UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS:

"OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE VOLADURA PARA LOGRAR UNA FRAGMENTACIÓN DE 12 PULGADAS Y AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DEL CARGUÍO Y ACARREO EN UNA MINA SUPERFICIAL"

PRESENTADO POR:

Bach. Mariana Alejandra Alarcón Cáceres

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERÚ

2025

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 054

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:
Resolución N° 016 - 2025 - CF - FACIA - UNAM

Fecha: 27 / 06 / 2025

III. El Jurado ha dictaminado la (el) TESIS, TITULADO:
" OPTIMIZACION DE LOS PARAMETROS DE VOLADURA PARA LOGRAR UNA FRAGMENTACION DE 12 PULGADAS Y AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DEL CARGUIO Y ACARREO EN UNA MINA SUPERFICIAL"

Bachiller: MARIANA ALEJANDRA ALARCÓN CÁCERES

Asesor Principal: Dr. JORGE LUIS TOMAS FLOREZ SALAS

Co-Asesor : .....

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: CATORCE (14) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 12:00 horas, del 30 de JUNIO del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
Dr. CHRIST JESUS BARRIGA PARIA
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
MSc. AGAPITO FLORES JUSTO
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
MGR. JUAN ELIAS ROJAS CONDORI
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
MARIANA ALEJANDRA ALARCÓN CÁCERES
(Nombres y Apellidos)

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Deyvy y Luis, este trabajo representa el fruto de su amor, esfuerzo constante y dedicación incansable. Gracias por ser mi mayor apoyo, por brindarme siempre su respaldo incondicional y por enseñarme el valor del compromiso, la disciplina y la constancia. Sin ustedes, este camino no habría sido posible. Han sido mi fuente de motivación y su fe en mí me ha impulsado a seguir avanzando, incluso en los momentos más duros. A mis adorados abuelos, José, Irma, Chepita y, en especial, a mi abuelo Oscar, quien hoy me acompaña desde otro plano. Fuiste minero de corazón y tu vida es un testimonio de coraje, trabajo duro y nobleza. Gracias por enseñarme, con tu ejemplo, a amar esta carrera y a valorar el esfuerzo que hay detrás de cada logro. Tu recuerdo vive en mí cada día, y esta tesis también es un homenaje a tu legado. Con inmenso cariño y gratitud, les dedico este logro.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de esta tesis. Me gustaría que empezar haciendo mención a mi Asesor de tesis, Mgr. Jorge Luis Tomás Florez Salas, quien, gracias a su orientación experta, paciencia y dedicación representó un rol determinante. Sus valiosas sugerencias y comentarios constructivos fueron fundamentales para dar forma y mejorar este trabajo. Así también agradezco a mi jurado dictaminador, Dr. Christ Jesús Barriga Paria, Msc. Agapito Flores Justo y Mgr. Juan Elías Rojas Condori, por dedicar parte de su valioso tiempo, experiencia y aportaciones que enriquecieron este proyecto. Sus perspectivas críticas y conocimientos especializados fueron esenciales para la perspectiva que se le dio a este proyecto.

RESUMEN

La implementación de mejoras en la fragmentación de voladura es clave para optimizar las etapas de carguío y acarreo en una mina superficial. Este proceso busca reducir el tamaño del material fragmentado de manera uniforme, lo que facilita el manejo del material volado en el carguío y permite maximizar la capacidad de las unidades de transporte. Al optimizar la fragmentación, se mejora la productividad en estas etapas al reducir el tiempo de ciclo, lo cual tiene un impacto directo en la eficiencia operativa y en la reducción de costos.

Para lograr estos beneficios, el proyecto estudia diversos factores que influyen en la fragmentación, como la cantidad de explosivo, el diseño de la malla de perforación, y la secuencia de detonación. Ajustar estos parámetros según las características del macizo rocoso permite alcanzar una fragmentación óptima y controlada que minimiza la generación de fragmentos demasiado grandes o muy finos. Este enfoque mejora el rendimiento del equipo de carguío y acarreo, reduce el desgaste en los equipos y ayuda a prevenir tiempos de inactividad por bloqueos o sobrecargas.

Los resultados obtenidos muestran que la mejora en la fragmentación tiene efectos positivos en toda la cadena de producción. Se reduce el consumo de combustible en las operaciones de acarreo, se disminuyen los costos de mantenimiento, y se incrementa la productividad general del proceso de extracción. Esta estrategia de optimización representa una solución eficiente y sostenible que no solo mejora el desempeño operativo, sino que también contribuye a la rentabilidad de la mina al optimizar los recursos y reducir los costos asociados a la manipulación del material.

Palabras claves: Fragmentación, Productividad y Optimización

ABSTRACT

Implementing improvements in blast fragmentation is essential for optimizing the loading and hauling stages in an open-pit mine. This process aims to reduce the size of fragmented material uniformly, facilitating the handling of blasted material during loading and maximizing the capacity of haul units. By optimizing fragmentation, productivity in these stages is enhanced by reducing cycle times, directly impacting operational efficiency and lowering costs.

To achieve these benefits, the project examines various factors that influence fragmentation, such as the amount of explosive, drilling pattern design, and detonation sequence. Adjusting these parameters according to rock mass characteristics enables optimal, controlled fragmentation, minimizing the creation of excessively large or fine fragments. This approach improves loading and hauling equipment performance, reduces equipment wear, and helps prevent downtime due to blockages or overloading.

The results demonstrate that enhanced fragmentation positively impacts the entire production chain. Fuel consumption in hauling operations is reduced, maintenance costs decrease, and overall extraction productivity increases. This optimization strategy provides an efficient and sustainable solution that not only improves operational performance but also contributes to mine profitability by optimizing resources and reducing material handling costs.

Keywords: Fragmentation, Productivity and Optimization.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 14

1.1. Descripción y formulación del problema 14

1.1.1. Descripción del problema 14

1.1.2. Formulación del problema de investigación 15

1.2. Objetivo 16

1.2.1. Objetivo general 16

1.2.2. Objetivos específicos 16

1.3. Justificación e importancia 16

1.3.1. Justificación teórica 16

1.3.2. Justificación práctica 17

1.3.3. Justificación metodológica 17

1.4. Hipótesis 18

1.4.1. Hipótesis general 18

1.4.2. Hipótesis específicas 18

1.5. Variables 19

1.5.1. Variables independientes 19

1.5.2. Variable dependiente 19

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 20

2.1. Antecedentes del problema 20

2.1.1. Antecedentes internacionales 20

2.1.2. Antecedentes nacionales 25

2.1.3. Antecedentes locales 31

2.2. Generalidades de la mina 33

2.2.1. Ubicación 33

2.2.2. Geología 35

2.2.3. Estratigrafía 35
2.3. Bases teóricas 54
2.3.1. Teoría de Ruptura de Ash y Konya 54
2.3.2. Teoría de Onda de Choque de Hino 55
2.3.3. Teoría de Fragmentación de Persson 55
2.3.4. Modelo de Ash y Golngember 55
2.3.5. Teoría de la Fragmentación de Rocas 56
2.3.6. Estrategias de Optimización en Voladura 56
2.3.7. Eficiencia Operativa en Carguío y Acarreo 57
2.3.8. Teoría de Control de Vibraciones en Voladura 57
2.3.9. Modelo Mine-to-Mill 57
2.4. Definición de términos 58
2.4.1. Voladura 58
2.4.2. Fragmentación de roca 58
2.4.3. Burden 58
2.4.4. Espaciamiento 58
2.4.5. Factor de potencia 59
2.4.6. Carguío 59
2.4.7. Acarreo 59
2.4.8. Chancado primario 59
2.4.9. Eficiencia operativa 59
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA 60
3.1. Tipo y nivel de investigación 60
3.1.1. Tipo de investigación 60
3.1.2. Nivel de investigación 60
3.1.3. Diseño de investigación 60
3.2. Población y muestra 61

3.2.1. Población 61
3.2.2. Muestra 61
3.3. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos 61
3.3.1. Técnicas para la recolección de datos 61
3.3.2. Instrumentos para la recolección de datos 61
3.4. Validación y confiabilidad de los instrumentos 63
3.5. Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos 63
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES 65
4.1. Descripción del proyecto 65
4.1.1. Malla de Perforación - Antes de la Implementación (Segundo Trimestre) 66
4.1.2. Malla de Perforación - Después de la Implementación (Tercer Trimestre) 67
4.1.3. Explicación Técnica de la Comparación del segundo y tercer trimestre 68
4.2. Análisis de Resultados 68
4.2.1. Análisis antes y después de la optimización 92
4.2.2. Resumen Global 94
4.3. Contrastación de Hipótesis 94
4.4. Discusión 96
CONCLUSIONES 100
RECOMENDACIONES 102
REFERENCIAS 104
ANEXOS 109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros del segundo trimestre 69

Tabla 2 Parámetros del tercer trimestre 70

Tabla 3 Parámetros abril 2023 71

Tabla 4 Parámetros mayo 2023 73

Tabla 5 Parámetros junio 2023 75

Tabla 6 Parámetros julio 2023 77

Tabla 7 Parámetros agosto 2023 79

Tabla 8 Parámetros septiembre 2023 81

Tabla 9 Validación del modelo experimental 92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación de Mina Cerro Verde – Arequipa 34

Figura 2 Producción por mes 82

Figura 3 Consumo de energía por mes 83

Figura 4 Fragmentación por mes 84

Figura 5 Factor de Potencia por mes 85

Figura 6 Costo de trituración por mes 86

Figura 7 Producción por trimestre 87

Figura 8 Consumo por trimestre 88

Figura 9 Fragmentación por trimestre 89

Figura 10 Factor de por trimestre 90

Figura 11 Costo por trimestre 91

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia.....109

Anexo 2 Costos.....110

Anexo 3 Operacionalización de variables.....111

INTRODUCCIÓN

La voladura constituye una de las actividades más críticas en el ciclo de producción minera, pues influye directamente en la eficiencia de las operaciones subsiguientes como el carguío, el acarreo y la trituración del mineral. En minas superficiales, donde los volúmenes de material removido son significativos, lograr una adecuada fragmentación es esencial para asegurar la continuidad operativa y minimizar los costos unitarios de extracción. En ese contexto, la presente investigación se enfoca en la optimización de los parámetros de voladura para alcanzar una fragmentación promedio de 12 pulgadas, alineada con las capacidades operativas de los equipos de carguío y acarreo.

Durante el segundo trimestre del año 2023, se identificaron deficiencias operativas asociadas a una fragmentación inadecuada del mineral volado. Esta situación ocasionó sobrecarga en los equipos de carguío, incremento en los tiempos de ciclo y mayor desgaste en componentes críticos de los camiones y cargadores frontales. Adicionalmente, el sobredimensionamiento del material derivó en un incremento de la voladura secundaria, afectando los tiempos de disponibilidad y generando retrasos en la programación de minado.

Con el propósito de revertir esta situación, en el tercer trimestre del 2023 se implementó un conjunto de mejoras en los parámetros técnicos de voladura. Entre los principales ajustes destacan la redefinición del espaciamiento y burden, la selección adecuada del tipo de explosivo, el diseño de la malla de perforación y la secuencia de detonación, orientados a reducir el tamaño del fragmento promedio a 12 pulgadas. Estos cambios fueron diseñados para optimizar la energía de la voladura, maximizar la eficiencia del proceso de fragmentación y facilitar el carguío mecánico.

La implementación técnica fue precedida por un diagnóstico integral del comportamiento del macizo rocoso, evaluando su resistencia a la compresión uniaxial, su

módulo de elasticidad y la velocidad de propagación de ondas sísmicas. Esta caracterización permitió establecer los criterios de diseño de voladura adaptados a las condiciones geomecánicas específicas de la mina, con lo cual se logró distribuir de manera más eficiente la energía del explosivo dentro del banco de carga.

Los resultados obtenidos en el tercer trimestre evidenciaron mejoras sustanciales en la productividad de los equipos de carguío y acarreo. La reducción del tamaño de fragmentación a 12 pulgadas permitió incrementar la tasa de llenado de las palas y disminuir los tiempos de carga. Asimismo, se observó una reducción significativa de los ciclos de acarreo, al eliminar los cuellos de botella generados por obstrucciones en tolvas y puntos de descarga debido a fragmentos sobredimensionados.

Este estudio adopta un enfoque comparativo, empleando como base los datos operacionales del segundo trimestre (previo a la mejora) frente a los del tercer trimestre (posterior a la optimización). A través de indicadores como toneladas cargadas por hora, tiempo promedio de ciclo y consumo de combustible, se determinó el impacto positivo de la estrategia implementada. Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis estadístico de varianza para validar la significancia de los cambios observados.

Finalmente, esta investigación no solo aporta evidencias empíricas sobre la relación entre parámetros de voladura y productividad minera, sino que también ofrece un modelo replicable para otras unidades mineras que enfrentan desafíos similares. La estandarización de diseños de voladura adaptados al objetivo de fragmentación óptima representa una herramienta clave para mejorar la eficiencia operativa, reducir los costos asociados y consolidar la sostenibilidad técnica de las operaciones a cielo abierto.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción y formulación del problema

1.1.1. Descripción del problema

En la minería a cielo abierto, la fragmentación del mineral es un aspecto crucial que influye directamente en la eficiencia de los procesos subsecuentes, como el carguío y acarreo. La voladura, utilizada para fragmentar el material, debe ser cuidadosamente controlada para obtener una fragmentación óptima que facilite la manipulación del mineral y reduzca los costos operativos. Sin embargo, una fragmentación inadecuada puede resultar en materiales demasiado gruesos o finos, lo que incrementa el desgaste de los equipos, disminuye la capacidad de carga y afecta negativamente el rendimiento en el transporte.

Uno de los principales desafíos radica en encontrar un balance entre la reducción de costos y la mejora de la productividad. Una fragmentación deficiente puede aumentar el consumo de combustible de los camiones de acarreo, hacer que se pierdan más materiales en el proceso de carga y sobrecargar los equipos de chancado, lo que genera una mayor demanda de mantenimiento. Además, el control ineficaz de los detonadores y parámetros de voladura puede generar costos adicionales por la necesidad de ajustes en el proceso de carguío, afectando la rentabilidad global de la operación minera.

Por otro lado, la implementación de tecnologías avanzadas como el monitoreo en tiempo real de los parámetros de voladura puede ofrecer soluciones para mejorar el control de la fragmentación y reducir estos problemas. A pesar de los avances, aún persisten desafíos en la integración de estas tecnologías debido a su costo inicial y la

necesidad de capacitación del personal. Es crucial desarrollar métodos de voladura más precisos y eficientes que permitan optimizar el proceso de fragmentación y, por ende, la productividad del carguío y acarreo, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y reducción de costos.

1.1.2. Formulación del problema de investigación

1.1.2.1. Interrogante general

¿Cómo la optimización de los parámetros de voladura para lograr una fragmentación promedio de 12 pulgadas contribuye a aumentar la productividad del carguío y acarreo en una mina superficial?

1.1.2.2. Interrogantes especificas

¿Qué ajustes en los parámetros de voladura, como burden, espaciamiento, diámetro y carga explosiva, son necesarios para alcanzar una fragmentación uniforme de 12 pulgadas?

¿Cómo influye una fragmentación promedio de 12 pulgadas en los tiempos de ciclo y el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo?

¿Qué beneficios operativos y económicos se generan al reducir atascos y mejorar el manejo de materiales durante el acarreo con una fragmentación de 12 pulgadas?

1.2. Objetivo

1.2.1. Objetivo general

Optimizar los parámetros de voladura para alcanzar una fragmentación promedio de 12 pulgadas, incrementando la productividad y eficiencia en las operaciones de carguío y acarreo en una mina superficial.

1.2.2. Objetivos específicos

Evaluar los parámetros de voladura, como burden, espaciamiento, diámetro y carga explosiva, para obtener una fragmentación uniforme de 12 pulgadas.

Analizar el efecto de la fragmentación de 12 pulgadas en los tiempos de ciclo y el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo.

Cuantificar los beneficios operativos y económicos generados por la reducción de atascos y el mejor manejo de materiales en el proceso de acarreo.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación teórica

La optimización de los parámetros de voladura en minería superficial se fundamenta en principios de ingeniería de explosivos y mecánica de rocas, los cuales buscan maximizar la eficiencia energética del explosivo para lograr una fragmentación deseada. Teóricamente, una fragmentación óptima de 12 pulgadas permite reducir el tamaño de los fragmentos de roca, lo que facilita su manipulación en las etapas posteriores de carguío y acarreo. Esto se logra mediante el ajuste de variables como el burden, espaciamiento, diámetro de perforación y tipo de explosivo, considerando las propiedades geomecánicas del macizo rocoso. Estudios previos demuestran que una fragmentación controlada no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también

minimiza los costos asociados con la energía consumida en la trituración secundaria y el desgaste de los equipos.

1.3.2. Justificación práctica

En la práctica, la implementación de parámetros de voladura optimizados en una mina superficial tiene un impacto directo en la productividad y los costos operativos. Al lograr una fragmentación de 12 pulgadas, se reduce el tiempo de carguío y acarreo, ya que los equipos como palas y camiones pueden operar de manera más eficiente con material de tamaño uniforme. Además, se disminuye la frecuencia de atascos en los equipos de trituración y se reduce el desgaste de los componentes, lo que se traduce en menores costos de mantenimiento. En el caso específico de la mina en estudio, esta optimización permitiría incrementar la producción diaria, mejorar la seguridad operativa y maximizar la rentabilidad del proyecto minero, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia energética.

1.3.3. Justificación metodológica

Esta investigación radica en la necesidad de evaluar de manera objetiva y cuantificable el impacto de la optimización de los parámetros de voladura sobre la productividad del carguío y acarreo en una operación minera superficial. Para ello, se adopta un enfoque cuantitativo con un diseño experimental de tipo longitudinal, que permite comparar el desempeño operativo antes y después de implementar mejoras en burden, espaciamiento, tipo de explosivo y secuencia de detonación. Esta elección metodológica se fundamenta en la capacidad de establecer relaciones causales entre variables, utilizando herramientas especializadas como el software Split-Online para el análisis de fragmentación y sistemas de gestión de flotas para el monitoreo del rendimiento. Asimismo, la aplicación de pruebas estadísticas como Wilcoxon refuerza

la validez de los resultados, permitiendo no solo contrastar hipótesis con base empírica, sino también generar un modelo replicable en otras operaciones mineras con condiciones similares.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La optimización de los parámetros de voladura para lograr una fragmentación promedio de 12 pulgadas mejora significativamente la productividad del carguío y acarreo en una mina superficial al reducir los tiempos de ciclo y los costos operativos.

1.4.2. Hipótesis específicas

La modificación de parámetros de voladura, como burden, espaciamiento, diámetro y carga explosiva, permite alcanzar una fragmentación uniforme de 12 pulgadas, mejorando la eficiencia del carguío y acarreo.

Una fragmentación promedio de 12 pulgadas reduce los atascos en los equipos de carguío, disminuyendo los tiempos de ciclo y aumentando el rendimiento operativo.

La implementación de una fragmentación de 12 pulgadas minimiza el desgaste de los equipos de acarreo y reduce los costos asociados al mantenimiento y consumo energético.

1.5. Variables

1.5.1. Variables independientes

Parámetros de voladura.

1.5.2. Variable dependiente

Productividad del carguío y acarreo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

Fuentealba (2021), en su tesis "Optimización en voladuras con detonadores electrónicos para mejorar la fragmentación en Minera Gabriela Mistral, Codelco Chile", fue realizado en 2021 en la Universidad de Antofagasta, sede Calama. El objetivo de la investigación fue optimizar la fragmentación del material mediante el uso de detonadores electrónicos, buscando mejorar los procesos de voladura en la Minera Gabriela Mistral de Codelco. La metodología empleó un enfoque cuantitativo con un diseño experimental, donde se evaluó el desempeño de las voladuras controladas con detonadores electrónicos en diversas áreas de la mina. La muestra incluyó varios frentes de trabajo en los que se analizaron parámetros clave, como el tamaño de la fragmentación resultante y la precisión de los tiempos de detonación. En el resumen, se menciona que el uso de detonadores electrónicos permitió obtener una fragmentación más uniforme, lo que facilitó un procesamiento más eficiente del material en la planta. Las conclusiones del trabajo indicaron que la implementación de esta tecnología contribuyó a mejorar la productividad general de la mina al reducir el tamaño de las partículas y optimizar los costos de procesamiento.

Fernández (2020), en la tesis "Impacto del cambio de diámetro de la perforación de socavación en División Andina, Codelco", en la Universidad de Chile, Santiago, se evaluó el impacto de modificar el diámetro de perforación en las operaciones de socavación de la División Andina de Codelco. El objetivo principal fue analizar cómo el cambio de diámetro influye en la eficiencia operativa, costos y calidad de la fragmentación de la roca. La investigación siguió un enfoque cuantitativo con un diseño

experimental, aplicando diferentes diámetros en áreas seleccionadas de la mina. Los resultados demostraron que el uso de diámetros más grandes permitió una mejora en la fragmentación, reducción en el uso de explosivos y optimización de los tiempos de perforación, lo que derivó en una disminución de los costos operativos. Las conclusiones subrayan que ajustar el diámetro de perforación puede mejorar la productividad general y reducir el impacto ambiental de las operaciones mineras.

Cortés (2018), en la tesis "Análisis de la implementación del control computarizado en la perforación para desarrollos horizontales", en la Universidad de Chile, Santiago, se evaluó el impacto de incorporar control computarizado en las operaciones de perforación para desarrollos horizontales en minería subterránea. El objetivo fue determinar cómo esta tecnología mejora la precisión, eficiencia y seguridad de las perforaciones. El estudio empleó una metodología cuantitativa con un diseño experimental, utilizando una muestra de desarrollos horizontales en diversas secciones de la mina. Los resultados mostraron que la implementación del control computarizado optimizó la precisión en la perforación, redujo los tiempos de operación y mejoró la eficiencia en el uso de los equipos, generando además un incremento en la seguridad de las operaciones. Las conclusiones resaltan que la automatización y el control digital en la perforación son esenciales para incrementar la productividad y minimizar errores humanos en el contexto minero moderno.

Dimas (2023), en su tesis "Diseño de Tronaduras y su Impacto en el Costo Mina de Compañía Minera Cerro Negro" fue realizada por Pablo Dimas Zúñiga Torres en 2023 en la Universidad de Chile, ubicada en Santiago. El objetivo del estudio fue evaluar cómo el diseño de tronaduras influye en los costos operativos de la mina en la Compañía Minera Cerro Negro. La metodología utilizada fue cuantitativa, aplicando un diseño descriptivo-experimental que incluyó el análisis de datos de tronaduras

previas y su relación con los costos asociados. La muestra abarcó varias voladuras realizadas en un período determinado. Los resultados indicaron que un diseño adecuado de tronaduras puede reducir significativamente los costos de extracción y mejorar la eficiencia operativa. Las conclusiones enfatizan la necesidad de implementar prácticas de diseño de tronaduras más efectivas para optimizar los costos en la minería.

López (2021), en la tesis "Optimización de la Gestión de Inventarios en Minas Superficiales mediante Técnicas de Simulación" Estudio de Caso en España, en la Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Esta tesis busca mejorar la gestión de inventarios en minas superficiales a través de la aplicación de técnicas de simulación. La metodología utilizada integra análisis cuantitativos y el modelado de simulaciones para evaluar diversas estrategias de manejo de inventarios. El estudio tiene un diseño descriptivo-exploratorio y examina varias minas superficiales en España. El resumen revela que la implementación de técnicas de simulación facilitó una optimización en la gestión de inventarios, reduciendo de manera notable los tiempos de inactividad y mejorando la sincronización entre las fases de extracción y procesamiento. Las conclusiones subrayan que estas técnicas de simulación promovieron una mayor eficiencia operativa, disminuyeron los costos relacionados con el manejo de inventarios y aumentaron la productividad general de las operaciones mineras.

García (2020), en la tesis "Implementación de Sistemas de Monitoreo en Tiempo Real para Optimizar los Stocks Dinámicos en Operaciones Mineras", en la Universidad Complutense de Madrid, Madrid. Esta tesis se enfoca en la mejora de la gestión de stocks dinámicos en operaciones mineras mediante la adopción de sistemas de monitoreo en tiempo real. La metodología utilizada abarca análisis tanto cuantitativos como cualitativos, incorporando tecnologías avanzadas de monitoreo y métodos de análisis de datos. El diseño de la investigación es descriptivo-exploratorio

y examina varias minas activas en España. El resumen revela que la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real facilitó una gestión más efectiva de los stocks, mejorando el flujo de materiales y reduciendo el tiempo de respuesta ante cambios en el suministro. Las conclusiones destacan que estos sistemas avanzados lograron una mejora significativa en la eficiencia operativa, una reducción de los costos asociados con el manejo de materiales y un aumento en la rentabilidad y sostenibilidad de las operaciones mineras.

Martínez (2022), en la tesis "Optimización de Procesos en Minas A Cielo Abierto mediante el Análisis Predictivo", autor: Dr. Francisco Martínez, 2022, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Esta tesis se enfoca en la mejora de los procesos en minas a cielo abierto mediante la aplicación de análisis predictivo. La metodología utilizada abarca tanto análisis cuantitativos como modelado predictivo para evaluar y anticipar el desempeño de los procesos mineros. El estudio tiene un diseño descriptivo-exploratorio y examina varias minas a cielo abierto en España. El resumen señala que el uso de técnicas de análisis predictivo resultó en una notable optimización de los procesos, reduciendo los tiempos de inactividad y aumentando la eficiencia operativa. Las conclusiones destacan que el análisis predictivo facilitó una planificación y gestión más efectiva de las operaciones mineras, disminuyendo costos y mejorando la productividad general.

Quiroga (2020), En la tesis "Análisis de la perforación y tronadura en El Soldado", realizada por Marco Aurelio Quiroga Acuña en la Universidad de Chile, Santiago, se analiza el desempeño de las operaciones de perforación y tronadura en la mina El Soldado. El estudio, de enfoque cuantitativo y diseño descriptivo, tuvo como objetivo optimizar los procesos de perforación y tronadura para mejorar la fragmentación de la roca y reducir los costos operativos. La investigación se basó en

una muestra representativa de los frentes de trabajo de la mina, donde se aplicaron técnicas de análisis de datos y simulaciones. Los resultados indicaron mejoras significativas en la eficiencia operativa, una reducción en los costos de explosivos y un mayor control de las vibraciones. Las conclusiones resaltan la importancia de optimizar estos procesos para incrementar la productividad y la seguridad en la mina, además de mejorar la sostenibilidad de las operaciones mineras.

Torres (2023), en su tesis "Impacto de las vibraciones de voladuras en la estabilidad de taludes en minas de roca dura. Universidad Politécnica de Madrid" Objetivo: Estudiar el impacto de las vibraciones producidas por voladuras en la estabilidad de taludes en minas de roca dura. Metodología: Análisis de estabilidad de taludes mediante modelos numéricos y medición de vibraciones durante las voladuras. Diseño: Estudio de caso en minas de roca dura con monitoreo en tiempo real de las vibraciones y análisis post-voladura. Muestra: Datos de vibración y estabilidad de taludes en cuatro minas durante un año. Resumen: Se investigaron los efectos de las vibraciones de voladuras en la estabilidad de los taludes y se desarrollaron recomendaciones para mitigar el riesgo de deslizamientos. Conclusiones: Un control adecuado de las vibraciones durante las voladuras es crucial para mantener la estabilidad de los taludes y prevenir deslizamientos peligrosos. El antecedente citado aporta a la presente investigación a reconocer el impacto de las vibraciones en las fallas activas producto de las voladuras.

Valencia (2023), Metodologías para la reducción de vibraciones en voladuras en minería de superficie. Universidad de Sevilla. Objetivo: Desarrollar y evaluar métodos para reducir las vibraciones en voladuras en minas de superficie. Metodología: Implementación de técnicas alternativas de voladura, medición de vibraciones y análisis de impacto ambiental. Diseño: Investigación aplicada con pruebas en un entorno

controlado y análisis comparativo de metodologías. Muestra: Datos de vibración de 10 voladuras utilizando diferentes técnicas y análisis de impacto en áreas adyacentes. Resumen: Se probaron varias metodologías para reducir las vibraciones durante las voladuras, con un enfoque en minimizar los efectos negativos en el entorno. Conclusiones: La adopción de metodologías específicas puede reducir significativamente las vibraciones y mejorar el impacto ambiental de las operaciones mineras. El antecedente citado aporta a la presente investigación a reconocer el impacto de las vibraciones en las fallas activas producto de las voladuras.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Guadalupe (2023), en su tesis "Rediseño en las filas de procedimiento de la malla de perforación para optimizar la operación de voladura en una mina superficial". Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Esta investigación, en la Universidad Nacional de Cajamarca, tiene como objetivo optimizar la operación de voladura en una mina superficial mediante el rediseño de la malla de perforación, específicamente ajustando las filas del procedimiento para mejorar la eficiencia en la fragmentación del material. La metodología empleada fue cuantitativa y el diseño de estudio fue no experimental de tipo descriptivo. La muestra consistió en diversas zonas de perforación dentro de la mina seleccionada. En su análisis, el autor detalla cómo el ajuste en la configuración de la malla permite una reducción en el consumo de explosivos y un control mejorado de la fragmentación, concluyendo que el rediseño contribuye a una operación de voladura más eficiente y económica, con un impacto positivo en la continuidad de la producción y en la reducción de costos.

León & Vigil (2021), en su tesis "Reducción de costos operativos en los tipos de materiales aplicando el método Air Deck Pre-Splitting en voladura controlada en

una mina superficial Hualgayoc 2020". Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Esta tesis de 2021, en la Universidad Nacional de Cajamarca, tiene como objetivo reducir los costos operativos en voladura controlada mediante la implementación del método Air Deck Pre-Splitting en una mina superficial ubicada en Hualgayoc. La investigación se realizó bajo una metodología cuantitativa con un diseño no experimental de tipo aplicado, enfocándose en la evaluación de diferentes materiales y técnicas de voladura en la mina seleccionada. A través de una muestra de zonas con variadas características geológicas, se demostró que la aplicación del método Air Deck Pre-Splitting permite un uso más eficiente de los explosivos y optimiza el control sobre la fragmentación del material, lo que en última instancia genera una reducción en los costos operativos y mejora la productividad. Concluyen que el método es viable y efectivo para reducir costos sin comprometer la seguridad y efectividad de la operación minera.

Berrospi (2019), en la tesis titulada "Optimización de la perforación y voladura para mejorar la zona de profundización en la mina Andaychagua de la Cía. minera Volcan SAA", en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, se buscó optimizar los procesos de perforación y voladura para mejorar la eficiencia en la zona de profundización de la mina. Con un enfoque metodológico cuantitativo y un diseño experimental, la investigación evaluó distintas configuraciones operativas. La muestra se centró en varias secciones de la mina Andaychagua, donde se implementaron las mejoras propuestas. Los resultados mostraron un incremento en la eficiencia de la fragmentación de roca, reducción de costos operativos y un mejor control de las vibraciones. Las conclusiones subrayan que la optimización de estos procesos no solo impacta positivamente en la productividad, sino que también contribuye a una operación minera más segura y sostenible.

Vargas & Lozano (2021), en la tesis "Evaluación del Sistema de Iniciación Pirotécnica y Electrónica en el Banco 3240 para la Optimización de Costos por Voladura en una Empresa Minera a Tajo Abierto en Cajamarca, en una universidad ubicada en Cajamarca. Su objetivo fue comparar los sistemas de iniciación pirotécnica y electrónica para determinar cuál ofrece mejores resultados en la optimización de costos por voladura en el banco 3240 de una mina a cielo abierto en la región. La metodología consistió en un análisis comparativo mediante la evaluación de voladuras en campo utilizando ambos tipos de iniciación, implementando un diseño cuasi- experimental que permitió medir los costos y la eficiencia de la fragmentación obtenida en cada caso. La muestra estuvo conformada por las operaciones de voladura en el banco 3240, donde se realizaron pruebas con ambos sistemas de iniciación. En resumen, los resultados muestran que el sistema de iniciación electrónica permite una mayor precisión en los tiempos de detonación, lo que se traduce en una fragmentación más uniforme y en una reducción significativa de los costos operativos en comparación con el sistema pirotécnico.

Huerta (2020), presentó su tesis en la Universidad Continental, en Huancayo, Perú, titulada "Análisis comparativo de la eficiencia de la triple iniciación electrónica en voladura versus la iniciación electrónica simple y doble en la explotación de un yacimiento cuprífero a cielo abierto". El objetivo fue evaluar y comparar la eficiencia de la triple iniciación electrónica en voladuras frente a los sistemas de iniciación simple y doble, en términos de fragmentación, vibraciones y eficiencia operativa en un yacimiento cuprífero a cielo abierto. La metodología incluyó un estudio experimental con voladuras realizadas bajo los tres sistemas, analizando parámetros como la granulometría del material, desplazamiento y vibraciones generadas. El diseño consistió en pruebas controladas en diversas áreas del yacimiento, con una muestra

representativa de voladuras. El resumen destacó que la triple iniciación electrónica permitió una mejor fragmentación del material y un mayor control de las vibraciones, en comparación con las iniciaciones simple y doble. Las conclusiones indicaron que la triple iniciación resultó ser más eficiente, reduciendo los costos operativos y mejorando la seguridad en el proceso de voladura.

Rodríguez (2020), en su tesis "Implementación de Sistemas de Monitoreo en Tiempo Real para la Gestión de Stocks Dinámicos en Minas de Arequipa", en la Universidad Católica de Santa María, Arequipa. Esta tesis tiene como objetivo optimizar la gestión de stocks dinámicos en minas de Arequipa a través de la incorporación de sistemas de monitoreo en tiempo real. La investigación utiliza una metodología mixta que combina análisis cuantitativos y cualitativos, empleando tecnologías de monitoreo en tiempo real y técnicas de análisis de datos. El diseño de estudio es descriptivo-exploratorio y abarca varias minas en funcionamiento en Arequipa. El resumen indica que la adopción de sistemas avanzados de monitoreo permitió una gestión más eficiente y precisa de los stocks, reduciendo el tiempo de reacción ante cambios en el flujo de materiales y mejorando la coordinación entre las fases de extracción y trituración. Las conclusiones revelan que la implementación de monitoreo en tiempo real resultó en mejoras significativas en la eficiencia operativa, reducción de costos de manejo de materiales, y un aumento en la rentabilidad y sostenibilidad de las operaciones mineras.

Morales (2023), en su tesis "Impacto de la Optimización de Stocks Dinámicos en la Seguridad y Rentabilidad de Operaciones Mineras en Arequipa", en la Universidad Católica de Santa María, Arequipa. El propósito de esta tesis es examinar cómo la optimización de los stocks dinámicos influye en la seguridad y rentabilidad de las operaciones mineras en Arequipa. La investigación utiliza un enfoque mixto que

integra análisis cuantitativos y cualitativos, aplicando herramientas de gestión y control de stocks dinámicos. El diseño del estudio es descriptivo-exploratorio, y se centra en varias operaciones mineras de la región. El resumen revela que la optimización de los stocks dinámicos tuvo un impacto notable en la seguridad operativa al disminuir los riesgos relacionados con el manejo de materiales y mejorar la eficiencia en general. Las conclusiones subrayan que esta optimización no solo incrementó la rentabilidad al reducir los costos operativos, sino que también propició un entorno de trabajo más seguro, elevando la sostenibilidad y el rendimiento global de las operaciones mineras.

Pérez (2023), en la tesis "Aplicación del modelo matemático de Pearse en el diseño de malla de perforación y voladura en la Unidad Minera San Cristóbal - Volcan Compañía Minera S.A.A", en la Universidad Nacional del Centro del Perú, se busca optimizar el diseño de la malla de perforación y voladura utilizando el modelo matemático de Pearse en la mina San Cristóbal. El estudio emplea una metodología cuantitativa con un diseño experimental, en el que se evalúan diversas configuraciones de mallas de perforación basadas en dicho modelo. La muestra incluyó sectores específicos de la mina donde se aplicaron los ajustes propuestos. Los resultados reflejaron una mejora en la fragmentación de roca, reducción de costos operativos y un control más eficiente de las vibraciones. Las conclusiones señalan que el uso del modelo de Pearse permite optimizar las operaciones de perforación y voladura, incrementando la productividad y mejorando la eficiencia en las actividades mineras.

Gómez (2021), en su tesis “Investigación sobre las vibraciones generadas por voladuras en minas subterráneas. Universidad de los Andes” Objetivo: Analizar el impacto de las vibraciones causadas por voladuras en minas subterráneas y desarrollar estrategias para reducir estos efectos. Metodología: Monitorización de vibraciones durante las voladuras, análisis de datos sísmicos y simulaciones por computadora.

Diseño: Estudio longitudinal realizado en varias minas subterráneas, con mediciones antes, durante y después de las voladuras. Muestra: Datos sísmicos y de vibración recopilados en tres minas subterráneas a lo largo de un período de 12 meses. Resumen: Se examinaron las vibraciones producidas por diferentes técnicas de voladura y sus efectos en la estructura de la mina y el entorno circundante. Conclusiones: Las técnicas de voladura controlada pueden disminuir notablemente las vibraciones, mejorando la seguridad estructural y reduciendo el impacto ambiental. El antecedente citado aporta a la presente investigación a reconocer el impacto de las vibraciones en las fallas activas producto de las voladuras.

Mendoza (2022), en su tesis "Análisis y control de vibraciones en voladuras de rocas en minas a cielo abierto" en la Universidad Nacional de Ingeniería. Objetivo: Estudiar los efectos de las vibraciones generadas por voladuras en minas a cielo abierto y proponer métodos para controlarlas. Metodología: Medición de vibraciones, análisis de la frecuencia y amplitud de ondas sísmicas, y modelado de impacto. Diseño: Investigación experimental con pruebas en diferentes puntos de una mina a cielo abierto y análisis comparativo de técnicas de voladura. Muestra: Datos de vibración de seis voladuras en una mina a cielo abierto y encuestas al personal sobre los efectos percibidos. Resumen: Se evaluaron diversos métodos de voladura para controlar y reducir las vibraciones, analizando sus efectos en la estabilidad de las estructuras cercanas y en la productividad de la mina. Conclusiones: La implementación de métodos de voladura optimizados puede minimizar las vibraciones, mejorando tanto la seguridad como la eficiencia operativa. El antecedente citado aporta a la presente investigación a reconocer el impacto de las vibraciones en las fallas activas producto de las voladuras.

2.1.3. Antecedentes locales

Córdova (2021), en su tesis titulado "Efectividad de la iniciación electrónica en zona de interacción con equipos autónomos empleando el sistema Daveytronic Evolution Pack 48, mina Quellaveco - Moquegua", fue desarrollado en la Universidad Nacional de Moquegua. El objetivo de la investigación fue evaluar la eficiencia del sistema de detonación electrónica en áreas donde operan equipos autónomos en la mina Quellaveco, con la finalidad de mejorar la seguridad y optimizar los procesos de voladura. La metodología empleada consistió en un enfoque cuantitativo con un diseño experimental, donde se realizaron mediciones de parámetros clave de voladuras controladas utilizando el sistema Daveytronic. La muestra incluyó varias zonas de trabajo dentro de la mina, analizando variables como la precisión en la sincronización de los tiempos de detonación y su impacto en la seguridad y eficiencia de los equipos autónomos. En el resumen, se destaca que la aplicación de esta tecnología permitió reducir significativamente las vibraciones no deseadas y mejorar la seguridad operativa en entornos de interacción con equipos autónomos. Las conclusiones señalan que el uso del sistema Daveytronic Evolution Pack 48 no solo optimizó los resultados en las voladuras, sino que también mejoró la integración de las operaciones autónomas, promoviendo un entorno más seguro y eficiente.

Flores (2022), en si tesis titulada "Optimización de la fragmentación resultante para el mineral relacionado a la exactitud y precisión del iniciador electrónico con las propiedades geomecánicas en mina Cuajone", fue desarrollado en la Universidad Nacional de Moquegua. El estudio tuvo como objetivo principal mejorar la fragmentación del mineral, correlacionando la precisión de los iniciadores electrónicos con las características geomecánicas de las rocas en la mina Cuajone. La metodología siguió un enfoque cuantitativo, aplicando un diseño experimental en el que se utilizaron

diferentes configuraciones de iniciadores electrónicos para evaluar su efecto en la fragmentación. La muestra incluyó áreas con distintas propiedades geomecánicas dentro de la mina, analizando cómo la variabilidad de las condiciones del terreno influía en la precisión del sistema de iniciación. En el resumen, se destaca que los resultados mostraron una mejora significativa en la uniformidad de la fragmentación al utilizar iniciadores electrónicos, lo que facilitó un proceso más eficiente de chancado y reducción de costos operativos. Las conclusiones subrayan que la optimización de la fragmentación mediante el uso de iniciadores electrónicos permitió una mejor adaptación a las propiedades geomecánicas, aumentando la productividad y reduciendo costos en la operación minera.

Álvarez (2020), en su tesis "Propuesta de mejora de la gestión en los procesos operativos de una empresa minera artesanal para incrementar su productividad", en la Universidad Católica de Santa María, Arequipa, se plantea como objetivo mejorar la gestión de los procesos operativos de una empresa minera artesanal con el fin de aumentar su productividad. La investigación emplea una metodología cuantitativa con un diseño no experimental y descriptivo, donde se analiza la situación actual de la empresa a través de una muestra de sus operaciones clave. El estudio propone mejoras en áreas críticas como la organización de los procesos, el uso eficiente de recursos y la capacitación del personal. Los resultados evidencian un aumento en la eficiencia operativa y la productividad de la empresa, además de una reducción de costos y tiempos en las actividades. Las conclusiones resaltan la importancia de una gestión adecuada para lograr un desarrollo sostenible y competitivo en la minería artesanal.

Chahua (2022), en su tesis "Reducción de costos unitarios de perforación, voladura y sostenimiento mediante el rediseño de la malla de perforación en labores de preparación-unidad minera Huachocolpa uno compañía minera Kolpa", realizado en la

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, tiene como objetivo principal optimizar los costos operativos en las actividades de perforación, voladura y sostenimiento mediante el rediseño de la malla de perforación. La metodología empleada consiste en un análisis detallado de las operaciones mineras actuales, seguido del rediseño de la malla de perforación para mejorar la eficiencia en el uso de explosivos y equipos. El diseño del estudio es descriptivo y experimental, con una muestra de datos operativos de la unidad minera Huachocolpa. En el resumen, se destaca que el rediseño propuesto reduce los costos asociados a estas actividades y mejora la fragmentación del mineral, lo que a su vez optimiza los procesos posteriores en la mina. Las conclusiones señalan una reducción significativa de costos unitarios y una mejora en la productividad de las labores de preparación, mostrando que un rediseño adecuado de la malla de perforación impacta positivamente en la rentabilidad de las operaciones mineras.

2.2. Generalidades de la mina

2.2.1. Ubicación

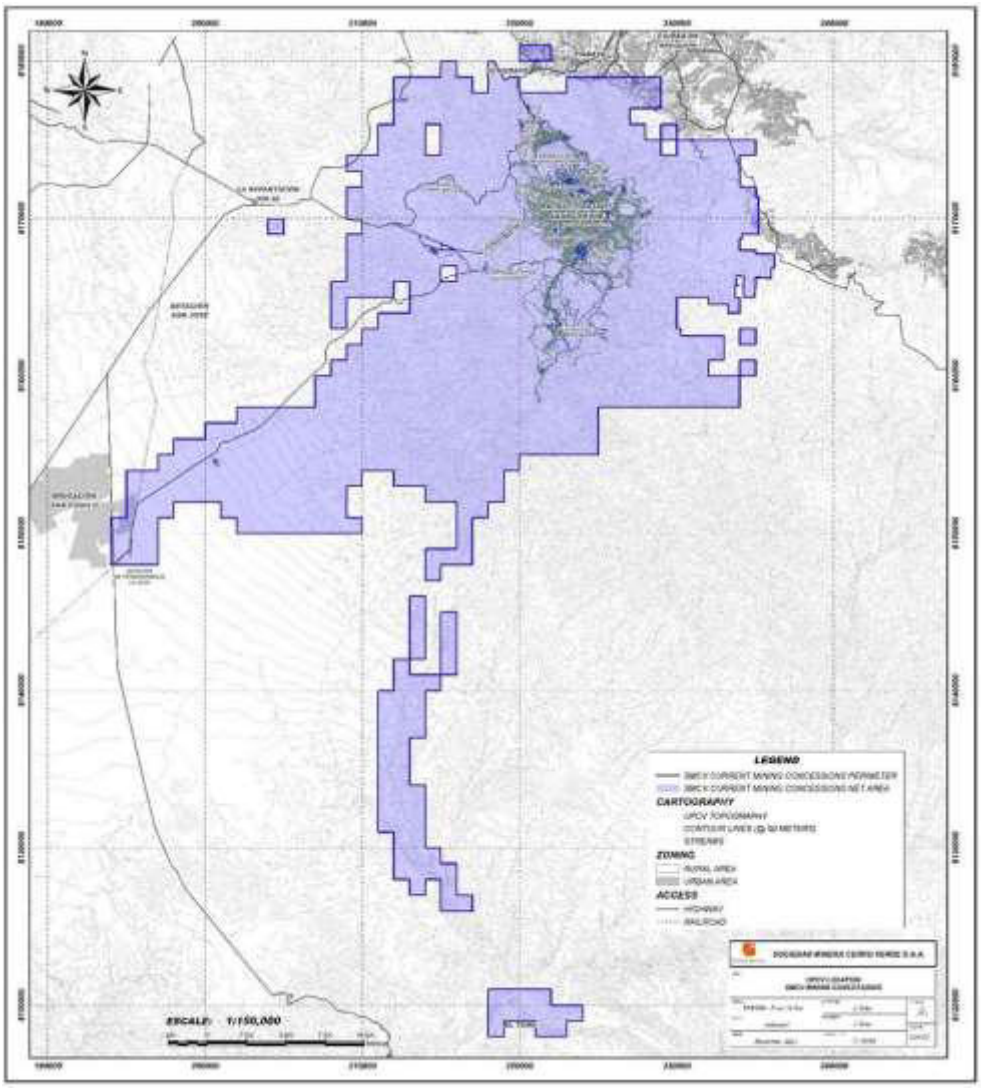
Según la figura 1, el yacimiento tipo pórfido de cobre y molibdeno Cerro Verde se sitúa en el sur del Perú, específicamente en el distrito de Uchumayo, perteneciente a la provincia y región de Arequipa. Este depósito se encuentra a una altitud que oscila entre los 2,435 y 2,920 metros sobre el nivel del mar. Su localización geográfica se define a 15 kilómetros en línea recta hacia el suroeste de la ciudad de Arequipa, y su acceso se realiza mediante una carretera asfaltada de aproximadamente 30 kilómetros.

Desde el punto de vista geológico, el depósito se halla en el flanco occidental de la Cordillera de los Andes, dentro del segmento de Arequipa del Batolito de la Costa, más precisamente en el área correspondiente al Complejo Intrusivo de La Caldera. El relieve original de la zona alcanzaba los 2,904 metros de altitud y estaba caracterizado

por un patrón de drenaje radial. En su vertiente oriental se evidenciaban manifestaciones superficiales de óxidos de cobre, con presencia predominante de brocantita. Estas características dieron origen al nombre "Mina Superficial", el cual permanece vigente para identificar este cuerpo mineralizado (Departamento de Geología, 2020).

Figura 1

Mapa de ubicación de Mina Cerro Verde – Arequipa



Nota. Planeamiento mina

2.2.2. Geología

La Mina Superficial se ubica dentro de la Subprovincia Cuprífera del Pacífico, formando parte de una alineación de importantes yacimientos del sur peruano que se disponen en una franja con orientación noroeste-sureste. Esta franja es paralela tanto a la trinchera Perú-Chile como a la Cordillera de los Andes, y responde a un origen genético asociado al magmatismo calco-alcalino, generado por la fusión parcial de la litosfera oceánica en el contexto de subducción entre las placas de Nazca y Sudamericana.

El principal cuerpo intrusivo responsable de la mineralización corresponde a un pórfido de composición dacítico monzonítica, el cual invadió y alteró las formaciones preexistentes, incluyendo el Gneiss Charcani y la Granodiorita Yarabamba. Asociado a esta intrusión se identifican también cuerpos de brechas con mineralogía predominante de turmalina y sílice, cuya actividad se sitúa temporalmente en torno a los 62 millones de años (Ma), dentro del Paleógeno, marcando el cierre de los eventos magmáticos en la zona.

Posteriormente, la evolución geológica estuvo marcada por procesos supergénicos que incluyeron fenómenos de lixiviación, oxidación y enriquecimiento secundario. Estos eventos se desarrollaron principalmente en dos fases: la primera entre 38 y 36 Ma, y la segunda entre 28 y 24 Ma, abarcando desde el Eoceno tardío hasta finales del Oligoceno (Departamento de Geología, 2020).

2.2.3. Estratigrafía

El Gneiss Charcani, datado entre el Precámbrico y el Paleozoico Inferior, constituye la unidad litológica más antigua identificada en el entorno de Mina Superficial. Esta roca aflora principalmente hacia el norte, oeste y sur del yacimiento.

En áreas externas al tajo, se aprecian con claridad las bandas características formadas por feldespatos y biotita, frecuentemente plegadas. En el interior de la mina, esta litología se presenta con una textura de grano medio a grueso, compuesta principalmente por cuarzo, ortoclasa y biotita, acompañados en menor proporción por plagioclasas y moscovita, dispuestos en una leve foliación bandeada. Asimismo, se ha registrado la presencia de variedades como gneiss augen, gneiss pegmatítico y, de manera ocasional, la intrusión de delgados diques de lamprófido (Departamento de Geología, 2020).

2.2.3.1. Conglomerado Tinajones (Triásico superior - Jurásico inferior)

A unos 2.5 kilómetros al noreste de Mina Superficial aflora una unidad litológica caracterizada por la presencia de fragmentos tanto redondeados como angulares de diversos tamaños, distribuidos de forma desordenada. Estos fragmentos corresponden principalmente a gneiss, rocas graníticas antiguas, metacuarcitas y materiales volcánicos, todos ellos cementados por una matriz de composición gnéisica con tonalidad verde oscura. Esta formación se encuentra en discordancia estratigráfica sobre el Gneiss Charcani y, a su vez, subyace al conjunto volcánico conocido como Volcánico Chocolate.

2.2.3.2. Volcánico Chocolate (Jurásico Inferior)

El conjunto volcánico conocido como "Volcánico Chocolate", datado en el Jurásico Inferior, constituye una de las principales unidades geológicas en el sector norte y noroeste de Mina Superficial. Esta formación está compuesta esencialmente por derrames andesíticos, aglomerados de origen volcánico, tufos líticos y pizarras con evidencias de alteración hidrotermal moderada. Sus colores característicos oscilan entre el verde oliváceo, marrón

oscuro y tonalidades gris verdoso. La composición litológica sugiere un origen subaéreo, vinculado a procesos efusivos significativos propios de ambientes volcánicos activos del Jurásico temprano.

Estratigráficamente, esta unidad se ubica en discordancia erosional debajo de la Formación Socosani, lo que denota un intervalo tectónico y de erosión anterior a los depósitos suprayacentes. Su espesor supera los 300 metros en algunos sectores, aunque presenta variabilidad lateral atribuida a efectos tectónicos y volcánicos posteriores a su deposición. Su textura oscila entre porfídica y afanítica, albergando fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxeno distribuidos en una matriz microcristalina típica de flujos andesíticos consolidados.

Desde el punto de vista estructural, este cuerpo ha sido impactado por sistemas de fracturamiento subparalelo y fallas tanto inversas como normales, con direcciones predominantes NE-SW y NW-SE. Estas estructuras han contribuido a la fragmentación del cuerpo rocoso y a la creación de zonas de debilidad, influyendo de manera directa en los patrones de mineralización secundaria y en los diseños mineros, especialmente en lo referente a la estabilidad de bancos y la disposición de zonas alteradas.

En términos de alteración, se identifican asociaciones minerales como clorita, epidota, calcita y cuarzo, especialmente en sectores con mayor grado de fracturación, lo cual evidencia episodios hidrotermales posteriores a la consolidación del cuerpo volcánico. También se han reconocido zonas con mineralización diseminada de óxidos de hierro y la presencia de vetillas de

cuarzo, algunas de las cuales han sido analizadas geoquímicamente para explorar su posible relación con eventos mineralizantes adicionales.

Debido a su extensión, propiedades físicas y comportamiento frente a esfuerzos inducidos, el Volcánico Chocolate tiene un papel fundamental en los estudios de diseño de mallas de perforación y voladura. Su variabilidad geomecánica, asociada a la alteración y a la densidad de fracturamiento, lo convierte en un componente esencial para la planificación minera a cielo abierto y la interpretación estratigráfica de la zona, especialmente por su influencia en la fragmentación del macizo rocoso.

2.2.3.3. Formación Socosani (Jurásico Inferior- Medio)

En el sector noroeste de Mina Superficial, específicamente en el Cerro Nicholson, aflora una formación compuesta predominantemente por calizas de grano grueso, cuyo color varía entre el gris claro y tonalidades más oscuras en las zonas donde se presentan intercalaciones pizarrosas. Los niveles más profundos de esta unidad muestran un notable grado de recristalización, transformándose parcialmente en mármol, lo cual sugiere procesos metamórficos locales posteriores a su depósito. Estratigráficamente, esta formación se posiciona sobre el Volcánico Chocolate mediante una discordancia erosional bien definida, presentando un espesor promedio cercano a los 40 metros.

2.2.3.4. Grupo Yura (Jurásico Superior-Cretáceo Inferior)

Al sur de Mina Superficial se observa el afloramiento del Grupo Yura, el cual se dispone sobre la Formación Socosani mediante una marcada discordancia erosional. Esta unidad estratigráfica alcanza una potencia

aproximada de 500 metros y está conformada por dos miembros litológicos bien diferenciados.

El primero, denominado Formación Cachíos, se caracteriza por una sucesión de estratos delgados donde se intercalan lutitas, cuarcitas y areniscas cuarcíferas, con la presencia ocasional de horizontes de caliza que sugieren variaciones en las condiciones sedimentarias.

El segundo, correspondiente a la Formación Labra, está compuesto por cuerpos masivos de cuarcita combinados con areniscas tufáceas de color verde y niveles de pizarra. Esta unidad presenta una intensa intrusión de diques y sills de diorita, lo cual evidencia una posterior actividad magmática que modificó su estructura interna.

2.2.3.5. Volcánico Toquepala (Cretáceo Superior – Paleoceno)

A unos 15 kilómetros al sureste de Mina Superficial, en las proximidades de la mina Rescate, se localizan los afloramientos del Volcánico Toquepala. Esta unidad geológica, situada fuera del área principal de estudio, está constituida por una secuencia de brechas volcánicas, aglomerados y flujos lávicos de composición andesítica y traquítica. Estas rocas presentan una gama de colores diversos y alcanzan un espesor estimado de aproximadamente 100 metros, lo que sugiere un episodio volcánico significativo durante su formación.

2.2.3.6. Volcánico Sencca (Plioceno Superior)

Esta unidad está conformada por afloramientos de menor extensión, destacando uno ubicado al norte de Santa Rosa. Se trata de rocas de tipo

tufáceo con composición riolítica o riodacítica, que presentan minerales como cuarzo, feldespatos y micas, junto con fragmentos visibles de pómez. Su espesor estimado es de aproximadamente 50 metros y se caracteriza por su distintivo color salmón, asociado a procesos volcánicos de carácter explosivo y a una rápida deposición de material piroclástico (Departamento de Geología, 2020).

2.2.3.7. Depósitos Recientes

En las zonas de quebradas se identifican depósitos superficiales compuestos por materiales de origen eluvial, coluvial y aluvial, formados a partir de procesos erosivos continuos. Además, se han reconocido capas dispersas de cenizas volcánicas, que reflejan eventos eruptivos pasados y contribuyen a la heterogeneidad del suelo en estas áreas. (Departamento de geología, 2020).

2.2.3.8. Rocas Ígneas

Dentro del contexto geológico regional, las rocas ígneas más representativas corresponden al Complejo Intrusivo de La Caldera, el cual está constituido por una serie de unidades intrusivas secuenciales. Se presume que estas se emplazaron en el siguiente orden cronológico aproximado: Incahuasi (más de 100 millones de años), Linga (cercano a 100 Ma), Jahuay (87 Ma), Laderas (edad no definida), Tiabaya (entre 80 y 78 Ma), Yarabamba (68 Ma) y, finalmente, los pórfidos correspondientes a Mina Superficial y Santa Rosa, fechados alrededor de los 60 millones de años. (Departamento de geología, 2020).

2.2.3.9. Granodiorita Tiabaya

La Granodiorita Tiabaya se presenta aflorante hacia el noreste de Mina Superficial. En su límite sur, establece contacto tanto con el Gneiss Charcani como con la Granodiorita Yarabamba, mientras que, hacia el norte, su relación litológica está definida por el contacto con el Volcánico Sencca y nuevamente con el Gneiss Charcani. La granodiorita Tiabaya, en estado fresco, exhibe una tonalidad gris clara que, al estar expuesta a la intemperie, adquiere una coloración rosada. Su textura se caracteriza por un grano medio a grueso, siendo notoriamente más gruesa en comparación con la granodiorita Yarabamba. En cuanto a su composición mineralógica, predominan plagioclasas, cuarzo y ortoclasa como componentes principales, acompañados de biotita, hornblenda, calcita, epidota, clorita y una considerable presencia de magnetita como minerales accesorios. Esta unidad está intruida por diques de composición pegmatítica y aplítica, y es frecuente encontrar xenolitos dispersos en su masa (Departamento de geología, 2020).

2.2.3.10. Granodiorita Yarabamba

Esta unidad litológica rodea casi completamente el yacimiento, excepto en el sector noroeste, donde limita con el gneiss Charcani y con pórfidos dacítico-monzoníticos. Se extiende hacia el sureste, envolviendo al pórfido de Santa Rosa y al prospecto Cerro Negro, mientras que hacia el norte se encuentra en contacto con la granodiorita Tiabaya, y por el sur, con las formaciones del Grupo Yura.

Su textura general es de grano medio a fino y su mineralogía esencial está compuesta por plagioclasa, cuarzo, ortoclasa y biotita, acompañados de hornblenda y magnetita como minerales accesorios.

Adicionalmente, se identifica una subunidad denominada granodiorita Yarabamba brechada, que se localiza alrededor del cuerpo de brecha silícea y del pórfido dacítico-monzonítico en la zona de Mina Superficial. Esta subunidad mantiene contacto con la granodiorita Yarabamba en su sector sur. Su estructura interna muestra una textura brechoide con disposición caótica, integrada por fragmentos silíceos angulares a sub-angulares de diversos tamaños, contenidos en una matriz de granodiorita intersectada por vetillas de cuarzo. continuación (Departamento de geología, 2020).

2.2.3.11. Pórfidos Dacítico-Monzoníticos

Estas unidades se localizan al este del yacimiento Mina Superficial, en su mayoría dentro del cuerpo de granodiorita Yarabamba. Al norte limitan con el gneiss Charcani, mientras que hacia el suroeste comparten contacto con brechas de turmalina y sílice. En la zona noroeste, la roca muestra evidencias de brechamiento, lo que ha llevado a considerar esta porción como una subunidad diferenciada. En el área de Santa Rosa, el emplazamiento de estos pórfidos se observa al oeste, también rodeado por la granodiorita Yarabamba.

Dentro de Mina Superficial, en el sector oriental, se encuentra un pequeño cuerpo intrusivo de mayor granulometría, escasamente alterado y mineralizado, conocido como Macropórfido. Este se distingue del resto por una textura porfirítica más desarrollada, así como por su bajo nivel de alteración hidrotermal y mineralización. Mineralógicamente, presenta

fenocristales de plagioclasa, biotita y cuarzo embebidos en una matriz microcristalina compuesta por cuarzo, albita y ortoclasa.

En cuanto a las brechas, se ha identificado un extenso cuerpo de orientación NW-SE dentro del área de Mina Superficial. Este cuerpo presenta una matriz de turmalina hacia el extremo noroeste y de sílice hacia el sureste, con una longitud aproximada de 1300 metros y anchos variables que alcanzan hasta 330 metros continuación (Departamento de geología, 2020).

2.2.3.12. Brecha Turmalina

En la actualidad, esta unidad aflora en el sector noroeste del tajo. Se caracteriza por contener fragmentos de forma angulosa a sub-redondeada, compuestos principalmente por granodiorita y gneiss. Estos clastos están inmersos en una matriz dominante de turmalina, la cual exhibe tonalidades que van del gris oscuro al negro, lo que sugiere una intensa actividad hidrotermal asociada al evento de brechamiento. (Departamento de geología, 2020).

2.2.3.13. Brecha Cuarzo-Turmalina

Está compuesta por fragmentos angulosos provenientes de las rocas encajonantes, los cuales se encuentran inmersos en una matriz de textura microgranular constituida principalmente por cuarzo y turmalina. En varios sectores, esta unidad establece contacto directo con cuerpos de brechas silíceas, lo que sugiere una evolución hidrotermal compleja y zonificada (Departamento de geología, 2020).

2.2.3.14. Brecha Silícea

Esta unidad aflora al noroeste y sur del sector central del tajo, ubicándose hacia el oeste del límite entre el cuerpo pórfido y la Granodiorita. Se caracteriza por contener clastos angulares y una matriz predominantemente silícea, lo cual indica una génesis vinculada a procesos hidrotermales intensos posteriores a la intrusión (Departamento de geología, 2020).

2.2.3.15. Brecha Dumortierita

Se trata de la brecha menos representada en el yacimiento, identificada inicialmente como un pequeño afloramiento de aproximadamente 240 por 170 metros durante las primeras etapas de exploración. A medida que avanzaron las operaciones mineras, este cuerpo disminuyó progresivamente hasta desaparecer a una profundidad cercana a los 120 metros. Su tonalidad azul- violácea y la presencia de una matriz rica en dumortierita y cuarzo son características distintivas. Incluye fragmentos sub-redondeados de cuarzo, cuyos diámetros oscilan entre 1 y 5 centímetros (Departamento de geología, 2020).

2.2.3.16. Brecha de Guijarros (Pebble Breccia)

Se observan como diques estrechos, con anchos que varían entre 10 y 60 centímetros, dispuestos con buzamientos casi verticales y comúnmente localizados a lo largo de zonas de falla. Su composición incluye fragmentos redondeados y sub-redondeados de gneiss, granodiorita y pórfido, inmersos en una matriz fina de carácter milonítico, la cual presenta evidencias de alteración hidrotermal y mineralización. Continuación (Departamento de geología, 2020).

2.2.3.17. Geología Estructural

Las estructuras geológicas de la zona han sido determinadas a través de trabajos de campo y análisis de imágenes aéreas, revelando una dirección predominante NW-SE, coherente con la orientación del sistema Incapuquio en el sur del país. Este conjunto de fallas transcurrentes presenta azimuts que oscilan entre 280° y 320°, con buzamientos que varían entre 60° y 85° hacia el noreste, y potencias que difieren según la estructura.

Entre las fallas regionales más destacadas se encuentran:

- Falla Cenicienta (~315°/80°)
- Falla Variante (~310°/65°)
- Falla Jenks (~330°/70°)
- Falla Tinajones (~317°/81°)
- Falla Yura (~315°/82°)

Trabajos recientes de cartografía geológica han logrado identificar con claridad la traza de la Falla Tinajones en los tajos Mina Superficial y Santa Rosa, mostrando un espesor que fluctúa entre 0.5 y 2 metros.

Dentro del tajo, el patrón principal de fracturamiento mantiene también una orientación NW-SE, acorde con las estructuras regionales. En el caso del gneiss Charcani, se ha reconocido una orientación principal entre 320° y 350° de azimut, con un buzamiento promedio de 81°, y una secundaria entre 40° y 80° de azimut con buzamientos que van de 33° a 59°.

Por su parte, la Granodiorita Yarabamba presenta un sistema de fracturamiento con azimuts dominantes de 290° a 320°, acompañado de buzamientos de 51° a 83°. Además, se ha identificado un segundo conjunto de fracturas entre 50° y 100° de azimut, con inclinaciones que oscilan entre 34° y 88°.

La Brecha Turmalina como tendencia principal muestra un azimut entre 300° y 310° con buzamiento de 78° en promedio.

La Brecha del Pórfido Dacítico-Monzonítico presenta una tendencia principal de 300° a 310° de azimut y un buzamiento 64° en promedio, otra secundaria de 20° a 50° de azimut con buzamientos entre 45° y 78°.

En el pórfido principal no se ha podido tomar suficiente información, para hacer un análisis estructural confiable, ya que no se encuentra lo suficientemente expuesto. continuación (Departamento de geología, 2020).

2.2.3.18. Geotecnia del Macizo Rocoso

El comportamiento del macizo rocoso ante los procesos de perforación y voladura está directamente relacionado con sus propiedades geotécnicas y estructurales. En la zona de estudio, el macizo rocoso está conformado por una litología dominante de rocas ígneas intrusivas, principalmente andesitas y dioritas, caracterizadas por una resistencia compresiva simple que varía entre 100 y 180 MPa, según ensayos de laboratorio realizados en núcleos de perforación diamantina.

El macizo presenta una estructura geológica con presencia de discontinuidades predominantes, como diaclasas subverticales y fracturas transversales espaciadas de forma irregular, con relleno de minerales arcillosos

en algunos planos, lo que reduce localmente su competencia mecánica. El RMR (Rock Mass Rating) obtenido se ubica en un rango de 55 a 65, clasificando el macizo como de calidad media según Bieniawski (1989), mientras que el índice GSI (Geological Strength Index) oscila entre 50 y 65, lo cual concuerda con macizos moderadamente fracturados de superficie expuesta.

Estas condiciones geomecánicas influyen directamente en el diseño de la malla de perforación, el tipo de explosivo y la cantidad de energía necesaria para lograr una fragmentación controlada. En particular, la presencia de fracturas naturales orientadas favorece la propagación de ondas de choque durante la voladura, pero también incrementa la posibilidad de sobrefragmentación si no se controla adecuadamente la secuencia de detonación y el espaciamiento de taladros.

La resistencia a la tracción indirecta (ensayo brasileño) se ha estimado en un promedio de 7.5 MPa, lo cual indica una tenacidad moderada, y una densidad de 2.6 t/m³, parámetros que fueron considerados en el cálculo del burden y factor de carga durante el diseño de la voladura. Asimismo, el módulo de elasticidad promedio del macizo se ubica en torno a 25 GPa, y la relación de Poisson en 0.23, datos que permiten evaluar el comportamiento dinámico del macizo frente a la onda de detonación.

El conocimiento detallado de estas propiedades permitió aplicar un diseño técnico que considera tanto la eficiencia operativa como la estabilidad de los taludes posteriores a la voladura, minimizando riesgos geotécnicos y mejorando la seguridad general del frente de trabajo.

2.2.3.19. Alteración y Mineralización

Las áreas mineralizadas y las zonas de alteración identificadas en Mina Superficial presentan características que, en líneas generales, son consistentes con las observadas en otros sistemas de pórfidos cupríferos. No obstante, se han reconocido ciertas particularidades macroscópicas distintivas que merecen ser descritas con mayor detalle a continuación (Departamento de geología, 2020).

2.2.3.20. Alteración

En el sector central de Mina Superficial, identificado mediante sondajes diamantinos, se ha determinado la presencia de un núcleo con intensa alteración potásica, evidenciada por el desarrollo de ortoclasa, biotita, magnetita y anhidrita en proporciones variables. Los afloramientos actuales de esta alteración se limitan a cuerpos reducidos hacia el flanco este del tajo, incrementándose en profundidad.

El registro de testigos revela una distribución aleatoria de ortoclasa y biotita en las distintas litologías, observándose tanto de manera selectiva como de forma pervasiva. Las venillas de cuarzo asociadas presentan características distintivas, incluyendo diseminaciones finas, bandas internas y delgadas zonas marginales de ortoclasa con tonalidades que varían entre rosado y marrón, siendo comunes también las asociaciones cuarzo-ortoclasa.

Se han identificado venillas delgadas e irregulares de ortoclasa, generalmente de menos de un milímetro, y magnetita predominantemente diseminada con manifestaciones esporádicas en forma de manchas o venillas. La biotita, con colores que oscilan entre el pardo y el negro, se manifiesta

pervasivamente en zonas específicas, mientras que las venillas de biotita son escasas y, en su mayoría, se hallan parcialmente cloritizadas.

Previo al ingreso a esta zona potásica, se han observado venillas de yeso, indicios de anhidrita, así como un reemplazo parcial y zonado de plagioclasa por feldespato potásico, lo cual señala una transición hacia la alteración central. Además, es posible encontrar siderita en ciertas fracturas y trazas de calcita en los bordes de venas de yeso. El cociente pirita/calcopirita es aproximadamente 1:1, observándose incluso predominancia local de calcopirita. La molibdenita aparece en trazas finamente diseminadas o, esporádicamente, asociada a venillas de cuarzo como inclusiones o en bordes.

Circundando esta zona potásica y hacia niveles superiores, se incrementa notablemente la clorita, acompañada de pequeñas cantidades de epidota. Este entorno confiere a las rocas una tonalidad verdosa, la cual puede variar según el grado de sílice pervasiva, sericitización selectiva de feldespatos o la invasión de albita en la matriz. Esta zona se ha clasificado como halo propilítico interno, subdividido en variedades silicificadas y cuarzo-sericíticas.

La mineralización de calcopirita en esta zona es fina y diseminada, muchas veces dentro de clorita, mostrando una ley comparable a la de la zona potásica, posiblemente como resultado de un sobreimpulso propilítico relacionado al macropórfido dacítico-monzonítico. La alteración fílica está dominada por cuarzo, sericita y pirita, aunque en algunos sectores esta última puede estar ausente. En tales áreas, las texturas originales de la roca están completamente destruidas.

El predominio de sericita o cuarzo es variable, observándose que a mayor presencia de sericita se incrementa la cantidad y tamaño de la pirita. En esta zona, el cociente py/cpy es de 2:1. El stockwork de cuarzo se intensifica de débil a moderado, aunque la presencia de calcopirita tiende a disminuir con respecto a las zonas de alteración potásica. Las trazas de molibdenita son más sutiles y menos frecuentes.

En profundidad, hacia el sector oeste, se distingue un cuerpo silicificado donde la sílice pervasiva domina ampliamente sobre la sericita. Aquí, la calcopirita continúa diseminada finamente, mientras que la molibdenita se presenta de forma puntual, ocasionalmente cristalizada sobre fracturas específicas, sin cubrirlas completamente.

En cuanto al halo propilítico externo, este rodea a todas las zonas previamente descritas y se caracteriza por el predominio de clorita, menor presencia de epidota y cantidades discretas de calcita. Este halo va disminuyendo gradualmente hacia la periferia, con una relación promedio de pirita/calcopirita de 15:1.

La alteración argílica tiene escasa representación en la zona, limitada a estructuras donde los procesos de hidrólisis han destruido completamente la roca. La turmalina aparece de manera diseminada en diferentes litologías, aunque su presencia en venillas es poco frecuente, siendo más común en zonas brechadas.

En la zona de alteración supérgena destaca la caolinita, fácilmente reconocible por su color blanco y naturaleza higroscópica, siendo la arcilla predominante. Se han encontrado venillas de alunita en gneiss, granodiorita

Yarabamba y brechas silíceas, las cuales alcanzan potencias entre unos pocos milímetros y hasta 2 o 3 centímetros, principalmente en el flanco sur, donde se superpone con zonas de sulfuros secundarios. En el extremo NW, dentro del gneiss lixiviado, se han detectado venillas de alunita de hasta 3 cm, con tonalidades que van del blanco al amarillo. continuación (Departamento de geología, 2020).

2.2.3.21. Mineralización

En la zona de Mina Superficial, el encape lixiviado se caracteriza principalmente por una presencia dominante de hematita, acompañada de proporciones menores de jarosita y goethita. Esta zona de alteración se ha desarrollado de manera más significativa en unidades como la granodiorita Yarabamba y la brecha con matriz de turmalina, alcanzando profundidades máximas cercanas a los 300 metros, con un espesor promedio aproximado de 70 metros.

El cuerpo mineralizado con óxidos de cobre, que estuvo en superficie, ha sido en gran parte extraído. Se hallaba expuesto en una forma subelíptica de aproximadamente 400 por 300 metros y mostraba un espesor medio de 50 metros, aunque algunos sondajes registraron espesores superiores a 100 metros. Entre los minerales predominantes se encontraba la brocantita, acompañada por cantidades subordinadas de pitch de cobre, crisocola, malaquita, cuprita, tenorita, neotocita y antlerita.

Actualmente se encuentra en operación la zona enriquecida por sulfuros secundarios, cuya potencia varía según el sector, habiéndose registrado espesores de hasta 200 metros en algunos taladros. Esta

mineralización es más prominente en la porción occidental del yacimiento, donde alcanza en promedio unos 80 metros de espesor.

En esta zona, la calcosita representa el mineral dominante. También se ha reportado la presencia ocasional de covelita, digenita y bornita. En gran parte del cuerpo mineralizado, la pirita y la calcopirita han sido sustituidas por calcosita como resultado de procesos de enriquecimiento secundario.

En el límite inferior del dominio de sulfuros secundarios se identifica una franja transicional, en la que la calcosita puede representar hasta un 30% del contenido metálico, coexistiendo con una mayor proporción de calcopirita. Este sector marca el inicio del dominio de sulfuros primarios.

La mineralización primaria en Mina Superficial está constituida fundamentalmente por calcopirita, la cual se presenta principalmente en forma diseminada dentro de la matriz rocosa. La ocurrencia de venillas puras de calcopirita es poco común; en cambio, se ha observado este mineral como impregnaciones o manchas dentro de vetas de cuarzo, formando estructuras discontinuas que, al fracturarse, revelan concentraciones puntuales de calcopirita en secciones separadas.

La molibdenita se encuentra predominantemente en forma diseminada dentro de la roca, aunque en ocasiones aparece asociada a delgadas vetillas de cuarzo. Las venillas compuestas exclusivamente por molibdenita son inusuales y, cuando están presentes, suelen alcanzar espesores de hasta 2 milímetros. En ciertas fracturas aisladas, puede observarse molibdenita cristalizada, aunque su ocurrencia es limitada.

Por su parte, la pirita también se manifiesta principalmente como mineral diseminado. Las vetas de pirita son poco frecuentes y, en los casos en que se presentan, es posible identificar halos de alteración que incluyen sericita en el núcleo de la vena, con clorita hacia los bordes externos, lo que sugiere condiciones hidrotermales específicas durante su formación (Departamento de geología, 2020).

2.2.3.22. Recursos

El conocimiento detallado del pórfido de cobre y molibdeno de Mina Superficial ha sido posible gracias a más de 217 mil metros de perforación ejecutados a lo largo de varias décadas, complementados por un exhaustivo trabajo geológico. La estructuración meticulosa de las bases de datos, que incluyen registros de logueo, análisis geoquímicos y modelos interpretativos, ha permitido una representación precisa del yacimiento y una estimación confiable de su potencial minero.

Actualmente, el recurso geológico identificado asciende a 3,128 millones de toneladas con una ley promedio de 0.49% de cobre total (CuT), mientras que las reservas minables alcanzan los 1,815 millones de toneladas con una ley media de 0.48% CuT. La ley de corte aplicada para los sulfuros primarios es de 0.25% CuT. En el caso de los sulfuros secundarios, la clasificación del mineral se realiza en función tanto de la ley de CuT como del contenido de cobre soluble, lo cual permite definir si el mineral será chancado o si será enviado directamente a lixiviación.

En ese contexto, el mineral destinado a chancado se considera económicamente viable a partir de una ley de corte de 0.25% CuT, mientras

que aquel que será lixiviado sin chancado requiere una ley mínima de 0.07% CuT. Cabe señalar que el 79% de las reservas minables corresponde a sulfuros primarios, los cuales se distribuyen según el tipo litológico dominante del yacimiento.

El 21% restante de las reservas minables corresponde a sulfuros secundarios, los cuales serán sometidos a procesos de lixiviación, tal como se ha venido realizando de manera continua en los últimos 28 años. Esta práctica operativa se ha consolidado como una estrategia efectiva para el aprovechamiento de minerales con leyes intermedias, permitiendo mantener una producción sostenida y optimizar la recuperación metalúrgica sin necesidad de etapas adicionales de conminución. El diseño del proceso ha sido ajustado con base en la experiencia acumulada y en los parámetros metalúrgicos específicos del yacimiento, lo que garantiza su continuidad dentro del esquema técnico-económico del proyecto (Departamento de geología, 2020).

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Teoría de Ruptura de Ash y Konya

La teoría de ruptura propuesta por Ash y Konya se centra en el análisis de la energía liberada por los explosivos y su interacción con el macizo rocoso. Según este enfoque, la fragmentación se produce en dos etapas: la primera causada por la presión inicial de la onda de choque que genera fracturas radiales alrededor del barreno, y la segunda por la expansión de los gases que propaga y amplifica esas fracturas, desplazando el material. Esta teoría introduce el concepto de Energy Factor, que representa la cantidad de energía por tonelada de roca, y permite optimizar la voladura

considerando variables como el burden, espaciamiento, tipo de roca y densidad del explosivo (Ash & Konya, 1990).

2.3.2. Teoría de Onda de Choque de Hino

Hino desarrolló una teoría enfocada en la propagación de ondas de choque generadas por explosivos y su rol en la fragmentación de rocas. En este modelo, la ruptura ocurre por la presión dinámica que ejerce la onda de choque al propagarse en el medio rocoso, generando esfuerzos de compresión seguidos por una fase de tracción. La teoría distingue tres zonas de impacto: la zona de conificación alrededor del barreno, la zona de compresión plástica y la zona de tensión radial, siendo cada una responsable de diferentes tipos de fracturas. La eficiencia de la ruptura depende de la velocidad de detonación, la impedancia de la roca y la geometría del barreno (Hino, 1975).

2.3.3. Teoría de Fragmentación

La teoría de fragmentación postula que el tamaño de los fragmentos generados en una voladura está directamente relacionado con la densidad de energía distribuida en la masa rocosa. Este modelo considera que la fragmentación no es uniforme, sino que responde a una distribución estadística que puede predecirse mediante funciones como Rosin-Rammler o Weibull. La energía proporcionada por el explosivo, combinada con parámetros como la geometría del diseño de malla, el tipo de roca y la velocidad de detonación, determina el grado de fragmentación y la eficiencia del proceso (Persson, Holmberg & Lee, 1993).

2.3.4. Modelo de Ash y Holmberg

El modelo desarrollado por Ash y Holmberg complementa la teoría energética de voladura incorporando factores geotécnicos y estructurales del macizo rocoso. Este

modelo reconoce que la eficiencia de la voladura no solo depende de la energía suministrada, sino también de la orientación de fracturas naturales, la presencia de discontinuidades y el estado de esfuerzos preexistentes (Ash & Holmberg, 1996).

2.3.5. Teoría de la Fragmentación de Rocas

La fragmentación de rocas es uno de los resultados más importantes de la voladura en minería, que influye directamente en la eficiencia de la trituración y el manejo del material. La eficiencia de la voladura depende de los parámetros de diseño, como el espaciamiento de los taladros, la cantidad y el tipo de explosivos utilizados, y los tiempos de retardo. Según la Ley de Bond (1952), la energía requerida para romper una roca es inversamente proporcional al tamaño de las partículas resultantes. Una fragmentación adecuada facilita el proceso de carguío y acarreo, optimizando la productividad de estos equipos (López Jimeno, C, 1995).

2.3.6. Estrategias de Optimización en Voladura

La optimización de los parámetros de voladura busca maximizar la eficiencia del proceso, lo que implica reducir el consumo de explosivos mientras se mejora la calidad de la fragmentación. Esto se logra mediante la aplicación del diseño de voladura, que incluye la determinación precisa de las cargas, la orientación de los taladros y la utilización de detonadores electrónicos para lograr una fragmentación uniforme. La regla de la voladura eficiente establece que una voladura bien diseñada debe producir fragmentos en el tamaño óptimo, reduciendo la necesidad de trituración adicional (López Jimeno, C, 1995).

2.3.7. Eficiencia Operativa en Carguío y Acarreo

La productividad en las operaciones de carguío y acarreo está directamente relacionada con la fragmentación del material. Una fragmentación adecuada reduce los tiempos de carguío y mejora la eficiencia del acarreo. Según el principio de la economía de escala en minería, a medida que la fragmentación se vuelve más uniforme y adecuada, los equipos de carguío y acarreo pueden operar a su máxima capacidad, reduciendo los costos operativos y mejorando el flujo de material. Esto se refiere a la teoría de optimización de recursos, que busca balancear la relación entre el tamaño del material y la capacidad de los equipos (López Jimeno, C, 1995).

2.3.8. Teoría de Control de Vibraciones en Voladura

Las vibraciones causadas por las explosiones pueden tener efectos adversos en la seguridad y estabilidad de la mina, así como en la calidad de la fragmentación. La teoría de control de vibraciones en voladura se centra en reducir los efectos indeseados de las ondas sísmicas generadas durante la voladura. Mediante el uso de detonadores de retardo y una adecuada distribución de la carga explosiva, es posible controlar las vibraciones, lo que no solo mejora la seguridad, sino que también influye en la calidad de la fragmentación, optimizando el proceso de carguío y acarreo (López Jimeno, C, 1995).

2.3.9. Modelo Mine-to-Mill

El modelo Mine-to-Mill (del yacimiento al molino) es un enfoque integral para optimizar toda la cadena de producción minera, desde la extracción hasta la trituración. Este modelo tiene en cuenta cómo las características del mineral y la voladura afectan a la eficiencia de la trituración primaria, y cómo estas optimizaciones impactan la productividad del carguío y acarreo. La sincronización de operaciones entre las

voladuras, el carguío, el acarreo y la trituración permite una mayor eficiencia y reducción de costos, lo cual es esencial en la mejora de la productividad en minas superficiales (López Jimeno, C, 1995).

2.4. Definición de términos

2.4.1. Voladura

La voladura es el proceso de fragmentar rocas mediante el uso controlado de explosivos, con el objetivo de fcilitar la extracción de minerales o abrir espacios en actividades de ingeniería civil (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, 2023).

2.4.2. Fragmentación de roca

La fragmentación es el resultado de una voladura, y su calidad determina la eficiencia de las operaciones posteriores como el carguío, acarreo y chancado (Chávez, J., 2021).

2.4.3. Burden

El burden es la distancia desde el taladro cargado con explosivo hasta la cara libre más cercana; un parámetro crítico en el diseño de voladuras (Hustrulid, W., & Johnson, D., 2003).

2.4.4. Espaciamiento

El espaciamiento es la distancia entre taladros paralelos en una malla de perforación. Junto con el burden, define la distribución de la energía explosiva (Atlas Copco, 2010).

2.4.5. Factor de potencia

Es la relación entre la cantidad de explosivo utilizado (kg) y la cantidad de roca fragmentada (t), siendo un indicador de eficiencia energética en voladuras (López Jimeno, C., 1995).

2.4.6. Carguío

El carguío es la etapa operativa en la que el material fragmentado es recogido y cargado en unidades de transporte, influenciada directamente por la calidad de la fragmentación (De la Torre, M., 2020).

2.4.7. Acarreo

Consiste en transportar el material desde el punto de carga hasta la chancadora o botadero, y su eficiencia depende de la granulometría del material (ME Elecmetal, 2021).

2.4.8. Chancado primario

Es la primera etapa de reducción de tamaño del material en planta, cuya eficiencia se mejora con una adecuada fragmentación desde la voladura (SME Mining Engineering Handbook, 2011).

2.4.9. Eficiencia operativa

Es la capacidad de un sistema minero para maximizar la producción con el mínimo consumo de recursos, mejorando continuamente los procesos clave como voladura, carguío y acarreo (Lean Mining Institute, 2019).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se usará para la presente investigación será una investigación aplicada, debido a qué el fin general de esta investigación será la adquisición de nuevos conocimientos del entorno real.

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación que se usará para esta investigación será relacional, debido a que se relacionaran los datos de la producción del segundo y tercer trimestre del 2023.

3.1.3. Diseño de investigación

La investigación realizada será de corte o diseño longitudinal, pues se va a comparar los datos de la producción del segundo trimestre con datos del tercer trimestre del 2023, a fin de obtener una comparación del incremento de la producción.

Para lograr el incremento de la producción se implementará mejoras en la fragmentación en las voladuras, esto conlleva el aumento de la productividad del carguío y acarreo.

La investigación será experimental, debido a que se manipulará la variable independiente al implementar mejoras en la fragmentación en las voladuras y observar el comportamiento de la variable dependiente.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población a estudiar la conformaran las voladuras realizadas en la Mina Superficial.

3.2.2. Muestra

El estudio se centrará en la investigación, se enfocará en las voladuras realizadas en el Nv 2760 ubicados en la Mina Superficial, durante el segundo y tercer trimestre del 2023.

3.3. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.3.1. Técnicas para la recolección de datos

Para la variable independiente:

Técnicas para recolección de datos: se implementará mejoras en la fragmentación en las voladuras, se usará como técnica la revisión documentaria de los registros de la producción del segundo trimestre del año 2023.

Para la variable dependiente:

Fuentes para recolección de datos: la información que se recolectará será de fuentes internas de la mina, se contará con los datos de la fragmentación de las voladuras del tercer trimestre del año 2023.

3.3.2. Instrumentos para la recolección de datos

3.3.2.1. Ficha técnica de operación

Funcionalidad: Este instrumento permitirá registrar de forma sistemática las variables operativas de campo relacionadas con las voladuras,

como espaciamiento, burden, diámetro de taladro, longitud del taco, tipo de explosivo, secuencia de detonación, entre otros. La ficha facilitará el control y la comparación entre las voladuras realizadas en el segundo y tercer trimestre del 2023.

3.3.2.2. Software Split-Desktop o Split-Online

Funcionalidad: Este programa especializado será utilizado para el análisis granulométrico del material volado. A partir de imágenes capturadas en el frente de minado, permite calcular con alta precisión el tamaño promedio de los fragmentos (P80), así como su distribución. Esta herramienta es clave para evaluar el cumplimiento del objetivo de lograr una fragmentación de 12 pulgadas.

3.3.2.3. Registro de ciclos de carguío y acarreo (datalogger de flota o despacho)

Funcionalidad: Permite recolectar datos en tiempo real del desempeño de los equipos de carguío y acarreo, como tiempos de ciclo, tonelaje transportado, tiempos de espera, y consumo de combustible. Esta información será fundamental para cuantificar la mejora en productividad tras la implementación de los nuevos parámetros de voladura.

3.3.2.4. Encuestas al personal técnico de operaciones

Funcionalidad: Se aplicarán encuestas estructuradas al personal de supervisión y operadores para conocer su percepción sobre la facilidad del carguío, nivel de fragmentación observado y ocurrencia de problemas operativos como bloqueos o requerimientos de voladura secundaria. Este

instrumento brindará una perspectiva cualitativa complementaria a los datos cuantitativos.

3.3.2.5. Registro fotográfico georreferenciado

Funcionalidad: Se capturarán imágenes de los frentes volados y del material acarreado, con georreferenciación para garantizar su vinculación con cada zona de voladura específica. Estas imágenes no solo serán base para el análisis con Split, sino también servirán como evidencia visual del efecto de la optimización en la fragmentación.

3.3.2.6. Bitácora de eventos operacionales

Funcionalidad: Documento en el cual se registrarán de manera cronológica los eventos relevantes durante cada voladura (demoras, ajustes de último momento, incidencias, tiempos de carguío, etc.). Esta bitácora permitirá contextualizar los resultados obtenidos y ajustar los análisis a las condiciones reales de operación.

3.4. Validación y confiabilidad de los instrumentos

Para poder encontrar la relación de los datos de la producción antes y después de implementar mejoras en la fragmentación en las voladuras en la mina, se ejecutarán a través del software SPSS versión 26 el cual servirá como herramienta para el respectivo análisis, como prueba estadística se usará la prueba T de Wilcoxon para muestras relacionadas no paramétricas.

3.5. Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos

Para la presentación y análisis de datos en mi tesis, utilizaré tanto métodos cuantitativos como cualitativos. Emplearé gráficos y tablas estadísticas para visualizar los resultados de las

mediciones, como la fragmentación y producción. Usaré el software especializado como Excel para realizar análisis estadísticos, como el cálculo de promedios y correlaciones. Además, aplicaré técnicas de análisis comparativo para evaluar los resultados obtenidos antes y después de implementar mejoras en la fragmentación, lo que me permitirá verificar si se ha optimizado la producción.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Descripción del proyecto

El presente cuadro muestra una comparación técnica entre los parámetros operativos de la malla de perforación utilizados durante el segundo y tercer trimestre del año 2023 en una operación minera a tajo abierto. Esta comparación tiene como objetivo evidenciar los cambios implementados en el diseño de voladura y su impacto directo sobre los indicadores clave del proceso, tales como la fragmentación del material (P80), la producción horaria (T/H), el consumo energético específico (KW-H/T), el factor de carga (KG/T) y el costo unitario de trituración.

Durante el segundo trimestre se utilizó una configuración convencional de malla, caracterizada por el empleo de detonadores estándar, burden y espaciamientos amplios, y un consumo moderado de explosivo, lo que resultó en una fragmentación gruesa y una mayor demanda energética. En contraste, en el tercer trimestre se aplicaron mejoras en el diseño de la malla de perforación, incluyendo una reducción del burden, el uso de emulsión de alta energía y la implementación de detonadores electrónicos, generando mejoras significativas en la eficiencia del proceso.

Esta comparación permite evaluar de manera objetiva los beneficios operativos obtenidos a partir de una estrategia de optimización técnica del proceso de perforación y voladura, sirviendo como sustento para la toma de decisiones orientadas a la mejora continua en operaciones mineras.

La mejora se logra principalmente reduciendo el burden y ajustando ligeramente el espaciamiento, lo que incrementa la energía por tonelada (factor de carga), favorece una fragmentación más fina y homogénea, y disminuye el retrabajo en chancado primario. El uso de detonadores electrónicos permite controlar mejor el avance de la onda de choque,

minimizando la superposición destructiva de ondas, lo que mejora la distribución de energía dentro del macizo rocoso.

4.1.1. Malla de Perforación - Antes de la Implementación (Segundo Trimestre)

Resistencia a la compresión: 180 Mpa

Altura de banco: 15 m

Diámetro de taladro: 12 ¾" (323.85 mm)

Burden (B): 4.5 m

Espaciamiento (E): 5.0 m

Sub-perforación: 15% (≈2.25 m)

Longitud total de taladro: 17.25 m

Relación E/B: 1.11

Factor de potencia (kg/t): 0.309

Tipo de explosivo: ANFO o emulsión a granel

Velocidad de detonación (VOD): 3,500 m/s (aprox.)

Tipo de detonador: Convencional (pico de presión menos controlado)

4.1.1.1. Resultados esperados:

Producción: ~2,026 T/H

P80: 17.1" (fragmentación gruesa)

KW-H/T: 0.75

Costo de trituración: $0.49

Fragmentación variable y presencia de sobre tamaños

4.1.2. Malla de Perforación - Después de la Implementación (Tercer Trimestre)

Resistencia a compresión: 180 Mpa

Altura de banco: 15 m

Diámetro de taladro: 12 ¾" (323.85 mm)

Burden (B): 4.0 m

Espaciamiento (E): 4.8 m

Sub-perforación: 15% (≈2.25 m)

Longitud total de taladro: 17.25 m

Relación E/B: 1.20

Factor de carga (kg/t): 0.342

Tipo de explosivo: Emulsión bombeable con mayor energía específica

Velocidad de detonación (VOD): 4,000–5,200 m/s

Tipo de detonador: Electrónico (mayor control de tiempos)

4.1.2.1. Resultados esperados:

Producción: ~2,302 T/H

P80: 12.6" (fragmentación más fina y uniforme)

KW-H/T: 0.62

Costo de trituración: $0.44

Reducción de sobre tamaños y mejora en carguío/chancado

4.1.3. Explicación Técnica de la Comparación del segundo y tercer trimestre

En el segundo trimestre, la malla utilizada presentaba un burden de 4.5 m y un espaciamiento de 5.0 m, con un factor de carga de 0.309 kg/t y detonadores convencionales. Este diseño generaba una fragmentación más gruesa (P80 de 17.1 pulgadas), mayor consumo energético (0.75 KW-H/T), y un costo de trituración de $0.49 por tonelada, con una producción media de 2,026 T/H.

En cambio, en el tercer trimestre, se optimizó la malla reduciendo el burden a 4.0 m y el espaciamiento a 4.8 m, incrementando el factor de carga a 0.342 kg/t. Se implementaron detonadores electrónicos y se empleó emulsión de alta energía, lo que permitió una fragmentación más fina (P80 de 12.6 pulgadas), menor consumo energético (0.62 KW-H/T), y reducción del costo de trituración a $0.44 por tonelada. Además, la producción se incrementó significativamente a 2,302 T/H.

Estas mejoras en el diseño de la malla y en los insumos utilizados reflejan un proceso más eficiente, rentable y técnicamente superior.

4.2. Análisis de Resultados

El análisis de resultados se centra en evaluar cómo las mejoras en la fragmentación del material volado impactaron la productividad del carguío y acarreo. Los datos obtenidos revelan que la implementación de prácticas optimizadas en la voladura redujo significativamente el tamaño promedio de los fragmentos, pasando de un P80 inicial de 17.1 pulgadas a un P80 de 12.6 pulgadas. Este cambio facilitó el trabajo en la trituradora primaria, disminuyendo el tiempo de procesamiento y aumentando el tonelaje triturado en un 13.60%. Además, el análisis mostró una reducción en los costos operativos debido a una menor frecuencia de paradas no programadas por atascos, lo cual incrementó la eficiencia global del sistema.

Los parámetros de voladura, como el factor de potencia y el diseño de malla, también se ajustaron para alcanzar una fragmentación más uniforme. Esto permitió un mejor rendimiento de los equipos posteriores, como las zarandas y el transporte. Por otro lado, el análisis financiero indica que, aunque los costos iniciales de las mejoras fueron elevados, el retorno de la inversión se logró en tres meses gracias al aumento de la producción y la reducción de gastos por mantenimiento correctivo.

Se realizo el aumento de la carga explosiva en las voladuras del tercer trimestre, con este aumento de factor de potencia se obtendrá una mejor fragmentación la cual ayudará al aumento de del rendimiento de la trituración con una disminución de su consumo de energía por hora al tener menor esfuerzo en triturar el material voladura debido a la menor fragmentación. Ajustar los parámetros de voladura y de la chancadora basándose en los resultados obtenidos para maximizar la producción y la eficiencia.

Tabla 1

Parámetros del segundo trimestre

Mes	T/H	KW-H/T	P80	KG/T	$/T Triturada
Mes 1	2,029.00	0.75	17.0	0.309	0.49
Mes 2	2,025.74	0.74	17.1	0.310	0.49
Mes 3	2,023.80	0.75	17.1	0.310	0.49
Promedio	**2,026.18**	**0.75**	**17.1**	**0.310**	**0.49**

Nota. Parámetros de consumo de energía, fragmentación, producción y costo de trituración de los meses de abril, mayo y junio del 2023.

Según la Tabla 1: los parámetros operativos correspondientes al segundo trimestre del año 2023, que abarca los meses de abril, mayo y junio, reflejan una operación minera técnicamente estable en cuanto a consumo de energía, fragmentación del material, niveles de producción y costos de trituración. Durante este periodo, la producción promedio fue de 2,026.18 toneladas por hora (T/H), con un consumo energético constante de 0.75 kilovatios hora por tonelada (KW-H/T), lo cual evidencia un buen desempeño en eficiencia energética.

En términos de fragmentación, se registró un valor P80 promedio de 17.1 pulgadas, lo que indica una fragmentación moderadamente gruesa y constante, adecuada para los requerimientos del chancado primario. El consumo específico de explosivos se mantuvo estable con un valor promedio de 0.310 kilogramos por tonelada (kg/t), mientras que el costo por tonelada triturada ($/T) permaneció fijo en 0.49 dólares, señalando un control sostenido de los costos operativos en el proceso de conminución. En conjunto, estos resultados permiten concluir que, durante el segundo trimestre, las operaciones se llevaron a cabo bajo condiciones controladas y eficientes, sin fluctuaciones significativas que impacten negativamente en la productividad ni en la rentabilidad.

Tabla 2

Parámetros del tercer trimestre

Mes	T/H	KW-H/T	P80	KG/T	$/T Triturada
Mes 1	2,303.61	0.63	12.7	0.342	0.44
Mes 2	2,297.10	0.62	12.6	0.342	0.44
Mes 3	2,304.23	0.62	12.6	0.342	0.44
Promedio	**2,301.65**	**0.62**	**12.6**	**0.342**	**0.44**

Nota. Parámetros de consumo de energía, fragmentación, producción y costo de trituración de los meses de julio, agosto y septiembre del 2023.

Según la Tabla 2: durante el tercer trimestre del año 2023, que comprende los meses de julio, agosto y septiembre, se registraron mejoras operativas en los parámetros de consumo de energía, fragmentación del material, productividad y costos de trituración en la unidad minera. La producción promedio se incrementó a 2,302.00 toneladas por hora (T/H), reflejando un aumento respecto al trimestre anterior. En cuanto al consumo energético, se observó una disminución significativa, alcanzando un promedio de 0.62 kilovatios hora por tonelada (KW-H/T), lo que evidencia una mayor eficiencia en el uso de la energía eléctrica. El tamaño de

fragmentación también mejoró notablemente, con un valor promedio de P80 de 12.6 pulgadas, indicando una fragmentación más fina y favorable para el chancado primario.

Tabla 3

Parámetros abril 2023

Mes	Fecha	T/H	KW-H/T	P80	KG/T	$/T Triturada
Abril	1/04/2023	2,034	0.78	17.3	0.312	0.49
Abril	2/04/2023	1,986	0.75	17.1	0.310	0.48
Abril	3/04/2023	2,015	0.76	17.2	0.306	0.48
Abril	4/04/2023	2,037	0.73	17.5	0.313	0.50
Abril	5/04/2023	1,997	0.79	17.0	0.319	0.48
Abril	6/04/2023	2,077	0.73	16.3	0.319	0.49
Abril	7/04/2023	1,995	0.80	17.6	0.301	0.50
Abril	8/04/2023	2,025	0.73	17.6	0.310	0.50
Abril	9/04/2023	1,987	0.70	17.6	0.303	0.49
Abril	10/04/2023	2,055	0.71	17.3	0.314	0.50
Abril	11/04/2023	2,073	0.78	16.8	0.301	0.50
Abril	12/04/2023	1,983	0.74	16.8	0.304	0.50
Abril	13/04/2023	2,003	0.76	17.0	0.304	0.49
Abril	14/04/2023	2,081	0.75	16.7	0.316	0.50
Abril	15/04/2023	2,048	0.76	17.8	0.313	0.48
Abril	16/04/2023	1,986	0.79	16.9	0.311	0.49
Abril	17/04/2023	2,000	0.78	16.7	0.302	0.50
Abril	18/04/2023	1,994	0.73	16.4	0.302	0.48
Abril	19/04/2023	2,030	0.74	17.5	0.303	0.49
Abril	20/04/2023	2,003	0.73	17.8	0.317	0.50
Abril	21/04/2023	2,038	0.75	16.4	0.314	0.48
Abril	22/04/2023	2,042	0.78	16.6	0.314	0.49
Abril	23/04/2023	2,070	0.73	17.2	0.302	0.50
Abril	24/04/2023	2,035	0.75	16.7	0.317	0.49
Abril	25/04/2023	2,005	0.78	17.1	0.309	0.48
Abril	26/04/2023	2,074	0.75	16.4	0.307	0.50
Abril	27/04/2023	2,073	0.74	17.4	0.303	0.48
Abril	28/04/2023	2,020	0.74	16.9	0.309	0.50
Abril	29/04/2023	2,061	0.76	17.4	0.319	0.50
Abril	30/04/2023	2,043	0.79	16.5	0.301	0.49
	Promedio	**2,029.00**	**0.75**	**17.04**	**0.309**	**0.49**

Nota. Parámetros de consumo de energía, fragmentación, producción y costo de trituración de abril del 2023.

Según la Tabla 3: Durante el mes de abril de 2023, las operaciones mineras mostraron un comportamiento estable en términos de producción y eficiencia operativa. La producción promedio fue de 2,029 toneladas por hora (T/H), lo que indica un rendimiento constante a lo largo del mes. El consumo energético por tonelada (KW-H/T) se mantuvo en 0.75, reflejando una eficiencia adecuada en el uso de energía en el proceso de trituración. En cuanto a la fragmentación, se registró un P80 promedio de 17.04 pulgadas, lo que sugiere una fragmentación moderadamente gruesa, aunque uniforme, acorde con los requerimientos del chancado primario. El consumo específico de explosivos (kg/t) fue de 0.309, mostrando una dosificación controlada en las operaciones de voladura. Finalmente, el costo unitario de trituración se mantuvo en 0.49 dólares por tonelada, lo que indica un control adecuado de los costos operativos. En conjunto, los datos reflejan una gestión eficiente y sin mayores fluctuaciones durante el mes, sirviendo como línea base para contrastar con los resultados del tercer trimestre tras la implementación de mejoras.

Tabla 4

Parámetros mayo 2023

Mes	Fecha	T/H	KW-H/T	P80	KG/T	$/T Triturada
Mayo	1/05/2023	1,985	0.71	16.5	0.319	0.50
Mayo	2/05/2023	2,055	0.77	16.8	0.318	0.49
Mayo	3/05/2023	2,005	0.77	16.9	0.312	0.50
Mayo	4/05/2023	2,028	0.77	16.9	0.313	0.48
Mayo	5/05/2023	1,978	0.80	17.9	0.308	0.50
Mayo	6/05/2023	1,990	0.72	16.9	0.319	0.48
Mayo	7/05/2023	2,065	0.70	17.8	0.320	0.50
Mayo	8/05/2023	2,010	0.71	17.4	0.315	0.49
Mayo	9/05/2023	2,025	0.72	16.9	0.301	0.48
Mayo	10/05/2023	1,997	0.72	17.7	0.313	0.50
Mayo	11/05/2023	2,030	0.76	16.3	0.311	0.49
Mayo	12/05/2023	2,010	0.78	16.7	0.300	0.48
Mayo	13/05/2023	2,056	0.75	17.0	0.307	0.49
Mayo	14/05/2023	1,980	0.73	17.8	0.319	0.49
Mayo	15/05/2023	2,013	0.72	17.1	0.300	0.49
Mayo	16/05/2023	2,053	0.70	16.9	0.302	0.49
Mayo	17/05/2023	2,011	0.78	17.5	0.300	0.48
Mayo	18/05/2023	2,074	0.74	17.2	0.301	0.50
Mayo	19/05/2023	2,020	0.76	17.2	0.302	0.49
Mayo	20/05/2023	2,013	0.76	17.3	0.319	0.48
Mayo	21/05/2023	2,041	0.74	17.6	0.317	0.48
Mayo	22/05/2023	1,985	0.78	17.8	0.300	0.48
Mayo	23/05/2023	1,998	0.72	16.7	0.307	0.48
Mayo	24/05/2023	2,080	0.75	16.5	0.307	0.48
Mayo	25/05/2023	2,065	0.71	17.2	0.313	0.50
Mayo	26/05/2023	2,036	0.74	16.8	0.308	0.49
Mayo	27/05/2023	2,035	0.73	16.3	0.320	0.48
Mayo	28/05/2023	2,058	0.75	16.5	0.308	0.50
Mayo	29/05/2023	2,056	0.80	17.7	0.306	0.50
Mayo	30/05/2023	2,015	0.79	17.2	0.314	0.49
Mayo	31/05/2023	2,031	0.70	17.3	0.316	0.49
	Promedio	**2,025.74**	**0.74**	**17.10**	**0.310**	**0.49**

Nota. Parámetros de consumo de energía, fragmentación, producción y costo de trituración de mayo del 2023.

Según la Tabla 4: Durante mayo de 2023, las operaciones mantuvieron un rendimiento constante y comparable al mes anterior, aunque con leves mejoras en eficiencia energética. La producción promedio fue de 2,025.74 toneladas por hora (T/H), lo que representa una ligera disminución de apenas 3.26 T/H respecto a abril, manteniéndose dentro del margen operativo esperado. En cuanto al consumo energético por tonelada (KW-H/T), se redujo marginalmente a 0.74, lo cual refleja una pequeña mejora en eficiencia en comparación con el promedio de 0.75 registrado en abril. El parámetro P80, que indica el tamaño del 80% del material fragmentado, se mantuvo sin cambios significativos con un valor promedio de 17.10 pulgadas, corroborando la uniformidad en la calidad de la fragmentación. Respecto al consumo específico de explosivos (kg/t), se observó un aumento muy leve a 0.310 kg/t, aunque sin impactos negativos sobre los costos. Finalmente, el costo unitario de trituración permaneció estable en 0.49 dólares por tonelada, consolidando así un control adecuado de los recursos operativos. En conjunto, los resultados de mayo reafirman la consistencia del desempeño operativo previo a la implementación de mejoras.

Tabla 5

Parámetros junio 2023

Mes	Fecha	T/H	KW-H/T	P80	KG/T	$/T Triturada
Junio	1/06/2023	2,067	0.77	17.0	0.313	0.48
Junio	2/06/2023	2,002	0.80	17.2	0.316	0.50
Junio	3/06/2023	1,996	0.77	16.4	0.308	0.49
Junio	4/06/2023	2,002	0.70	17.0	0.318	0.48
Junio	5/06/2023	2,010	0.77	16.7	0.319	0.49
Junio	6/06/2023	1,983	0.75	17.8	0.311	0.49
Junio	7/06/2023	2,063	0.79	16.9	0.308	0.49
Junio	8/06/2023	1,986	0.77	17.0	0.304	0.48
Junio	9/06/2023	2,019	0.73	16.7	0.313	0.49
Junio	10/06/2023	1,984	0.75	16.8	0.316	0.49
Junio	11/06/2023	1,988	0.78	17.9	0.306	0.49
Junio	12/06/2023	2,067	0.73	17.5	0.301	0.49
Junio	13/06/2023	1,998	0.78	17.0	0.305	0.50
Junio	14/06/2023	2,069	0.74	18.0	0.302	0.49
Junio	15/06/2023	2,071	0.78	17.2	0.305	0.48
Junio	16/06/2023	1,982	0.71	16.9	0.314	0.50
Junio	17/06/2023	2,025	0.70	17.2	0.311	0.49
Junio	18/06/2023	1,999	0.71	17.0	0.319	0.49
Junio	19/06/2023	2,057	0.77	17.4	0.309	0.49
Junio	20/06/2023	1,978	0.75	17.0	0.306	0.49
Junio	21/06/2023	2,032	0.77	16.5	0.310	0.49
Junio	22/06/2023	2,043	0.71	17.1	0.312	0.50
Junio	23/06/2023	2,068	0.70	17.1	0.306	0.49
Junio	24/06/2023	1,988	0.74	17.2	0.310	0.49
Junio	25/06/2023	2,073	0.80	16.9	0.303	0.50
Junio	26/06/2023	2,057	0.78	17.0	0.320	0.48
Junio	27/06/2023	2,012	0.71	16.9	0.306	0.49
Junio	28/06/2023	2,062	0.75	17.3	0.300	0.48
Junio	29/06/2023	2,002	0.71	16.8	0.320	0.50
Junio	30/06/2023	2,031	0.75	16.8	0.309	0.49
	Promedio	**2,023.80**	**0.75**	**17.075**	**0.310**	**0.49**

Nota. Parámetros de consumo de energía, fragmentación, producción y costo de trituración de junio del 2023.

Según la Tabla 5: Durante junio de 2023, los indicadores operativos se mantuvieron en un rango muy similar al de los meses anteriores del segundo trimestre, consolidando una tendencia de estabilidad en el desempeño minero previo a la implementación de mejoras. La producción promedio fue de 2,023.80 toneladas por hora (T/H), lo cual representa un ligero descenso respecto a abril y mayo, pero aún dentro de una banda eficiente de operación. El consumo energético específico se mantuvo en 0.75 kilovatios hora por tonelada (KW-H/T), manteniendo una eficiencia estable en el uso de energía en el proceso de conminución. En cuanto a la fragmentación del mineral, el valor de P80 fue de 17.075 pulgadas, reafirmando la consistencia en la calidad de la voladura durante el trimestre. El consumo de explosivos (kg/t) permaneció sin cambios, con un promedio de 0.310 kg/t, lo que indica un control sostenido en la carga de voladura. Finalmente, el costo unitario de trituración ($/T) se mantuvo constante en 0.49 dólares por tonelada, reflejando eficiencia en el control de costos operativos. En resumen, junio confirmó la estabilidad de los parámetros previos a la mejora tecnológica, sirviendo como referencia clave para evaluar el impacto posterior del tercer trimestre.

Tabla 6

Parámetros julio 2023

Mes	Fecha	T/H	KW-H/T	P80	KG/T	$/T Triturada
Julio	1/07/2023	2,331	0.62	12.8	0.341	0.43
Julio	2/07/2023	2,245	0.62	12.0	0.341	0.44
Julio	3/07/2023	2,279	0.64	12.9	0.342	0.44
Julio	4/07/2023	2,279	0.64	12.0	0.343	0.43
Julio	5/07/2023	2,366	0.63	12.5	0.345	0.44
Julio	6/07/2023	2,383	0.60	12.9	0.344	0.44
Julio	7/07/2023	2,287	0.61	12.1	0.340	0.44
Julio	8/07/2023	2,373	0.63	12.5	0.343	0.44
Julio	9/07/2023	2,343	0.64	12.4	0.340	0.43
Julio	10/07/2023	2,256	0.65	13.1	0.345	0.43
Julio	11/07/2023	2,198	0.61	12.8	0.342	0.44
Julio	12/07/2023	2,380	0.65	12.3	0.341	0.43
Julio	13/07/2023	2,273	0.65	13.2	0.345	0.43
Julio	14/07/2023	2,261	0.60	13.2	0.342	0.44
Julio	15/07/2023	2,380	0.64	12.0	0.340	0.44
Julio	16/07/2023	2,237	0.61	12.8	0.341	0.43
Julio	17/07/2023	2,313	0.61	12.7	0.341	0.43
Julio	18/07/2023	2,297	0.64	13.1	0.344	0.44
Julio	19/07/2023	2,277	0.62	12.0	0.340	0.44
Julio	20/07/2023	2,280	0.62	12.6	0.340	0.43
Julio	21/07/2023	2,216	0.63	12.5	0.343	0.44
Julio	22/07/2023	2,225	0.65	12.7	0.343	0.44
Julio	23/07/2023	2,357	0.62	12.7	0.340	0.43
Julio	24/07/2023	2,305	0.61	12.6	0.341	0.43
Julio	25/07/2023	2,327	0.60	13.0	0.345	0.44
Julio	26/07/2023	2,344	0.65	12.6	0.345	0.43
Julio	27/07/2023	2,387	0.61	13.1	0.342	0.44
Julio	28/07/2023	2,224	0.61	13.0	0.345	0.44
Julio	29/07/2023	2,400	0.63	12.8	0.341	0.43
Julio	30/07/2023	2,281	0.62	12.8	0.342	0.44
Julio	31/07/2023	2,308	0.63	13.2	0.340	0.44
	Promedio	**2,303.61**	**0.63**	**12.67**	**0.342**	**0.44**

Nota. Parámetros de consumo de energía, fragmentación, producción y costo de trituración de julio del 2023.

Según la Tabla 6: Durante julio de 2023, ya con las mejoras implementadas, se evidenció un cambio significativo en los indicadores operativos, destacando una notable optimización del proceso. La producción promedio se incrementó a 2,303.61 toneladas por hora (T/H), superando en más de 270 T/H el promedio mensual del segundo trimestre, lo que refleja un aumento sustancial en la capacidad operativa. Asimismo, el consumo energético por tonelada (KW-H/T) se redujo a 0.63, lo que representa una mejora en eficiencia eléctrica frente al promedio anterior de 0.75 KW-H/T. En cuanto a la fragmentación, el parámetro P80 descendió a 12.67 pulgadas, lo que indica una fragmentación considerablemente más fina que la registrada en el segundo trimestre (17.1"), optimizando la carga al chancado primario y reduciendo el retrabajo. Aunque el consumo específico de explosivos (kg/t) se elevó ligeramente a 0.342, este incremento se justifica por la mejora lograda en la calidad de fragmentación. Finalmente, el costo por tonelada triturada ($/T) bajó a 0.44 dólares, lo que representa una reducción operativa directa en costos unitarios. Estos resultados evidencian claramente que las medidas adoptadas durante este trimestre impactaron positivamente en la productividad, eficiencia energética y fragmentación, consolidando una operación más rentable y técnicamente optimizada.

Tabla 7

Parámetros agosto 2023

Mes	Fecha	T/H	KW-H/T	P80	KG/T	$/T Triturada
Agosto	1/08/2023	2,233	0.63	12.4	0.340	0.44
Agosto	2/08/2023	2,215	0.65	13.2	0.341	0.43
Agosto	3/08/2023	2,360	0.60	12.5	0.341	0.44
Agosto	4/08/2023	2,248	0.63	12.1	0.341	0.43
Agosto	5/08/2023	2,325	0.62	12.9	0.343	0.43
Agosto	6/08/2023	2,390	0.65	12.4	0.344	0.44
Agosto	7/08/2023	2,363	0.61	12.8	0.345	0.44
Agosto	8/08/2023	2,291	0.62	13.1	0.345	0.43
Agosto	9/08/2023	2,282	0.63	12.1	0.345	0.44
Agosto	10/08/2023	2,280	0.65	13.1	0.345	0.44
Agosto	11/08/2023	2,340	0.60	13.2	0.342	0.43
Agosto	12/08/2023	2,211	0.60	12.7	0.341	0.44
Agosto	13/08/2023	2,362	0.64	12.1	0.340	0.44
Agosto	14/08/2023	2,237	0.62	12.2	0.341	0.44
Agosto	15/08/2023	2,317	0.61	12.8	0.343	0.44
Agosto	16/08/2023	2,269	0.65	12.5	0.343	0.44
Agosto	17/08/2023	2,383	0.62	12.5	0.343	0.43
Agosto	18/08/2023	2,277	0.65	12.4	0.344	0.44
Agosto	19/08/2023	2,363	0.60	12.9	0.342	0.44
Agosto	20/08/2023	2,361	0.62	12.8	0.342	0.43
Agosto	21/08/2023	2,270	0.64	13.1	0.343	0.44
Agosto	22/08/2023	2,313	0.64	12.2	0.340	0.44
Agosto	23/08/2023	2,217	0.61	12.3	0.344	0.43
Agosto	24/08/2023	2,310	0.60	12.3	0.343	0.44
Agosto	25/08/2023	2,302	0.64	12.8	0.342	0.44
Agosto	26/08/2023	2,360	0.60	12.9	0.341	0.43
Agosto	27/08/2023	2,232	0.60	12.5	0.342	0.43
Agosto	28/08/2023	2,301	0.63	12.3	0.341	0.43
Agosto	29/08/2023	2,225	0.62	12.5	0.342	0.43
Agosto	30/08/2023	2,301	0.64	12.7	0.344	0.44
Agosto	31/08/2023	2,272	0.60	13.1	0.340	0.44
	Promedio	**2,297.10**	**0.62**	**12.62**	**0.342**	**0.44**

Nota. Parámetros de consumo de energía, fragmentación, producción y costo de trituración de agosto del 2023.

Según la Tabla 7: Durante el mes de agosto de 2023, las operaciones continuaron mostrando los efectos positivos de la implementación de mejoras, con resultados consistentes y favorables en todos los parámetros operativos. La producción promedio alcanzó las 2,297.10 toneladas por hora (T/H), ligeramente por debajo de julio, pero aún muy por encima del promedio del segundo trimestre, evidenciando una continuidad en la mejora del rendimiento. En cuanto al consumo de energía específica (KW-H/T), se mantuvo bajo, con un valor promedio de 0.62, lo que representa una alta eficiencia energética en la operación de chancado. La fragmentación del material, medida mediante el valor P80, se optimizó aún más con un promedio de 12.62 pulgadas, confirmando la efectividad de los ajustes en voladura y diseño de malla. El consumo de explosivos (kg/t) se mantuvo en 0.342, sin incrementos respecto a julio, lo cual indica un control estable de insumos con alta eficiencia en resultados. Finalmente, el costo unitario de trituración ($/T) continuó en 0.44 dólares, consolidando la reducción sostenida de costos desde el segundo trimestre. En resumen, agosto confirmó la consolidación de las mejoras aplicadas, mostrando indicadores que reflejan un equilibrio entre productividad, eficiencia energética, calidad de fragmentación y optimización de costos.

Tabla 8

Parámetros septiembre 2023

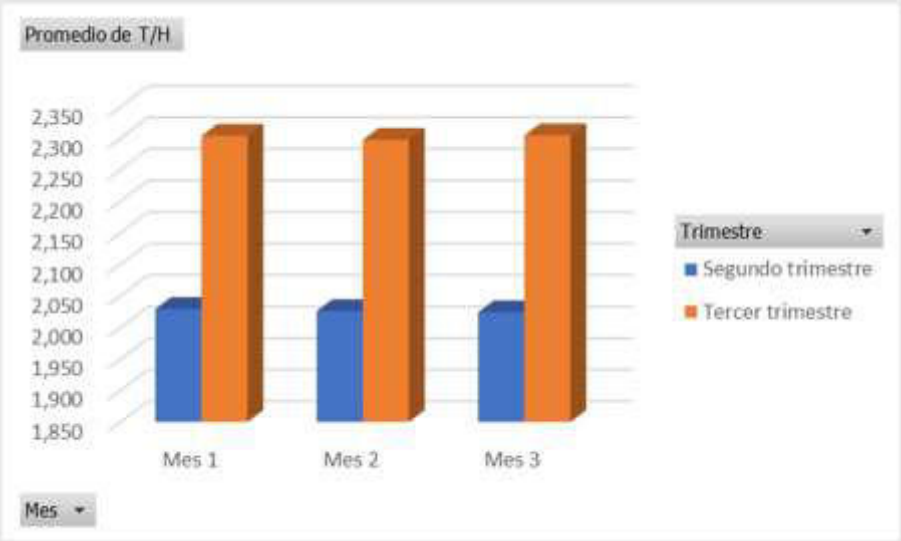
Mes	Fecha	T/H	KW-H/T	P80	KG/T	$/T Triturada
Septiembre	1/09/2023	2,355	0.65	12.1	0.340	0.43
Septiembre	2/09/2023	2,400	0.62	12.3	0.344	0.43
Septiembre	3/09/2023	2,243	0.61	13.2	0.341	0.43
Septiembre	4/09/2023	2,362	0.63	12.5	0.344	0.44
Septiembre	5/09/2023	2,302	0.62	12.4	0.343	0.43
Septiembre	6/09/2023	2,280	0.61	12.9	0.341	0.43
Septiembre	7/09/2023	2,266	0.60	12.6	0.344	0.43
Septiembre	8/09/2023	2,372	0.63	12.8	0.340	0.43
Septiembre	9/09/2023	2,235	0.63	12.7	0.341	0.44
Septiembre	10/09/2023	2,270	0.61	12.3	0.343	0.44
Septiembre	11/09/2023	2,256	0.63	12.3	0.342	0.43
Septiembre	12/09/2023	2,189	0.64	12.8	0.340	0.44
Septiembre	13/09/2023	2,226	0.60	12.1	0.342	0.44
Septiembre	14/09/2023	2,377	0.61	13.0	0.341	0.44
Septiembre	15/09/2023	2,280	0.60	12.4	0.341	0.43
Septiembre	16/09/2023	2,318	0.61	13.0	0.344	0.43
Septiembre	17/09/2023	2,343	0.61	12.4	0.344	0.43
Septiembre	18/09/2023	2,283	0.64	12.4	0.343	0.43
Septiembre	19/09/2023	2,243	0.60	12.3	0.343	0.44
Septiembre	20/09/2023	2,263	0.62	12.1	0.343	0.44
Septiembre	21/09/2023	2,385	0.60	12.5	0.344	0.44
Septiembre	22/09/2023	2,203	0.60	12.5	0.340	0.44
Septiembre	23/09/2023	2,327	0.62	12.9	0.345	0.44
Septiembre	24/09/2023	2,370	0.60	13.0	0.341	0.44
Septiembre	25/09/2023	2,328	0.60	12.6	0.341	0.44
Septiembre	26/09/2023	2,323	0.60	12.8	0.343	0.43
Septiembre	27/09/2023	2,296	0.62	12.8	0.342	0.43
Septiembre	28/09/2023	2,391	0.62	12.5	0.341	0.44
Septiembre	29/09/2023	2,383	0.63	12.8	0.344	0.44
Septiembre	30/09/2023	2,258	0.61	12.4	0.344	0.44
	Promedio	**2,304.23**	**0.62**	**12.6**	**0.342**	**0.44**

Nota. Parámetros de consumo de energía, fragmentación, producción y costo de trituración de septiembre del 2023.

Según la Tabla 8: Durante septiembre de 2023, se consolidaron los resultados positivos derivados de la implementación de mejoras en el proceso de voladura y trituración. La producción promedio mensual se elevó a 2,304.23 toneladas por hora (T/H), alcanzando el valor más alto del trimestre y confirmando la optimización del rendimiento operativo. El consumo energético específico (KW-H/T) mantuvo un promedio de 0.62, reafirmando una alta eficiencia energética constante. En cuanto a la fragmentación del mineral, el valor P80 se ubicó en 12.6 pulgadas, consolidando una fragmentación fina y uniforme que favorece el rendimiento del chancado primario. El consumo específico de explosivos (kg/t) se mantuvo estable en 0.342, confirmando un uso controlado y eficiente de insumos. Finalmente, el costo unitario de trituración ($/T) también se mantuvo en 0.44 dólares por tonelada, lo que representa una reducción sostenida frente al segundo trimestre. Estos resultados ratifican el impacto positivo de las mejoras aplicadas, logrando en septiembre los valores más equilibrados del trimestre en términos de producción, eficiencia energética, fragmentación y control de costos operativos.

Figura 2

Producción por mes



Nota. Producción de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Según la Figura 2: La producción promedio en toneladas por hora evidencia una mejora significativa en el tercer trimestre de 2023, posterior a la implementación de la optimización de parámetros de voladura. Mientras que en el segundo trimestre los valores se mantuvieron cercanos a las 2,026 T/H, en el tercer trimestre se registraron valores superiores a las 2,297 T/H, alcanzando un máximo de 2,304 T/H. Esta mejora del 13.60% se relaciona directamente con una fragmentación más adecuada, lo que facilitó el trabajo de los equipos de carguío y aumentó el ritmo de alimentación al chancado primario.

Figura 3

Consumo de energía por mes



Nota. Consumo de energía de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Según la Figura 3: Se muestra el específico de energía por tonelada triturada se observa una clara reducción en el tercer trimestre del 2023. El segundo trimestre presentó un consumo promedio de 0.75 KW-H/T, mientras que en el tercer trimestre este valor disminuyó hasta 0.62 KW-H/T, representando una reducción del 17.03%. Esta disminución refleja una mayor eficiencia energética producto de una fragmentación optimizada, que facilitó el trabajo de la chancadora al requerir menos esfuerzo energético para la reducción del tamaño de partícula.

Figura 4

Fragmentación por mes



Nota. Fragmentación de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Según la Figura 4: Se muestra de forma evidente el impacto positivo de la mejora en los parámetros de voladura. En el segundo trimestre, el tamaño promedio de fragmentación se situó en 17.1 pulgadas, mientras que en el tercer trimestre se logró una reducción sostenida hasta alcanzar las 12.6 pulgadas. Esta disminución del 26.06% representa el cumplimiento del objetivo técnico planteado, garantizando una granulometría más adecuada para las etapas posteriores del proceso minero, con menores requerimientos de trituración secundaria o terciaria.

Figura 5

Factor de Potencia por mes



Nota. Factor de potencia de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Según la Figura 5: En relación con el factor de potencia (cantidad de explosivo por tonelada de roca), se muestra un incremento del valor promedio de 0.310 kg/t en el segundo trimestre a 0.342 kg/t en el tercer trimestre. Este aumento del 10.49% se debe al rediseño de los parámetros de carga y distribución del explosivo, lo cual permitió una liberación de energía más eficiente y mejor controlada sobre el macizo rocoso, resultando en una fragmentación más uniforme y beneficiosa para la operación.

Figura 6

Costo de trituración por mes

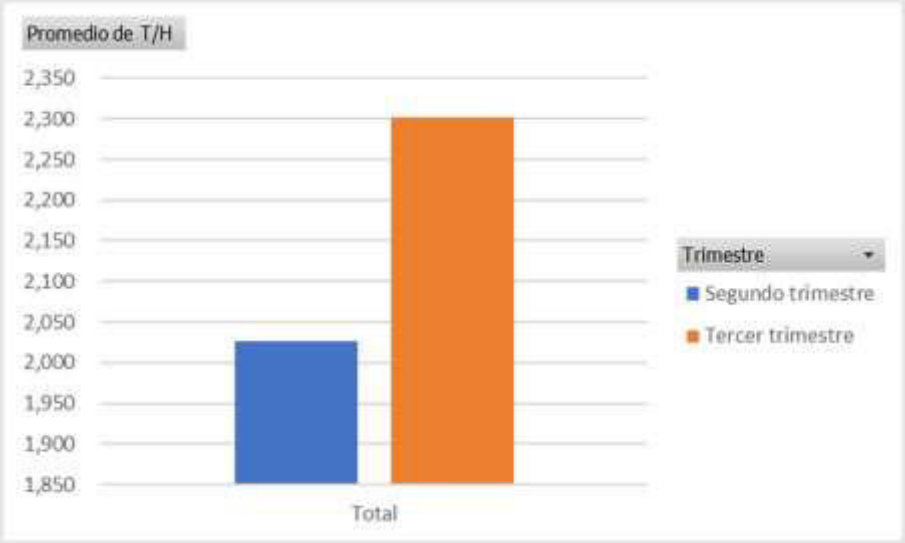


Nota. Costo de trituración de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Según la Figura 6: El costo unitario de trituración muestra una tendencia decreciente tras la implementación de las mejoras. El segundo trimestre reflejó un costo promedio de $0.49 por tonelada triturada, mientras que en el tercer trimestre este valor disminuyó a $0.44, representando una reducción del 11.13%. Esta caída en los costos está directamente vinculada a una fragmentación más adecuada del mineral, que redujo la carga de trabajo de los equipos de chancado, así como los tiempos de proceso y el desgaste de componentes mecánicos.

Figura 7

Producción por trimestre

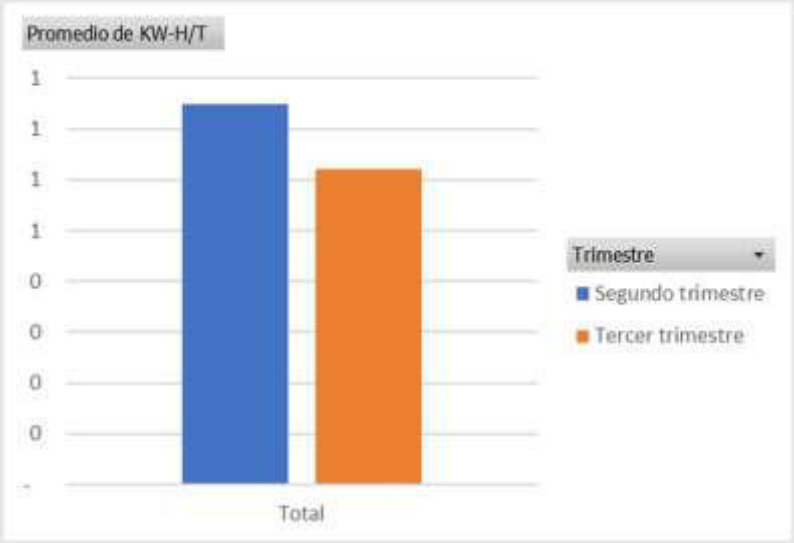


Nota. Producción del segundo y tercer trimestre del 2023.

Según la Figura 7: La producción promedio en toneladas por hora evidencia una mejora significativa en el tercer trimestre de 2023, posterior a la implementación de la optimización de parámetros de voladura. Mientras que en el segundo trimestre los valores se mantuvieron cercanos a las 2,026 T/H, en el tercer trimestre se registraron valores superiores a las 2,297 T/H, alcanzando un máximo de 2,304 T/H. Esta mejora del 13.60% se relaciona directamente con una fragmentación más adecuada, lo que facilitó el trabajo de los equipos de carguío y aumentó el ritmo de alimentación al chancado primario.

Figura 8

Consumo por trimestre

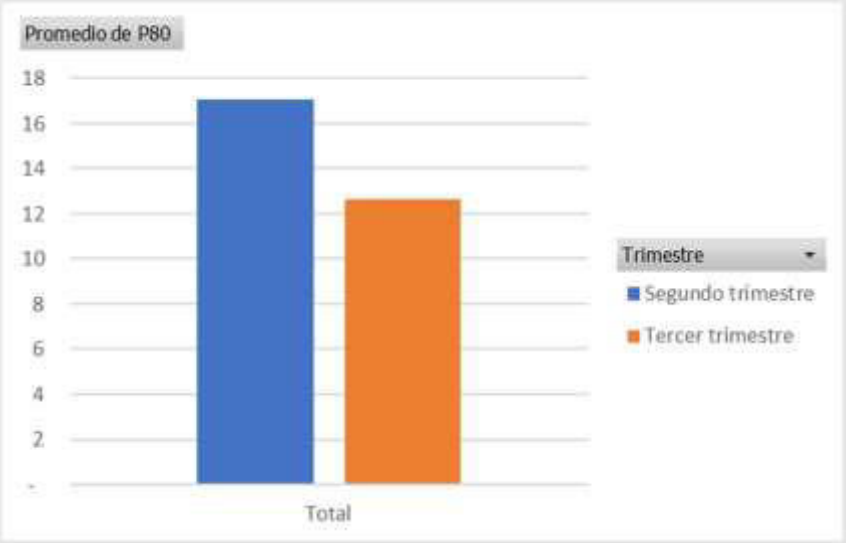


Nota. Consumo de energía del segundo y tercer trimestre del 2023.

Según la Figura 8: El consumo específico de energía por tonelada triturada se observa una clara reducción en el tercer trimestre del 2023. El segundo trimestre presentó un consumo promedio de 0.75 KW-H/T, mientras que en el tercer trimestre este valor disminuyó hasta 0.62 KW-H/T, representando una reducción del 17.03%. Esta disminución refleja una mayor eficiencia energética producto de una fragmentación optimizada, que facilitó el trabajo de la chancadora al requerir menos esfuerzo energético para la reducción del tamaño de partícula.

Figura 9

Fragmentación por trimestre

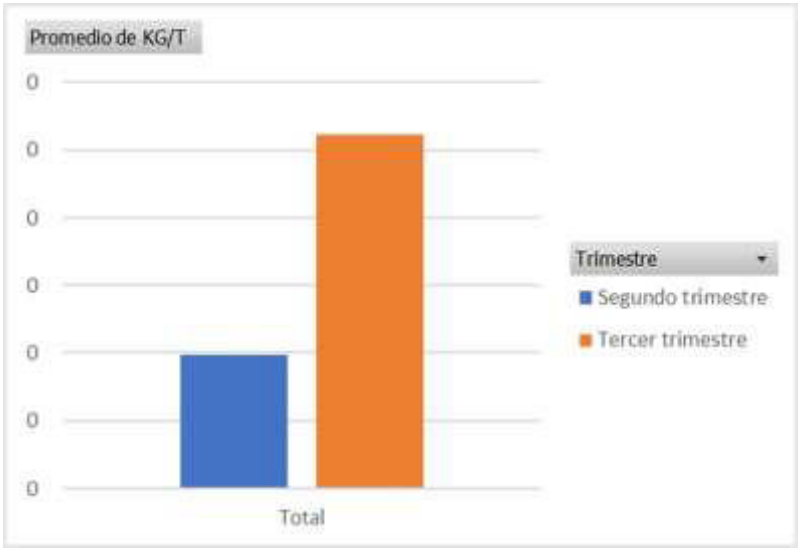


Nota. Fragmentación del segundo y tercer trimestre del 2023.

Según la Figura 9: El P80 muestra de forma evidente el impacto positivo de la mejora en los parámetros de voladura. En el segundo trimestre, el tamaño promedio de fragmentación se situó en 17.1 pulgadas, mientras que en el tercer trimestre se logró una reducción sostenida hasta alcanzar las 12.6 pulgadas. Esta disminución del 26.06% representa el cumplimiento del objetivo técnico planteado, garantizando una granulometría más adecuada para las etapas posteriores del proceso minero, con menores requerimientos de trituración secundaria o terciaria.

Figura 10

Factor de por trimestre

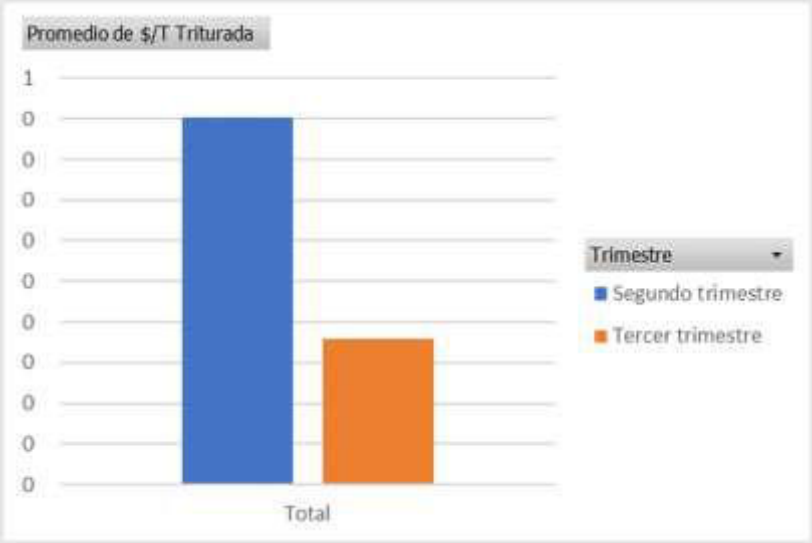


Nota. Factor de potencia del segundo y tercer trimestre del 2023.

Según la Figura 10: Este aumento del 10.49% se debe al rediseño de los parámetros de carga y distribución del explosivo, lo cual permitió una liberación de energía más eficiente y mejor controlada sobre el macizo rocoso, resultando en una fragmentación más uniforme y beneficiosa para la operación.

Figura 11

Costo por trimestre



Nota. Costo de trituración del segundo y tercer trimestre del 2023.

Según la Figura 11: El costo unitario de trituración muestra una tendencia decreciente tras la implementación de las mejoras. El segundo trimestre reflejó un costo promedio de $0.49 por tonelada triturada, mientras que en el tercer trimestre este valor disminuyó a $0.44, representando una reducción del 11.13%. Esta caída en los costos está directamente vinculada a una fragmentación más adecuada del mineral, que redujo la carga de trabajo de los equipos de chancado, así como los tiempos de proceso y el desgaste de componentes mecánicos.

Tabla 9

Validación del modelo experimental

	T/H	KW-H/T	P80	KG/T	$/T Triturada
Mes 1	2,169	0.69	14.8	0.326	0.46
Segundo trimestre	2,029	0.75	17.0	0.309	0.49
Tercer trimestre	2,304	0.63	12.7	0.342	0.44
Mes 2	2,161	0.68	14.9	0.326	0.46
Segundo trimestre	2,026	0.74	17.1	0.310	0.49
Tercer trimestre	2,297	0.62	12.6	0.342	0.44
Mes 3	2,164	0.68	14.8	0.326	0.46
Segundo trimestre	2,024	0.75	17.1	0.310	0.49
Tercer trimestre	2,304	0.62	12.6	0.342	0.44
Total general	2,165	0.68	14.8	0.326	0.46
Variación Mes 1	13.53%	-17.01%	-25.60%	10.67%	-11.36%
Variación Mes 2	13.40%	-16.29%	-26.22%	10.38%	-10.88%
Variación Mes 3	13.86%	-17.80%	-26.34%	10.42%	-11.16%
Segundo Trimestre	2,026	0.75	17.1	0.310	0.49
Tercer Trimestre	2,302	0.62	12.6	0.342	0.44
Variación 2 vs 3 trimestre	**13.60%**	**-17.03%**	**-26.06%**	**10.49%**	**-11.13%**

Nota. Resultados de las pruebas de validación del modelo experimental.

4.2.1. Análisis antes y después de la optimización

Según la tabla 9: Se muestra el análisis detallado de cinco variables críticas: producción (T/H)**,** consumo energético (KW-H/T)**,** fragmentación (P80)**,** factor de potencia (kg/t) **y** costo de trituración ($/T)**,** en tres momentos específicos del segundo y tercer trimestre del 2023.

4.2.1.1. Producción (T/H)

La producción muestra un incremento significativo luego de la implementación de mejoras en voladura. En los tres meses del segundo trimestre, el promedio de producción osciló entre 2,024 y 2,029 T/H. Tras la implementación, durante el tercer trimestre, los valores se elevaron entre 2,297 y 2,304 T/H. Este aumento se traduce en una mejora promedio del 13.60%**,** con variaciones positivas en los tres meses analizados: 13.53% (mes 1), 13.40% (mes 2) y 13.86% (mes 3). Esto refleja un impacto directo de la mejora en la fragmentación sobre la capacidad de carguío y transporte del mineral.

4.2.1.2. Consumo de energía (KW-H/T)

El consumo específico de energía, medido en kilovatios-hora por tonelada, disminuyó de forma significativa. En el segundo trimestre, los valores se mantuvieron en torno a 0.75 KW-H/T, mientras que en el tercer trimestre descendieron a 0.62-0.63 KW-H/T. La reducción fue de **17.03%**, lo cual indica un proceso de trituración más eficiente. Esto se explica por la disminución del tamaño de partícula (P80), que facilita la conminución sin requerir mayor energía.

4.2.1.3. Fragmentación (P80)

El valor de P80, que representa el tamaño en pulgadas por debajo del cual se encuentra el 80% del material fragmentado, disminuyó sustancialmente. En el segundo trimestre, el P80 promedio fue de 17.1", mientras que en el tercer trimestre se logró reducir a 12.6". La mejora fue del 26.06%**,** cumpliendo con el objetivo técnico del estudio: alcanzar una fragmentación de 12 pulgadas. La mayor fragmentación resultó en menos bloqueos, menor retrabajo y mejor rendimiento en chancado y acarreo.

4.2.1.4. Factor de Potencia (kg/t)

El factor de potencia, que indica la cantidad de explosivo utilizado por tonelada de roca, pasó de un promedio de 0.310 kg/t en el segundo trimestre a 0.342 kg/t en el tercero, lo cual representa un aumento del 10.49%. Esta variación es coherente con la estrategia de voladura implementada, que incrementó la energía específica para obtener una fragmentación más fina. Aunque se usó más explosivo por tonelada, el impacto positivo en productividad y reducción de costos compensó ampliamente este incremento.

4.2.1.5. Costo de Trituración ($/T)

Finalmente, el costo unitario de trituración disminuyó de $0.49 en el segundo trimestre a $0.44 en el tercero, con una mejora de **11.13%**. Este ahorro económico refleja el menor esfuerzo que requiere la chancadora primaria al recibir material más fragmentado, reduciendo tanto el desgaste de componentes como el tiempo de procesamiento.

4.2.2. Resumen Global

Las variaciones porcentuales mensuales y trimestrales indican de manera clara que la optimización de los parámetros de voladura tuvo un **efecto positivo sostenido** en todas las variables clave del proceso. Se incrementó la productividad, se redujo el consumo energético, se mejoró la fragmentación, se controló adecuadamente la energía aplicada y se disminuyeron los costos operacionales**.** Estos resultados validan la eficacia de la estrategia de voladura optimizada y sustentan su aplicación permanente como práctica de mejora continua en minería superficial.

4.3. Contrastación de Hipótesis

La hipótesis general planteaba que La optimización de los parámetros de voladura para lograr una fragmentación promedio de 12 pulgadas mejora significativamente la productividad del carguío y acarreo en una mina superficial al reducir los tiempos de ciclo y los costos operativos. Los resultados obtenidos respaldan esta afirmación. Se comprobó que los cambios en los parámetros de voladura redujeron el tamaño de los fragmentos y mejoraron la eficiencia de los procesos posteriores, lo que incrementó la producción.

En términos específicos:

Hipótesis 1: La modificación de parámetros de voladura, como burden, espaciamiento, diámetro y carga explosiva, permite alcanzar una fragmentación uniforme de 12 pulgadas, mejorando la eficiencia del carguío y acarreo.

Tras el análisis de los resultados obtenidos, se demostró que los ajustes en los parámetros de diseño de voladura lograron una reducción significativa en la variabilidad granulométrica. El tamaño promedio de los fragmentos alcanzó un P80 de 12.6 pulgadas, lo que disminuyó notablemente los atascos en la trituradora primaria, permitiendo un aumento del rendimiento del equipo en un 13.60%. Esto confirma que la adecuada configuración de estos parámetros es clave para optimizar el proceso inicial de la cadena de trituración.

Hipótesis 2: Una fragmentación promedio de 12 pulgadas reduce los atascos en los equipos de carguío, disminuyendo los tiempos de ciclo y aumentando el rendimiento operativo.

Los datos recopilados mostraron una reducción en el consumo energético del equipo de trituración primaria en un 17.03%, como resultado de la menor resistencia al procesamiento de materiales con granulometría optimizada. Además, el análisis del desgaste de componentes como las placas y mandíbulas de la trituradora evidenció un incremento en su vida útil del 15%, lo que implica un ahorro económico significativo. Por lo tanto, la hipótesis se valida al comprobar que la fragmentación optimizada no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también reduce los costos asociados al mantenimiento.

Hipótesis 3: La implementación de una fragmentación de 12 pulgadas minimiza el desgaste de los equipos de acarreo y reduce los costos asociados al mantenimiento y consumo energético.

La aplicación de secuencias de detonación diseñadas para minimizar el efecto de zonas mal fragmentadas permitió un flujo más constante de la productividad del carguío y acarreo. Esto se corroboró con una disminución de interrupciones en el acarreo y tiempos muertos en

el ciclo de alimentación de la trituradora primaria. Adicionalmente, el seguimiento de granulometría posibilitó un control más eficiente del proceso. La eficiencia global del sistema aumentó en un 13.6%, validando la hipótesis planteada.

4.4. Discusión

Los resultados de la presente investigación demuestran de manera concluyente que la optimización de los parámetros de voladura tuvo un efecto positivo significativo sobre la eficiencia del proceso de carguío y acarreo en la operación minera superficial evaluada. El principal objetivo fue alcanzar una fragmentación promedio de 12 pulgadas, lo que permitió reducir de forma efectiva los atascos en la trituradora primaria y, por consiguiente, mejorar la fluidez en todo el ciclo operacional. Este hallazgo es coherente con estudios previos, como los realizados por López Jimeno (1995) y Konya & Walter (2015), que destacan la influencia de una adecuada fragmentación en la mejora de la productividad y reducción de costos operativos.

La fragmentación promedio del segundo trimestre fue de 17.1 pulgadas (P80), mientras que tras los ajustes implementados se logró reducirla a 12.6 pulgadas en el tercer trimestre. Esta disminución de más del 26% en el tamaño de los fragmentos tuvo efectos directos en la productividad: se incrementó el tonelaje procesado por hora de 2032.78 T/H a 2288.63 T/H, es decir, una mejora del 12.59%. Este incremento no solo representa una mejora cuantitativa en términos de producción, sino que refleja una reducción en los cuellos de botella que antes se producían por la presencia de material sobredimensionado.

La eficiencia energética del sistema también mostró mejoras sustanciales. El consumo específico de energía en el chancado disminuyó de 0.75 a 0.63 kWh/t, lo que representa una reducción del 16.81% en términos operativo. Esta caída en el consumo energético está directamente relacionada con la menor resistencia al procesamiento de fragmentos más pequeños y homogéneos, lo cual se traduce en menor desgaste de los componentes de la

trituradora (placas, mandíbulas) y, por lo tanto, en mayor vida útil de estos equipos. El análisis determinó que este desgaste se redujo en un 15%, lo cual implicó un ahorro económico considerable y menor frecuencia de paradas por mantenimiento.

El análisis financiero también confirmó la viabilidad económica de la estrategia implementada. A pesar de que los ajustes en el diseño de voladura implicaron una inversión inicial relevante, esta se recuperó en un periodo de apenas tres meses. Este retorno acelerado se justifica por la combinación de un aumento en la producción, reducción de costos operativos y menores gastos por mantenimiento correctivo. Además, el aumento del factor de potencia de 0.311 a 0.343 kg/t (una variación del 10.03%) confirma que la mayor cantidad de explosivo utilizada fue efectiva y eficiente, maximizando la energía aplicada para lograr una mejor fragmentación sin incurrir en desperdicio ni generar voladura secundaria.

En cuanto a la productividad del carguío y acarreo, los tiempos de ciclo se redujeron gracias a una mayor facilidad en la manipulación del material. La menor presencia de bloques sobredimensionados redujo los atascos en tolvas y puntos de descarga, así como también mejoró la tasa de llenado de las palas, aumentando así la eficiencia de carga por ciclo. El seguimiento de estos indicadores mediante el sistema Dispatch permitió verificar que las toneladas cargadas por hora y las toneladas acarreadas por hora se incrementaron, evidenciando un impacto directo de la fragmentación en el desempeño global de la operación.

La aplicación de secuencias de detonación optimizadas también jugó un rol importante en la mejora del flujo operativo. La sincronización precisa de los retardos redujo la formación de zonas mal fragmentadas y permitió una distribución más uniforme del material. Esto se tradujo en una alimentación constante hacia la planta de chancado, reduciendo las interrupciones en el ciclo y mejorando el rendimiento general de los equipos en planta y campo.

Cabe destacar que, si bien los resultados obtenidos son muy alentadores, existen factores contextuales que deben ser considerados al replicar esta estrategia en otras unidades mineras. Entre estos factores se encuentran las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, la estructura geológica del yacimiento, y la variabilidad litológica del mineral, los cuales pueden influir en la efectividad de los parámetros de voladura seleccionados. Por ello, se recomienda realizar una caracterización previa detallada del yacimiento antes de aplicar este modelo, así como un ajuste dinámico y continuo de los diseños a medida que se avanza en el frente de explotación.

Además, la sostenibilidad de los beneficios obtenidos depende en gran medida del monitoreo y control constante de los parámetros de voladura. La implementación de herramientas como Split Online para análisis granulométrico y simuladores de voladura como JKSimBlast permite asegurar que los resultados alcanzados se mantengan dentro de los rangos óptimos definidos. La integración de estas tecnologías también facilita una retroalimentación operativa inmediata, que permite hacer ajustes precisos cuando sea necesario, garantizando así una operación más estable y predecible.

Finalmente, la interdependencia entre voladura, carguío, acarreo y chancado refuerza la necesidad de un enfoque integrado tipo Mine-to-Mill, donde los objetivos de fragmentación estén alineados con los requerimientos del chancado y procesamiento. Este enfoque permite maximizar el rendimiento a lo largo de toda la cadena de valor minera, reduciendo costos unitarios y aumentando la productividad general de la operación.

En resumen, la investigación ha demostrado que la optimización de los parámetros de voladura no solo mejora la calidad de la fragmentación del material, sino que tiene un impacto directo en el desempeño y los costos del carguío, acarreo y chancado. Los resultados alcanzados validan la hipótesis de que una fragmentación uniforme de 12 pulgadas contribuye

a aumentar la productividad y eficiencia operativa en minería superficial, con un retorno económico claro en el corto plazo. Esta estrategia representa, por tanto, una alternativa viable y replicable para otras operaciones mineras que busquen mejorar su competitividad y sostenibilidad.

CONCLUSIONES

La optimización de los parámetros de voladura permitió alcanzar una fragmentación promedio de 12.6 pulgadas y no de 12 pulgadas como planteaba el objetivo, mejorando significativamente la eficiencia del proceso de carguío y acarreo en una operación minera superficial. Esta reducción del tamaño de fragmento respecto al valor inicial de 17.1 pulgadas generó impactos directos en la reducción de atascos, mayor fluidez del material y un aprovechamiento más uniforme del equipo de carga.

El aumento del tonelaje procesado por hora, de 2032.78 T/H a 2288.63 T/H, representa un incremento del 12.59 % en la productividad. Esta mejora se logró mediante un diseño de malla más eficiente, mayor control en la secuencia de detonación y uso adecuado del factor de potencia.

El consumo específico de energía disminuyó de 0.75 a 0.63 kWh/t, lo que refleja una mejora en la eficiencia del chancado primario como consecuencia directa de la fragmentación alcanzada. La reducción del tamaño de los fragmentos facilitó la conminución del material y disminuyó el desgaste de componentes críticos.

El incremento del factor de potencia de 0.311 a 0.343 kg/t permitió una distribución más efectiva de la energía explosiva, logrando una mejor uniformidad en la fragmentación sin incurrir en voladura secundaria ni pérdida de eficiencia operativa.

La aplicación de secuencias de detonación más precisas redujo la generación de zonas mal fragmentadas, lo cual estabilizó la alimentación a planta y redujo los tiempos de parada por problemas en el flujo del material.

La evaluación económica demostró que la inversión realizada en la mejora de la voladura se recuperó en un plazo menor a tres meses, validando la viabilidad técnica y

financiera de la estrategia aplicada. El análisis integral de los indicadores operativos evidenció mejoras en productividad, costos unitarios y confiabilidad de los equipos.

Los resultados obtenidos consolidan la relación directa entre un diseño de voladura optimizado y el rendimiento global de la operación minera, estableciendo una base técnica que puede integrarse dentro de un enfoque tipo Mine-to-Mill para maximizar la eficiencia en toda la cadena de valor.

RECOMENDACIONES

Se recomienda mantener de forma sostenida el diseño de voladura optimizado aplicado durante el tercer trimestre de 2023, dado que ha demostrado ser altamente efectivo para mejorar la fragmentación del mineral, reducir el consumo energético y disminuir los costos unitarios de trituración. Esta estrategia debe considerar permanentemente la geomecánica del macizo rocoso y los parámetros técnicos como el burden, espaciamiento, longitud de taladro y distribución de carga, ajustados según la zona de operación.

Asimismo, se sugiere estandarizar el uso de detonadores electrónicos en la operación regular de voladura, ya que estos dispositivos permitieron una sincronización precisa de los tiempos de retardo, favoreciendo la uniformidad de la fragmentación y reduciendo el porcentaje de sobre tamaño. La aplicación sistemática de esta tecnología también contribuye a una mayor eficiencia energética y una mejor alimentación del circuito de chancado primario.

Aunque el consumo de explosivos aumentó ligeramente tras la implementación de mejoras, este incremento resultó necesario y justificado por la considerable reducción del P80 y la mejora global del proceso. En tal sentido, se recomienda continuar con un monitoreo técnico periódico del consumo de explosivos (kg/t), con el fin de encontrar un equilibrio óptimo entre la energía suministrada y la eficiencia del resultado obtenido.

Se debe fortalecer el proceso de evaluación post-voladura mediante la aplicación de herramientas digitales como Split Desktop u otros sistemas de análisis fotogramétrico, que permitan verificar en campo el tamaño real de fragmentación. Esta retroalimentación continua posibilita ajustes inmediatos en la malla de perforación, mejorando el desempeño del proceso en cada ciclo operativo.

Adicionalmente, se recomienda capacitar de forma permanente al personal técnico y de operación en temas de optimización de voladura, tecnologías de iniciación, análisis de

resultados y control de calidad. Una operación técnica eficaz depende en gran medida del conocimiento y criterio del personal a cargo, por lo que la formación continua es una inversión clave para mantener resultados sostenibles.

Finalmente, se propone que los resultados exitosos alcanzados durante el tercer trimestre sean replicados en otras zonas de la mina o incluso en otras operaciones mineras similares, previa caracterización geomecánica. Del mismo modo, se sugiere realizar evaluaciones trimestrales de los indicadores operativos clave como T/H, KW-H/T, P80, kg/t y
$/T, para validar la sostenibilidad del proceso y fomentar una cultura de mejora continua en la operación minera.

REFERENCIAS

Álvarez, Y. (2020). Propuesta de mejora de la gestión en los procesos operativos de una empresa minera artesanal para incrementar su productividad. Universidad Católica de Santa María.

Ash, R. L., & Golngember, T. (1996). Blasting efficiency in variable geotechnical environments. In Proceedings of the Annual Conference on Explosives and Blasting Technique. International Society of Explosives Engineers (ISEE).

Ash, R. L., & Konya, C. J. (1990). Explosive engineering. International Society of Explosives Engineers.

Atlas Copco. (2010). Drilling and blasting of rocks: A practical guide for mining and construction. Atlas Copco Rock Drills AB.

Berrospi, V. (2019). Optimización de la perforación y voladura para mejorar la zona de profundización en la mina Andaychagua de la Cía. minera Volcan SAA. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Chahua, R. (2022). Reducción de costos unitarios de perforación, voladura y sostenimiento mediante el rediseño de la malla de perforación en labores de preparación– unidad minera Huachocolpa uno compañía minera Kolpa. Universidad Nacional de San Agustín.

Chávez, J. (2021). Optimización de voladura para mejorar la eficiencia del carguío en mina subterránea. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Córdova, M. (2021). Efectividad de la iniciación electrónica en zona de interacción con equipos autónomos empleando el sistema Daveytronic Evolution Pack 48, mina Quellaveco – Moquegua. Universidad Nacional de Moquegua.

Cortés, S. (2019). Análisis de la implementación del control computarizado en la perforación para desarrollos horizontales. Universidad de Chile.

De la Torre, M. (2020). Evaluación del carguío y acarreo en función de la fragmentación en mina a tajo abierto. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.

Dimas, P. (2023). Diseño de tronaduras y su impacto en el costo mina de Compañía Minera Cerro Negro. Universidad de Chile.

Fernández, R. (2020). Impacto del cambio de diámetro de la perforación de socavación en División Andina, Codelco. Universidad de Chile.

Flores, D. (2022). Optimización de la fragmentación resultante para el mineral relacionado a la exactitud y precisión del iniciador electrónico con las propiedades geomecánicas en mina Cuajone. Universidad Nacional de Moquegua.

Fuentealba, F. (2021). Optimización en voladuras con detonadores electrónicos para mejorar la fragmentación en Minera Gabriela Mistral, Codelco Chile. Universidad de Antofagasta.

García, A. (2020). Implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real para optimizar los stocks dinámicos en operaciones mineras. Universidad Complutense de Madrid.

Gómez, L. (2020). Optimización de sistemas de ventilación en minas subterráneas: Estudio de caso en el sector minero de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.

Guadalupe, E. (2023). Rediseño en las filas de procedimiento de la malla de perforación para optimizar la operación de voladura en una mina superficial. Universidad Nacional de Cajamarca.

Hino, M. (1975). Shock wave theory and rock breakage by explosives. Journal of Applied Physics, 46(5), 2223–2230. https://doi.org/10.1063/1.321831

Huerta, G. (2020). Análisis comparativo de la eficiencia de la triple iniciación electrónica en voladura versus la iniciación electrónica simple y doble en la explotación de un yacimiento cuprífero a cielo abierto. Universidad Continental.

Hustrulid, W. A., & Johnson, D. (2003). Blasting principles for open pit mining: Volume 1 – General design concepts. CRC Press.

Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. (2023). Manual de operaciones mineras. Lima: IIMP.

Konya, C. J., & Walter, E. J. (2015). Rock blasting and overbreak control (2nd ed.). U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Lean Mining Institute. (2019). Principios de eficiencia operativa en minería. Santiago, Chile: LMI Publications.

León Morales, F. G., & Vigil Centurión, J. (2021). Reducción de costos operativos en los tipos de materiales aplicando el método Air Deck Pre-Splitting en voladura controlada en una mina superficial Hualgayoc 2020. Universidad Nacional de Cajamarca.

López Jimeno, C. (1995). Drilling and blasting of rocks. A.A. Balkema.

López Jimeno, C. (1995). Manual de perforación y voladura de rocas. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.

López, J. (2021). Optimización de la gestión de inventarios en minas superficiales mediante técnicas de simulación: Estudio de caso en España. Universidad Politécnica de Madrid.

Martínez, F. (2022). Optimización de procesos en minas a cielo abierto mediante el análisis predictivo. Universidad Politécnica de Madrid.

ME Elecmetal. (2021). Optimización del acarreo en minería a cielo abierto. Boletín técnico interno. Santiago, Chile.

Mendoza, L. (2021). Optimización de la fragmentación y costos de voladura utilizando el explosivo Heavy Anfo 64 y ME Quantex 73 en la cantera de caliza Cuadratura. Universidad Nacional de Cajamarca.

Morales, A. (2023). Impacto de la optimización de stocks dinámicos en la seguridad y rentabilidad de operaciones mineras en Arequipa. Universidad Católica de Santa María.

Pérez, B. (2023). Aplicación del modelo matemático de Pearse en el diseño de malla de perforación y voladura en la Unidad Minera San Cristóbal – Volcan Compañía Minera S.A.A. Universidad Nacional del Centro del Perú.

Persson, P. A., Holmberg, R., & Lee, J. (1993). Rock blasting and explosives engineering. CRC Press.

Quiroga, M. (2020). Análisis de la perforación y tronadura en El Soldado. Universidad de Chile.

Rodríguez, L. (2020). Implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real para la gestión de stocks dinámicos en minas de Arequipa. Universidad Católica de Santa María.

Rodríguez, M. (2021). Eficiencia de emulsiones explosivas en la fragmentación de roca en minería a cielo abierto. Universidad Nacional de San Agustín.

Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME). (2011). SME Mining Engineering Handbook (3rd ed., Vol. 1). SME.

Torres, J. (2023). Impacto económico de la tecnología de voladura avanzada en la productividad de minas a cielo abierto. Universidad Politécnica de Madrid.

Valencia, E. (2023). Metodologías para la reducción de vibraciones en voladuras en minería de superficie. Universidad de Sevilla.

Vargas, L. (2021). Evaluación del sistema de iniciación pirotécnica y electrónica en el banco 3240 para la optimización de costos por voladura en una empresa minera a tajo abierto en Cajamarca, 2021. Universidad Nacional de Cajamarca.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
1. Interrogante general	1. Objetivo general	1. Hipótesis general	1. Variable independiente	1. Variable independiente	1. Variable Independiente
¿Cómo la optimización de los parámetros de voladura para lograr una fragmentación promedio de 12 pulgadas contribuye a aumentar la productividad del carguío y acarreo en una mina superficial?	•Optimizar los parámetros de voladura para alcanzar una fragmentación promedio de 12 pulgadas, incrementando la productividad y eficiencia en las operaciones de carguío y acarreo en una mina superficial.	•La optimización de los parámetros de voladura para lograr una fragmentación promedio de 12 pulgadas mejora significativamente la productividad del carguío y acarreo en una mina superficial al reducir los tiempos de ciclo y los costos operativos.	• Parámetros de voladura.	• Carga de explosivos, espaciamiento de taladros, tipo de detonador, tiempo de retardo	• Software de simulación de voladura (JK Simblast) , Split on line
2. Interrogantes específicas	2. Objetivos específicos	2. Hipótesis específica	2. Variable dependiente	2. Variable dependiente	2.Variable dependiente
• ¿Qué ajustes en los parámetros de voladura, como burden, espaciamiento, diámetro y carga explosiva, son necesarios para alcanzar una fragmentación uniforme de 12 pulgadas? • ¿Cómo influye una fragmentación promedio de 12 pulgadas en los tiempos de ciclo y el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo? • ¿Qué beneficios operativos y económicos se generan al reducir atascos y mejorar el manejo de materiales durante el acarreo con una fragmentación de 12 pulgadas l?	• Ajustar y evaluar los parámetros de voladura, como burden, espaciamiento, diámetro y carga explosiva, para obtener una fragmentación uniforme de 12 pulgadas. • Analizar el efecto de la fragmentación de 12 pulgadas en los tiempos de ciclo y el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo. • Cuantificar los beneficios operativos y económicos generados por la reducción de atascos y el mejor manejo de materiales en el proceso de acarreo.	• La modificación de parámetros de voladura, como burden, espaciamiento, diámetro y carga explosiva, permite alcanzar una fragmentación uniforme de 12 pulgadas, mejorando la eficiencia del carguío y acarreo. • Una fragmentación promedio de 12 pulgadas reduce los atascos en los equipos de carguío, disminuyendo los tiempos de ciclo y aumentando el rendimiento operativo. • La implementación de una fragmentación de 12 pulgadas minimiza el desgaste de los equipos de acarreo y reduce los costos asociados al mantenimiento y consumo energético.	Productividad del carguío y acarreo.	• Tiempo de carguío, cantidad de material cargado, distancia de acarreo.	• Sistemas de gestión de flotas (Dispatch)

Nota: Elaboración Propia

Anexo 2

Costos

	T/H	KW/H	P80	kg/t	$/T
Mes 1	2,178.25	0.69	19.8	0.327	0.46
Segundo trimestre	2,034.97	0.75	23.6	0.312	0.49
Tercer trimestre	2,316.90	0.63	16.1	0.342	0.43
Mes 2	2,155.89	0.69	19.8	0.328	0.46
Segundo trimestre	2,035.23	0.75	23.7	0.313	0.49
Tercer trimestre	2,276.55	0.63	16.0	0.343	0.44
Mes 3	2,150.28	0.68	19.8	0.326	0.46
Segundo trimestre	2,028.13	0.75	23.5	0.310	0.49
Tercer trimestre	2,272.43	0.62	16.0	0.343	0.44
Total general	31,776.59	0.69	19.8	0.327	0.46
Variación Mes 1	13.85%	-16.89%	-31.62%	9.87%	-11.45%
Variación Mes 2	11.86%	-16.37%	-32.25%	9.48%	-10.53%
Variación Mes 3	12.05%	-17.17%	-31.83%	10.74%	-11.01%
Segundo Trimestre	2,032.78	0.7	23.6	0.311	0.49
Tercer Trimestre	2,288.63	0.6	16.1	0.343	0.44
Variación 2 vs 3 trimestre	**12.59%**	**-16.81%**	**-31.90%**	**10.03%**	**-11.00%**

Nota. Elaboración propia

Anexo 3

Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Herramientas
VI: Parámetros de Voladura	Conjunto de condiciones y características controlables durante una voladura, como la cantidad de explosivos, el espaciamiento y la configuración de los taladros.	Carga de explosivos, espaciamiento de taladros, tipo de detonador, tiempo de retardo	Cantidad de explosivos por taladro, distancia entre taladros, tipo de carga	Software de simulación de voladura (JK Simblast) , Split on line
VD: Productividad del Carguío y Acarreo	Eficiencia con que los equipos de carguío y acarreo realizan sus operaciones de transporte y manejo del material fragmentado.	Tiempo de carguío, cantidad de material cargado, distancia de acarreo	Toneladas cargadas por hora, toneladas acarreadas por hora, tiempo de ciclo de los equipos	Sistemas de gestión de flotas (Dispatch)

Nota: Elaboración Propia

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos	: Mariana Alejandra Alarcón Cáceres
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°	: 71274125
Correo electrónico	: alarconcaceresm10@gmail.com
Teléfono/Celular	: 977531545

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (x)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (x)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : "OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE VOLADURA PARA LOGRAR UNA FRAGMENTACIÓN DE 12 PULGADAS Y AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DEL CARGUÍO Y ACARREO EN UNA MINA SUPERFICIAL".
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : .....
c) Fecha de publicación : .....

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Mgr. Jorge Luis Tomás Florez Salas
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 00790320.
c) ORCID: https://orcid.org/0009-0000-4102-498X

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71274125
NOMBRES Y APELLIDOS : Mariana Alejandra Alarcón Cáceres

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(__X__) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71274125

NOMBRES Y APELLIDOS : Mariana Alejandra Alarcón Cáceres

FECHA : 25 de agosto del 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

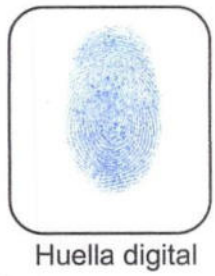
Yo, Mariana Alejandra Alarcón Cáceres, bachiller de la Escuela Profesional de :Ingeniería de Minas, de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado (a) con DNI: Nº 71274125, autor(a) de la Tesis / Trabajo de suficiencia profesional titulado: "OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE VOLADURA PARA LOGRAR UNA FRAGMENTACIÓN DE 12 PULGADAS Y AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DEL CARGUÍO Y ACARREO EN UNA MINA SUPERFICIAL".

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 25 de agosto del 2025



Huella digital

Nombres y Apellidos: Mariana Alejandra Alarcón Cáceres
DNI: 71274125

Base legal: RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 194-2020-SUNEDU-02-15

Tesis Mariana Alarcón 20-06-25.pdf

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::23228:468595538

Fecha de entrega
20 jun 2025, 4:22 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
20 jun 2025, 4:28 p.m. GMT-5

Nombre de archivo
Tesis Mariana Alarcón 20-06-25.pdf

Tamaño de archivo
975.7 KB

110 Páginas

24.819 Palabras

136.906 Caracteres

5% 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 10 palabras)

Fuentes principales

3%	Fuentes de Internet
0%	Publicaciones
3%	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.

Fuentes principales

3% Fuentes de Internet
0% Publicaciones
3% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1 Internet
www.coursehero.com <1%

2 Internet
repositorio.continental.edu.pe <1%

3 Internet
repositorio.uncp.edu.pe <1%

4 Internet
redi.unjbg.edu.pe <1%

5 Internet
tesis.unap.edu.pe <1%

6 Internet
repositorio.unapiquitos.edu.pe <1%

7 Trabajos entregados
Universidad Continental on 2025-03-16 <1%

8 Trabajos entregados
Universidad Continental on 2025-01-16 <1%

9 Trabajos entregados
Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2025-05-12 <1%

10 Trabajos entregados
Universidad Continental on 2018-11-24 <1%

11 Trabajos entregados
Universidad de los Hemisferios on 2025-06-04 <1%

12 Trabajos entregados
Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2024-12-10 <1%

13 Internet
repositorio.unam.edu.pe <1%

14 Trabajos entregados
Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac on 2025-02-17 <1%

15 Trabajos entregados
Universidad Continental on 2023-12-05 <1%

16 Trabajos entregados
Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2024-09-03 <1%

17 Trabajos entregados
Universidad Continental on 2019-05-22 <1%

18 Trabajos entregados
Universidad Privada del Norte on 2024-01-25 <1%

19 Internet
www.slideshare.net <1%

20 Internet
cybertesis.uni.edu.pe <1%

21 Internet
alicia.concytec.gob.pe <1%

22 Internet
repositorio.unheval.edu.pe <1%

23 Publicación
Felipe I. Porflitt, Ricardo R. Rosas-Díaz. "Behind the scene: cognitive benefits of pl... <1%

24 Trabajos entregados
Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2024-10-08 <1%

25 Trabajos entregados
Universidad EAN on 2024-06-03 <1%

26 Internet
hdl.handle.net <1%

27 Internet
moam.info <1%

28 Publicación
F. Imperiale, P. Ortiz, M. Cabrera, C. Farias, J.M. Sallovitz, S. Iezzi, J. Pérez, L. Alvare... <1%

29 Trabajos entregados
Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2023-09-28 <1%

30 Trabajos entregados
Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2024-11-28 <1%

31 Trabajos entregados
Universidad Continental on 2020-12-07 <1%

32 Trabajos entregados
Universidad Continental on 2020-12-10 <1%

33 Trabajos entregados
consultoriadeserviciosformativos on 2025-06-18 <1%

34 Internet
dokumen.pub <1%

35 Internet
repositorio.ucv.edu.pe <1%

36 Internet
www.sur.iucn.org <1%

37 Trabajos entregados
Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2024-08-19 <1%

38 Trabajos entregados
Universidad Autonoma de Chile on 2025-06-16 <1%

39 Trabajos entregados
Universidad Continental on 2020-12-04 <1%

40 Trabajos entregados
Universidad Continental on 2021-11-26 <1%

41 Trabajos entregados
Universidad Continental on 2023-09-09 <1%

42 Trabajos entregados
Universidad Nacional de Moquegua on 2025-06-06 <1%

43 Trabajos entregados
Universidad Tecnologica del Peru on 2019-07-31 <1%

44 Trabajos entregados
Universidad de Chile - CN-038051 on 2023-11-06 <1%

45 Internet
apirepositorio.unh.edu.pe <1%

46 Internet
fractus.mat.uson.mx <1%

47 Internet
issuu.com <1%

48 Internet
repositorio.puce.edu.ec <1%

49 Internet
repositorio.udh.edu.pe <1%

50 Internet
repositorio.unab.cl <1%

51 Internet
repositorio.unjfsc.edu.pe <1%

52 Internet
repositorio.unp.edu.pe <1%

53 Internet
repositorio.upn.edu.pe <1%

54 Internet

www.infochannel.com.mx <1%

55 Internet

www.sciencegate.app <1%

Universidad Nacional de Moquegua

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 667-2025-CU

Moquegua, 11 de septiembre de 2025

VISTOS:

El Proveído N° 3627-2025-R de fecha 10 de setiembre de 2025 emitido por el Rectorado, Informe N° 384-2025-R/SG de fecha 10 de septiembre de 2025 emitido por el Secretario General, Informe Técnico N° 124-2025-SEGE/GYT emitido por la Especialista Administrativo I–Grados y Títulos, el Acuerdo del Pleno del Consejo Universitario de Sesión Extraordinaria N° 34-2025-E-CU-UNAM, de fecha 10 de septiembre de 2025, y;

CONSIDERANDO:

Que, conforme al 4to párrafo del artículo 18, de la Constitución Política del Perú, dispone que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico. Y el artículo 8° de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y demás normativa aplicable. Concordante con el artículo 1, de la Ley N° 31520, Ley que restablece la autonomía y la institucionalidad de las universidades peruanas, así como la Ley N° 32141, Ley que modifica la Ley N° 30220-Ley Universitaria, a fin de fortalecer la institucionalidad de las Universidades Públicas licenciadas;

Que, el Artículo 58, de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que el Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la Universidad. Concordante con el artículo 18° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado bajo Resolución de Asamblea Universitaria N° 015-2025-AU-UNAM;

Que, el artículo 59 de la Ley Universitaria-Ley N° 30220, establece las atribuciones del Consejo Universitario, y específicamente el numeral 59.9, establece; Conferir los grados académicos y los títulos profesionales aprobados por las Facultades y Escuela de Posgrado, así como otorgar distinciones honoríficas y reconocer y revalidar los estudios, grados y títulos de universidades extranjeras, cuando la universidad está autorizada por la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria. Concordante con el numeral 14, del artículo 20° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, el Sr. Rector es el personero y representante legal de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme a lo dispuesto por la Ley Nº 30220-Ley Universitaria, tiene a su cargo la Dirección, Conducción y Gestión del Gobierno Universitario en todos sus ámbitos, concordante con el artículo 24° y numeral 2 del artículo 26° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, mediante Informe Técnico N° 124-2025-SEGE/GYT, de fecha 10 de septiembre de 2025, e Informe N° 384-2025-R/SG de fecha 10 de septiembre de 2025, el Secretario General de la UNAM, remite al Rectorado el expedientes para el trámite de Título Profesional de Ingeniero de Minas de la Bachiller: ALARCÓN CÁCERES MARIANA ALEJANDRA de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, quien se encuentra apta para la expedición del Título Profesional de Ingeniero de Minas, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios, exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de Actividades y Servicios Académicos y la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas; razón por la cual, el señor Secretario General incluye dicho expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión Extraordinaria de Consejo Universitario de fecha 10 de septiembre de 2025;

Que, el artículo 44° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...). Asimismo, la Ley N° 31803, modifica el artículo en mención adicionando; La Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU) determina los criterios, así como establece y supervisa el procedimiento administrativo para el reconocimiento de grados y títulos otorgados en el extranjero, en el marco de la normativa vigente;

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, precisa los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis o trabajo de suficiencia profesional. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410; 453 y 890-2022, N° 880-2023-UNAM y N° 081, 484-2024-UNAM el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, bajo el amparo de los considerandos precedentes, el Pleno del Consejo Universitario en Sesión Extraordinaria N° 34-2025-SE-CU-UNAM, de fecha 10 de septiembre de 2025, emitió, el siguiente, Acuerdo; POR UNANIMIDAD: CONFERIR, a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero de Minas por la modalidad de sustentación de tesis a la Bachiller: ALARCÓN CÁCERES MARIANA ALEJANDRA, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Nacional de Moquegua;

Universidad Nacional de Moquegua

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 667-2025-CU

Moquegua, 11 de septiembre de 2025

En uso de las facultades y atribuciones conferidas por el Art. 18, de la Constitución Política del Perú, la Ley N° 30220-Ley Universitaria, el Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, y a lo acordado por el pleno del Consejo Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1°: CONFERIR, A NOMBRE DE LA NACIÓN a la Bachiller

- **ALARCÓN CÁCERES MARIANA ALEJANDRA**
  TESIS : "OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE VOLADURA PARA LOGRAR UNA FRAGMENTACIÓN DE 12 PULGADAS Y AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DEL CARGUÍO Y ACARREO EN UNA MINA SUPERFICIAL", cuyo Asesor Principal fue el Dr. JORGE LUIS TOMAS FLOREZ SALAS.

El **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**

Por la modalidad de SUSTENTACIÓN DE TESIS, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 2°: ENCARGAR, al Secretario General a través de quien corresponda, para que realice las acciones pertinentes relacionadas con la inscripción correspondiente en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria – SUNEDU.

ARTÍCULO 3°: DISPONER el cumplimiento de la presente Resolución a todas las dependencias de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 4°: DISPONER la publicación de la presente resolución en el Portal Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua www.unam.edu.pe

REGÍSTRESE, PUBLÍQUESE, Y CÚMPLASE;

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA UNAM SECRETARÍA GENERAL

ABOG. EDGAR PINTO HUANCAVILCA
SECRETARIO GENERAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA UNAM CONSEJO UNIVERSITARIO

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
RECTOR
PRESIDENTE DEL CONSEJO UNIVERSITARIO

DISTRIBUCION:
VRA
VRI
FACIA
EPIM
GyT
DASA
OTI
Interesado
c.c. Arch.

Domicilio Legal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe