación se centran en la optimización de los procesos de perforación y voladura, lo que permite una reducción de los costos operativos y un aumento en la productividad minera. Esto puede traducirse en una mayor rentabilidad y sostenibilidad a largo plazo para la empresa, además de promover un mejor uso de los recursos. Sin embargo, la implicancia negativa es que la implementación de nuevos métodos optimizados podría requerir una inversión inicial algo grande, que tendría que recuperarse con el tiempo, lo cual también se vería afectado si no se lleva a cabo un proceso de adaptación del personal a tiempo, es decir, se podría generar resistencia al cambio o incluso, una posible reducción de puestos de trabajo si empiezan a automatizarse más tareas.

A futuro, esta investigación servirá como una base para mejorar los procesos de perforación y voladura en una mina a tajo abierto, siendo una guía hacia prácticas más eficientes y sostenibles. Los resultados podrán ser utilizados para implementar estrategias de reducción de costos operativos, optimizar el uso de recursos y maximizar la producción. Además, proporcionará un marco de referencia para futuras evaluaciones e

implementaciones tecnológicas, ayudando a mantener la competitividad en un entorno minero en constante evolución y permitiendo una administración más eficiente de los recursos.

4.3. Limitaciones

Este estudio presentó algunas limitaciones que podrían haber afectado los resultados. Como la disponibilidad de tiempo y dinero, lo cual no solo dejó un plazo más corto para la investigación, sino que también limitó los recursos disponibles para realizar un análisis a más detalle de las pruebas de campo, por lo tanto, frente a este problema se estructuró el tiempo que se tenía de forma eficiente, planificando las horas de trabajo que se tendrían en campo. Igualmente, la precisión de algunos resultados en áreas como el tiempo real de trabajo y la evaluación de parámetros técnicos más complejos, no se pudieron realizar, lo cual se pudo reemplazar al optar por técnicas de recolección de datos más clásicas y simples, que, a pesar de no ser sofisticadas, consiguieron recopilar los datos de forma fiable. Por otro lado, el acceso a los datos no fue del todo completo, esto es entendible debido al acuerdo con la empresa, por lo tanto, adaptamos nuestros objetivos para que la información proporcionada pudiera ser aprovechada al máximo.

4.4. Recomendaciones

En primer lugar, se recomienda estandarizar el uso de la malla que mostró mejor desempeño operativo. Los datos analizados demostraron que la malla estándar permitió incrementar la producción diaria y el rendimiento por hora en un 13,33%, además de reducir los costos de producción en un 10,77%. Esto evidencia una optimización significativa del proceso, por lo que se sugiere adoptar esta configuración como base en los tajos actuales y considerar su aplicación en otras zonas operativas de características similares.

Asimismo, se recomienda reducir progresivamente el factor de potencia, que pasó de 3,5 a 3,0 kg de emulsión por metro cúbico en las pruebas realizadas. Esta disminución no afectó negativamente el resultado de la fragmentación, lo que representa un ahorro directo en el consumo de explosivos. Se sugiere evaluar la posibilidad de ajustar aún más este parámetro, especialmente en zonas con litología más blanda, manteniendo siempre el control de calidad del disparo.

También se recomienda revisar la gestión de materiales y herramientas, cuya reducción fue menor pero constante. A través de una política de compras optimizada, orientada a la adquisición de herramientas duraderas y de mejor desempeño, lo cual impactará positivamente en los costos a largo plazo. De igual manera, se debe establecer un sistema continuo de monitoreo y control de indicadores clave de desempeño (KPI), auditorías mensuales realizadas de manera conjunta entre las áreas de operaciones y costos pueden reforzar la mejora continua.

4.5. Conclusiones

Se optimizó los costos en perforación y voladura resultó en un incremento en la eficiencia de la producción, alcanzando un ahorro total de S/. 130,56 en los costos asociados y mejorando el rendimiento en un 13,33% con la malla estándar. Esta comparación entre la malla anterior y la malla optimizada mostró una reducción en el uso de explosivos y el tiempo de trabajo, manteniendo una eficiencia total del 94,7%. Los ajustes propuestos, como la instrucción del personal y la instauración de mantenimiento preventivo, contribuyen a una mejora continua, demostrando que las prácticas optimizadas pueden elevar la rentabilidad y sostenibilidad de la operación minera, cumpliendo así con el objetivo general del estudio.

Igualmente, la malla estándar logró una reducción del 7,89% en costos por metro perforado y un 15,56% en el uso de explosivos por metro cúbico, lo que incrementó la eficiencia del proceso. Además, se observó un aumento del 13,33% en la producción total diaria, manteniendo constante el tiempo de trabajo. Concluyendo así que adoptar procedimientos optimizados para maximizar la rentabilidad y eficiencia en las operaciones mineras tiene un impacto positivo.

Por otro lado, se identificaron los principales costos asociados con los procesos de perforación y voladura, incluyendo materiales y herramientas, maquinaria, mano de obra, explosivos, y equipos de protección personal (EPP). Comparando ambos métodos, se logró un ahorro total de S/. 130,56 al utilizar la malla estándar, donde los mayores ahorros provienen de la optimización del uso de explosivos (S/. 24,3) y la reducción en costos de mano de obra (S/. 14,87). Es así que se concluye que los componentes de mayor impacto económico son los explosivos y la mano de obra.

Finalmente se sugiere utilizar equipos avanzados la instrucción del personal y la instauración de mantenimiento preventivo para mantener la eficiencia lograda con la malla estándar. Además, optimizar la secuencia de voladura y mejorar el uso de explosivos podría incrementar aún más la eficiencia en un 4% adicional. Concluyendo así que estas medidas no solo reducirían costos operativos, sino que también asegurarían un manejo más equilibrado y eficaz de los recursos, aunque es necesario hacerlo con un plan que adopte estos cambios de forma gradual.

REFERENCIAS

- Alvites, S., & Genix, R. (2024). *Reducir El Porcentaje De Dilución, Mediante Voladura Controlada En Los Tajos De Produccion En La Mina Marsa-Retamas*. Alicia Concytec. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNIT_8e04d312e6c38e968608142787ca8aab
- Arnold, J. R. (2024). *Application of Measurement While Drilling Data for Mine Blast Optimization Utilizing Machine Learning Techniques with Iron Ore Mine Data*. VTechWorks. <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstreams/33b5a8fc-e8d3-452a-9bb3-a4000071a4ca/download>
- Brantson, E. T., Appiah, T. F., & Alhassan, I. (2024). *A comprehensive review of traditional, modern and advanced presplit drilling and blasting in the mining and construction industries*. Journal of Petroleum and Mining Engineering. https://jpme.journals.ekb.eg/article_346398_9dd0ae88b5176140e3f29339812f6ae6.pdf
- Chandrasah, N. S., & Choudhary, B. S. (2024). *AI-driven analysis of rock fragmentation: The influence of explosive charge quantity*. Acadlore Transactions. https://library.acadlore.com/ATG/2024/3/3/ATG_03.03_01.pdf
- Choudhary, B., Agrawal, A. (2022). *Minimization of Blast-Induced Hazards and Efficient Utilization of Blast Energy by Implementing a Novel Stemming Plug System for Eco-Friendly Blasting in Open Pit Mines*. *Nat Resour Res* 31, 3393–3410. <https://doi.org/10.1007/s11053-022-10126-8>
- Christensen, L. B., & Johnson, R. B. (2017). *Investigación educativa: enfoques cuantitativos, cualitativos y mixtos*. SAGE Publications.

Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. Sage Publications.

https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/fajlovi/Creswell.pdf

Dai, Y., Khandelwal, M., Qiu, Y. et al. (2022). *A hybrid metaheuristic approach using random forest and particle swarm optimization to study and evaluate backbreak in open-pit blasting*. *Neural Comput & Applic* 34, 6273–6288.

<https://doi.org/10.1007/s00521-021-06776-z>

Ding, X., Ao, Z., Zhou, W., Qin, H., Yang, Z., An, W., Li, X., Liu, H. (2023). *Geopolymer-based modification of blasting sealing materials and optimization of blasting block size in coal seams of open pit mines*. *International Journal of Mining Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2023.11.005>.

Fattahi, H., & Ghaedi, H. (2024). *Optimizing mining economics: predicting blasting costs in limestone mines using the RES-based method*. *International Journal of Mining and Geo-Engineering*.

https://ijmge.ut.ac.ir/article_95499_b3f5486261f88edbb15fd4bff64c8116.pdf

Fattahi, H., Ghaedi, H., & Armaghani, D. J. (2024). *Enhancing blasting efficiency: A smart predictive model for cost optimization and risk reduction*. *Resources Policy*.

<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105261>

Fattahi, H., Nejati, H. R., & Ghaedi, H. (2024). *Optimizing Tunnel Excavation: Intelligent Algorithms for Accurate Overbreak Prediction*. *Mining, Metallurgy & Exploration*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42461-024-01074-3>

Figueiredo, J., Torres, V., Cruz, R., & Moreira, D. (2023). *Blasting Fragmentation Study*

- Using 3D Image Analysis of a Hard Rock Mine. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/app13127090>
- Gonçalves, Í., & Frigo, E. (2024). *Towards AI-driven real-time deposit modeling: a case study in southern Brazil*. EGU General Assembly. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU24/EGU24-6515.html>
- Helko, V. (2024). *The comparison of rotary-percussion and rotary drilling methods at the Kuusilampi deposit*. Aalto University. <https://aaltodoc.aalto.fi/items/fab983f6-8b6f-436c-b24a-1fba76ca6b35>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6° ed.). McGraw-Hill. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez.%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Hmoud, S., Kumral, M. (2022). Effect of Blast Movement Uncertainty on Dig-Limits Optimization in Open-Pit Mines. *Nat Resour Res* 31, 163–178. <https://doi.org/10.1007/s11053-021-09998-z>
- Hoang Nguyen, H., Bui, X., Topal, E., (2023). *Enhancing predictions of blast-induced ground vibration in open-pit mines: Comparing swarm-based optimization algorithms to optimize self-organizing neural networks*. *International Journal of Coal Geology*. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2023.104294>.
- Hosseini, S., Mousavi, A., Monjezi, M., Khandelwal, M. (2022). *Mine-to-crusher policy: Planning of mine blasting patterns for environmentally friendly and optimum fragmentation using Monte Carlo simulation-based multi-objective grey wolf optimization approach*, *Resources Policy*,

<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103087>.

Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2002). *Fundamentos de la investigación del comportamiento*. Wadsworth. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.03.016>

Khademian, A. (2024). *Optimization of blasting patterns in Esfordi phosphate mine using hybrid analysis of data envelopment analysis and multi-criteria decision making*. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0952197624002197>

Kiani¹, M., Hosseini¹, S., Taji, M., Gholinejad¹, M. (2021). *Risk criteria classification and the evaluation of blasting operations in open pit mines by using the FDANP method*. <https://doi.org/10.33271/mining15.02.070>

Lagos, T., Armstrong, M., Homem-de-Mello, T. et al. (2022) *A framework for adaptive open-pit mining planning under geological uncertainty*. *Optim Eng* 23, 111–146 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11081-020-09557-0>

Leng, Z., Fan, Y., Gao, Q., Hu, Y. (2020) *Evaluation and optimization of blasting approaches to reducing oversize boulders and toes in open-pit mine*. *International Journal of Mining Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.03.010>

McKinsey & Company. (2020). *The future of mining: Four trends for tomorrow's mine*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights>

Ministerio de Energía y Minas del Perú. (2021). *Estadísticas de producción minera metálica - Valor bruto de la producción metálica (Cobre, Oro y Plata) - Años 2010-*

2021. https://www.minem.gob.pe/_estadistica.php?idSector=1&idEstadistica=13494

Morton, J. (2024). *New Tech Improves Blast Outcomes*. Engineering and Mining Journal. <https://www.rocktechnology.sandvik/globalassets/landing-page/rotary-drilling-content-hub/pdf/new-tech-improves-blast-outcomes-may-2024-emj.pdf>

Munagala, V., Thudumu, S., Logothetis, I., Bhandari, S., Vasa, R., Mouzakis, K. (2024). *A comprehensive survey on machine learning applications for drilling and blasting in surface mining, Machine Learning with Applications*. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2023.100517>.

Navarro, J., Seidl, T., Hartlieb, P. et al. (2021) *Blastability and Ore Grade Assessment from Drill Monitoring for Open Pit Applications*. *Rock Mech Rock Eng* 54, 3209–3228. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02354-2>

Nguyen, H., Bui, XN., Tran, QH. et al. (2021) *Predicting Blast-Induced Ground Vibration in Open-Pit Mines Using Different Nature-Inspired Optimization Algorithms and Deep Neural Network*. *Nat Resour Res* 30, 4695–4717. <https://doi.org/10.1007/s11053-021-09896-4>

Park, J., Kim, K. (2020). *Use of drilling performance to improve rock-breakage efficiencies: A part of mine-to-mill optimization studies in a hard-rock mine*. *International Journal of Mining Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.12.021>.

Reiss, P., Arm, P., & Bickel, V. T. (2024). *Technologies for prospecting, extraction, and utilization of space resources*. *Frontiers in Space Technologies*. 10.3389/frspt.2024.1493494

Rezaeineshat, A., Monjezi, M., Mehrdanesh, A. et al. (2020). *Optimization of blasting design in open pit limestone mines with the aim of reducing ground vibration using robust techniques. Geomech. Geophys. Geo-energ. Geo-resour.* 6, 40
<https://doi.org/10.1007/s40948-020-00164-y>

Rodríguez et al. (2021). *Determinación de la ley de atenuación de vibraciones en el suelo a partir de una única voladura: Un caso particular de voladura en zanjas. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13(5), 1182-1192.

Saadoun, A., Boukarm, R., Fredj, M., & Menacer, K. (2024). *Optimal Blast Design Considering the Effects of Geometric Blasting Parameters on Rock Fragmentation: A Case Study. ARPHA Proceedings.*
<https://ap.pensoft.net/article/32905/download/pdf/>

Sadeghi, F., Monjezi, M. & Jahed Armaghani, D. (2020). *Evaluation and Optimization of Prediction of Toe that Arises from Mine Blasting Operation Using Various Soft Computing Techniques. Nat Resour Res* 29, 887–903.
<https://doi.org/10.1007/s11053-019-09605-2>

Sapronova, A., & Marcher, T. (2024). *MWD data Analysis for Risk Assessment and Process Optimization in Tunneling. 9th World Congress on Engineering.*
<https://graz.elsevierpure.com/en/publications/mwd-data-analysis-for-risk-assessment-and-process-optimization-in>

Seidu, M., & Andrews, P. G. (2023). *Steepened Open Pit Slopes Can Be Stable: Case Studies of Gold Fields, Ghana. International Symposium on Ground Stability in Mining Operations.* https://papers.acg.uwa.edu.au/p/2335_38_Seidu/

Shcherbakov, P., Tymchenko, S., Bitimbayev, M., Sarybayev, N., Moldabayev, S.

- (2021). *Mathematical model to optimize drilling-and-blasting operations in the process of open-pit hard rock mining. Mining of Mineral Deposits.* http://mining.in.ua/articles/volume15_2/04.pdf
- Tao, M., Hong, Z., Zhao, H., Zhao, M., & Wang, D. (2024). *Intelligent prediction method for underbreak extent in underground tunnelling. International Journal of Rock Mechanics.* [Intelligent prediction method for underbreak extent in underground tunnelling - ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.ijrm.2024.105444)
- Toderas, M. (2021). *Optimization study of blasting operations in Roşia Poieni open pit mine, Romania. Mining of Mineral Deposits.* <https://doi.org/10.33271/mining15.04.043>
- Ugurlyu, O.F., Kumral, M. (2020). Management of Drilling Operations in Surface Mines Using Reliability Analysis and Discrete Event Simulation. *J Fail. Anal. and Preven.* 20, 1143–1154. <https://doi.org/10.1007/s11668-020-00921-x>
- Wang, Z.; Wu, G.; Zhou, L. (2022) *Optimization of Pre-Splitting Blasting Hole Network Parameters and Engineering Applications in Open Pit Mine. Appl. Sci.* 2022, 12, 4930. <https://doi.org/10.3390/app12104930>
- Xu, S., Chen, T., Liu, J., Zhang, C., & Chen, Z. (2021). Blasting Vibration Control Using an Improved Artificial Neural Network in the Ashele Copper Mine. *Shock and Vibration*, 2021, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2021/9949858>
- Zhang, Z. X., Sanchidrián, J. A., Ouchterlony, F., & Luukkanen, S. (2024). Reduction of Fragment Size from Mining to Mineral Processing: A Review. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 56(1), 747–778. <https://doi.org/10.1007/s00603-022-03068-3>

Zhao, L., Su, D., Li, Z., Chen, B., Wang, R., & Chen, R. (2024). *Research on Optimization of an Open-Bench Deep-Hole Blasting Parameter Using an Improved Gray Wolf Algorithm*. *Applied Sciences*. <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/8/3514/pdf>

ANEXOS

ANEXO N° 1. Matriz de Consistencia Interna y Matriz de Operacionalización de las Variables

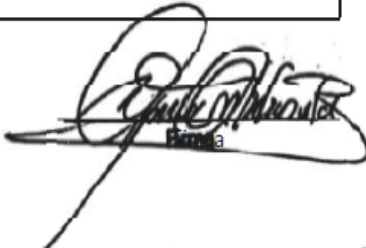
Formulación del Problema	Objetivos	Variables	Método
<p>Propósito:</p> <p>La ineficiencia en la gestión de estos procesos puede resultar en costos elevados, fragmentación inadecuada del material, tiempos de ciclo prolongados y mayores riesgos de seguridad. Estos problemas no solo afectan la rentabilidad de las operaciones mineras, sino que también pueden tener repercusiones ambientales y sociales negativas.</p> <p>Enunciado Interrogativo: ¿cómo influye la optimización de costos en perforación y voladura para elevar la producción en una mina a tajo abierto ubicada en Cajamarca 2024?</p>	<p>Objetivo Principal:</p> <p>Analizar cómo la optimización de los costos en las operaciones de perforación y voladura influye en el incremento de la producción en una mina a tajo abierto ubicada en Cajamarca, 2024.</p> <p>Objetivos Secundarios:</p> <p>Evaluar la eficiencia de los procedimientos actuales de perforación y voladura en términos de costos y producción.</p> <p>Identificar los componentes específicos de los gastos inherentes con las actividades de perforación y voladura en una mina a tajo abierto, Cajamarca.</p> <p>Realizar recomendaciones para la mejora continua de los procesos de perforación y voladura basadas en el análisis de costos y su impacto en la producción minera.</p>	<p>Variable 1:</p> <p>Costos de Perforación y Voladura:</p> <p>Costos directos de explosivos, materiales consumibles y equipos utilizados.</p> <p>Costos indirectos como mantenimiento de equipos, mano de obra indirecta</p> <p>Variable 2:</p> <p>Producción Minera</p> <p>Volumen de material extraído por período de tiempo.</p> <p>Productividad: relación entre el volumen de material extraído y los costos.</p>	<p>Diseño:</p> <p>Descriptivo, correlacional, cuantitativo, no experimental.</p> <p>Población:</p> <p>La población del estudio estuvo conformada por todas las operaciones de perforación y voladura realizadas en la mina a tajo abierto ubicada en Cajamarca, 2024. Asimismo, se obtuvo como muestra únicamente al tajo minero la Quinua de la unidad minera Cajamarca, 2024.</p> <p>Mediciones:</p> <p>La técnica es la observación directa, para evaluar in situ las labores de perforación y voladura para identificar ineficiencias y oportunidades de mejora. Además de la revisión documental.</p> <p>Y los instrumentos son Análisis de documentos y registros, es decir Recopilar datos históricos y actuales sobre costos operativos, tiempos de operación de perforación y voladura, consumo de materiales</p> <p>Procedimiento:</p> <p>Recopilar registros de costos de insumos como explosivos, mano de obra, equipos de perforación, mantenimiento de maquinaria, entre otros.</p> <p>Análisis de Datos</p> <p>identificando tendencias y patrones significativos en los costos para así interpretar el análisis y se llegaría a conclusiones sobre cómo un análisis detallado de costos puede contribuir efectivamente al incremento de la producción.</p>

ANEXO N° 2. Matriz de Operacionalización de las Variables


Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
Variable 1 Evaluación de carguío y acarreo en minería a cielo abierto	Costos asociados a todas las actividades de perforación y voladura, incluyendo materiales, equipos y mano de obra directa e indirecta.	Recopilación de datos financieros específicos de las actividades de perforación y voladura, incluyendo costos directos e indirectos, y análisis de estos datos para su optimización.	Costos directos de explosivos.	(\$/ton)	Razón
			materiales consumibles y equipos utilizados.	\$	Razón
			Costos indirectos como mantenimiento de equipos	\$	Razón
			mano de obra indirecta	\$	Razón
Variable 2 Costos en una empresa minera de Cajamarca	Volumen de material extraído y la eficiencia con la que se realiza esta extracción en términos de costos y tiempos.	Medición del volumen de material extraído en un período de tiempo determinado y análisis de la productividad relacionada con los costos incurridos en la extracción.	Volumen de material extraído por período de tiempo.	Tn/mes	Razón
			Productividad: relación entre el volumen de material extraído y los costos incurridos.	\$/Tn	Razón

ANEXO N° 3. Instrumentos y su validación


Validación de instrumento 1

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la investigación:	OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN EN MINERÍA SUPERFICIAL, CAJAMARCA 2024.			
Línea de investigación:	Desarrollo Sostenible y Gestión Empresarial			
El instrumento de medición pertenece a las variables:	Ficha de registro de costos de perforación y voladura			
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.				
Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	X		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	X		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		
Sugerencias:				
<p>Nombre completo: Rafael Napoleón Ocas Boñón DNI: 42811302 Profesión: Ing. Geólogo Grado: Doctor</p> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">  </div>				


Validación de instrumento 4

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la investigación:	OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN EN MINERÍA SUPERFICIAL, CAJAMARCA 2024.			
Línea de investigación:	Desarrollo Sostenible y Gestión Empresarial			
El instrumento de medición pertenece a las variables:	Ficha de registro de perforación y voladura			
<p>Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.</p>				
Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	X		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	X		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		
<p>Sugerencias:</p> <p>Ninguna</p>				
<p>Nombre completo: Erlita Vilchez Calla DNI: 40809173 Profesión: Ingeniero Minas Grado: Titulada</p> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">  ERLITA MARCELINA VILCHEZ CALLA <small>Ingeniero Ambiental - De Minas</small> Reg. CIP. N° 149426 </div>				


Validación de instrumento 5

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la investigación:	OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN EN MINERÍA SUPERFICIAL, CAJAMARCA 2024.			
Línea de investigación:	Desarrollo Sostenible y Gestión Empresarial			
El instrumento de medición pertenece a las variables:	Ficha de parámetros de perforación y voladura			
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.				
Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	X		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	X		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		
Sugerencias: Ninguna				
Nombre completo: Dalila Julca López DNI: 72175455 Profesión: Docente Grado: Ingeniero Minas				

Validación de instrumento 6

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la investigación:	OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN EN MINERÍA SUPERFICIAL CAJAMARCA, 2024			
Línea de investigación:	Desarrollo Sostenible y Gestión Empresarial			
El instrumento de medición pertenece a las variables:	Ficha de tiempos de ciclo de perforación y voladura			
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.				
Items	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	X		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	X		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		
Sugerencias: No sé presento ninguna observación				
Nombre completo: Daniel Alejandro Alva Huamán DNI: 43006890 Profesión: Ingeniero Geólogo Grado: Master		 <hr style="width: 100%;"/> Firma		

Validación de instrumento 7

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la investigación:	OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN EN MINERÍA SUPERFICIAL CAJAMARCA, 2024			
Línea de investigación:	Desarrollo Sostenible y Gestión Empresarial			
El instrumento de medición pertenece a las variables:	Ficha de monitoreos de producción de las operaciones de perforación y voladura			
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.				
Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	X		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	X		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		
Sugerencias:				
Nombre completo: Oscar Vásquez Mendoza DNI: 46795074 Profesión: Ingeniero Minas Grado: Maestro				 <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> Firma

ANEXO N° 8. Ecuaciones

Tabla 1. Cálculo de eficiencia en términos de costos por metro perforado

Costo total por metro perforado:

$$Eficiencia = \left(\frac{9.5 - 8.75}{9.5} \right) x 100 = 7.89\%$$

Costo de mantenimiento:

$$Eficiencia = \left(\frac{4.5 - 4.2}{4.5} \right) x 100 = 6.67\%$$

Costo de energía:

$$Eficiencia = \left(\frac{1.5 - 1.3}{1.5} \right) x 100 = 13.33\%$$

Tabla 2: Cálculo de eficiencia de explosivos por m³ en términos de costos

Costo de explosivos por m³:

$$Eficiencia = \left(\frac{45 - 38}{45} \right) x 100 = 15.56\%$$

Cantidad de explosivo por disparo:

$$Eficiencia = \left(\frac{50 - 41}{50} \right) x 100 = 18\%$$

Tabla 4 y 5: Eficiencia de producción de carguío, acarreo y producción de perforación y voladura.

Producción total (m³/día):

$$Eficiencia = \left(\frac{510 - 450}{450} \right) x 100 = 13.33\%$$

Costos de producción por m³:

$$Eficiencia = \left(\frac{32.5 - 29}{32.5} \right) x 100 = 10.77\%$$

1.1 ANEXO N° 9. Imágenes

Figura 1

Voladura de la zona



Figura 10

Maquinaria de Perforación

